AUTOSTRADE PER L'ITALIA

ACCORDO QUADRO
PER LAVORI DI RIPRISTINO, SOSTITUZIONE E RIPARAZIONE URGENTE DEI GIUNTI DI DILATAZIONE RICADENTI SULLE TRATTE DI COMPETENZA DI TUTTI I TRONCHI DI AUTOSTRADE PER L'ITALIA S.P.A.

CAPITOLATO SPECIALE D'APPALTO – PARTE II

INDICE

Sommario

CONDIZIONI GENERALI 16

Art. CG.00 - Premessa metodologica alla consultazione del Capitolato 16
CG.00.02 - Organizzazione degli Articoli Tecnici 16
CG.00.03 - Elenco degli Articoli Differenziati 16
CG.00.04 - Modalità di Lettura e Vincolo Progettuale 17

ART. CG.01 - PREQUALIFICA DEI MATERIALI ED ACCETTAZIONE DEL DIRETTORE DEI LAVORI 18

CG.01.02 - PROCEDURE DI LAVORO 19

ART. CG.02 – PIANI CONTROLLO QUALITÀ E PROGRAMMA GIORNALIERO DELLE ATTIVITÀ PER LA PIANIFICAZIONE DELLE PROVE E DEI CONTROLLI A CURA DELLA DIREZIONE LAVORI 20

ART. CG.03 - NON CONFORMITÀ E AZIONI CORRETTIVE 21

ART. CG.04 - DICHIARAZIONE DI PRESTAZIONE E MARCATURA CE 22

Art. CG.05 - Criteri per la sostenibilità ambientale dei materiali del capitolato 25

NORME PER LA PREQUALIFICA E QUALIFICA DEI MATERIALI, ESECUZIONE E CONTROLLO DEI LAVORI 27

Art. 1 CAM - Scavi per opere all'aperto 28
1.1 Norme generali 28
1.2 Scavi di sbancamento e scotico 31
1.3 Scavi di fondazione 32
1.4 Scavi subacquei e scavi all'asciutto 33
1.5 Scavi con esplosivi 34
1.6 Sistema di puntellazione per scavi tipo "Blindoscavi" 34
1.7 Scavi per attraversamenti speciali per posa di tubazioni 35

Art. 1 NO CAM - Scavi per opere all'aperto 38
1.1 Norme generali 38
1.2 Scavi di sbancamento e scotico 42
1.3 Scavi di fondazione 42
1.4 Scavi subacquei e scavi all'asciutto 43
1.5 Scavi con esplosivi 44
1.6 Sistema di puntellazione per scavi tipo "Blindoscavi" 44
1.7 Scavi per attraversamenti speciali per posa di tubazioni 45

Art. 2 CAM - Demolizioni e Rimozioni 48
2.1 Campo di applicazione e generalità 48
2.2 Norme generali 48
2.3 Demolizione di fabbricati e opere d'arte 50

2.4 Demolizione di pavimentazione stradale 51
2.5 Rimozioni 53
2.6 Documenti di prequalifica 53
2.7 Controlli a carico dell'Appaltatore 54

Art. 2 NO CAM - Demolizioni e Rimozioni 55
2.1 Campo di applicazione e generalità 55
2.2 Norme generali 55
2.3 Demolizione di fabbricati e opere d'arte 57
2.4 Demolizione di pavimentazione stradale 58
2.5 Rimozioni 60
2.6 Documenti di prequalifica 60
2.7 Controlli a carico dell'Appaltatore 61

Art. 3 CAM - Rilevati 62
3.1 Descrizione e campo di applicazione 62
3.2 Normativa di riferimento 63
3.3 Criteri per l'utilizzo dei materiali 66
3.4 Modalità esecutive 81
3.5 Controlli in corso d'opera 91
3.6 Tolleranze di esecuzione e penali 94
3.7 Documenti di prequalifica e controlli di accettazione 94
3.8 Trattamenti delle terre con calce o cemento 1

Art. 3 NO CAM - Rilevati 13
3.1 Descrizione e campo di applicazione 13
3.2 Normativa di riferimento 13
3.3 Criteri per l'utilizzo dei materiali 16
3.4 Modalità esecutive 31
3.5 Controlli in corso d'opera 41
3.6 Tolleranze di esecuzione e penali 44
3.7 Documenti di prequalifica e controlli di accettazione 44
3.8 Trattamenti delle terre con calce o cemento 49

Art. 4 Palancole tipo Larssen 60
4.1 Definizione e campo di applicazione 60
4.2 Normative di riferimento 60
4.3 Criteri di accettazione 60
4.4 Documenti di prequalifica 63
4.5 Modalità esecutive 64
4.6 Prove e controlli 65
4.7 Tolleranze 65

Art. 5 Diaframmi in cemento armato 66
5.1 Definizione e campi di applicazione 66
5.2 Norme di Riferimento 66
5.3 Criteri di accettazione 66
5.4 Documenti di prequalifica 70
5.5 Modalità esecutive 71
5.6 Prove e controlli 77
5.7 Tolleranze geometriche 81

Art. 6 Pali di fondazione 82
6.1 Generalità 82

6.2 Pali infissi prefabbricati ... 87
6.3 Pali battuti o roto-infissi, gettati in opera ... 93
6.4 Pali trivellati di medio e grande diametro ... 98
6.5 Prove di controllo sui pali ... 108
6.6 Micropali ... 117

Art. 7 Trattamenti colonnari ... 132
7.1 Definizioni e campi di applicazione ... 132
7.2 Normative di riferimento ... 134
7.3 Criteri di accettazione dei materiali ... 134
7.4 Criteri di accettazione per le perforazioni ... 137
7.5 Documenti di prequalifica ... 141
7.6 Modalità esecutive ... 142
7.7 Controlli ... 144
7.8 Tolleranze geometriche ... 146

Art. 8 Pozzi di fondazione ... 148
8.1 Definizione e campi di applicazione ... 148
8.2 Criteri di accettazione dei sostegni delle pareti di scavo ... 148
8.3 Documenti di prequalifica ... 148
8.4 Modalità esecutive ... 149
8.5 Controlli e prove ... 150

Art. 9 Dreni ... 152
9.1 Dreni perforati nel terreno ... 152
9.2 Dreni prefabbricati a nastro ... 156

Art. 10 Tiranti di ancoraggio nei terreni ... 161
10.1 Definizioni e campo di applicazione ... 161
10.2 Normative di riferimento ... 161
10.3 Criteri di accettazione dei materiali ed elementi costruttivi ... 161
10.4 Criteri di accettazione per le perforazione ... 169
10.5 Prove di carico preliminari ... 169
10.6 Documenti di prequalifica ... 172
10.7 Modalità esecutive ... 173
10.8 Controlli ... 179
10.9 Tolleranze geometriche ... 183

Art. 11 Bulloni e chiodi (all'aperto ed in sotterraneo) ... 185
11.1 Descrizione e campo di applicazione ... 185
11.2 Normativa di riferimento ... 185
11.3 Criteri di accettazione dei materiali ... 186
11.4 Criteri di accettazione per le perforazioni ... 194
11.5 Documenti di prequalifica ... 194
11.6 Modalità operative ... 195
11.7 Controlli in corso d'opera ... 198
11.7.1.0 Controlli dei documenti di accompagno delle forniture all'arrivo in cantiere ... 198
11.7.1.1 Controlli sulle attrezzature ... 198
11.7.1.2 Controlli di esecuzione degli ancoraggi ... 198
11.7.1.4 Collaudo ... 199
11.8 Tolleranze ... 200

Art. 12 Lavori in sotterraneo ... 201
12.1 Generalità e campo di applicazione ... 201

12.2 Criteri di accettazione degli scavi in sotterraneo 202
12.3 Criteri di accettazione degli interventi di precontenimento, preconsolidamento e presostegno 207
12.4 Criteri di accettazione dei sostegni di prima fase 214
12.5 Criteri di accettazione della impermeabilizzazione 217
12.6 Criteri di accettazione del rivestimento definitivo 221
12.7 Criteri di accettazione dei drenaggi 224
12.8 Criteri di accettazione opere di finitura 225
12.9 Criteri di accettazione degli interventi di ripristino delle difettosità 226
12.10 Documenti di prequalifica 234
12.11 Modalità esecutive 241
12.12 Controlli in corso d'opera e tolleranze 259

Art. 12bis Strutture di sostegno ed ancoraggio impianti in galleria 270
12.1 bis Descrizione e campo di applicazione 270
12.2 bis Normativa di riferimento 270
12.3 bis Progetto costruttivo e relazione di calcolo sistemi di sostegno ed ancoraggio 270
12.4 bis Tipologie di sostegni e criteri di accettazione 271
12.5 bis Tipologie di ancoraggi e criteri di accettazione 272
12.6 bis Documenti di prequalifica 272
12.7 bis Controlli e prove in corso d'opera 272
12.8 bis Prove richieste dalla Commissione di Collaudo 273

Art. 13 Monitoraggio 274
13.1 Descrizione e campo di applicazione 274
13.2 Prequalifica e prescrizioni tecniche generali a cura dell'Appaltatore 274
13.3 Monitoraggio in galleria 275
13.4 Monitoraggio di versanti e opere all'aperto 296
13.5 Monitoraggio della sovrastruttura in Ponti e Viadotti 311
13.6 Sistemi di acquisizione dati a 2 o più canali 317
13.7 Cavi elettrici di collegamento 319

Art. 14 Cordoli stradali 321
14.1 Descrizione e campo di applicazione 321
14.2 Normative di riferimento 321
14.3 Criteri di accettazione dei materiali 321
14.4 Documenti di prequalifica 323
14.5 Modalità esecutive 324
14.6 Controlli e prove 325

Art. 15 Manufatti tubolari in lamiera d'acciaio ondulata 326
15.1 Campo di applicazione 326
15.2 Criteri di accettazione dei materiali 326
15.3 Documenti di prequalifica 326
15.4 Modalità esecutive 327
15.5 Controlli e prove 329
15.6 Tolleranze 330

Art. 16 Gabbioni, materassi metallici, barriere paramassi 332
16.1 Descrizione e campo d'applicazione 332
16.2 Normativa di riferimento 332
16.3 Criteri di accettazione dei materiali 332
16.4 Dossier di prequalifica 341
16.5 Modalità esecutive 342

16.6 Controlli in corso d'opera 344

Art. 17 CAM - Sistemi di drenaggio del corpo autostradale a gravità 346
17.1 Descrizione e campo di applicazione 346
17.2 Normativa di riferimento 346
17.3 Criteri di accettazione 348
17.4 Dossier di prequalifica 359
17.5 Modalità esecutive 360
17.6 Controlli in corso d'opera 364

Art. 17 NO CAM - Sistemi di drenaggio del corpo autostradale a gravità 369
17.1 Descrizione e campo di applicazione 369
17.2 Normativa di riferimento 369
17.3 Criteri di accettazione 371
17.4 Dossier di prequalifica 382
17.5 Modalità esecutive 383
17.6 Controlli in corso d'opera 387

Art. 18 Difese spondali 392
18.1 Campo di applicazione 392
18.2 Normativa di riferimento 392
18.3 Criteri di accettazione dei materiali 392
18.4 Dossier di prequalifica 396
18.5 Modalità esecutive 396
18.6 Controlli in corso d'opera 397

Art. 19 Drenaggi 399
19.1 Generalità e campo di applicazione 399
19.2 Normativa di riferimento 399
19.3 Criteri di accettazione dei materiali 399
19.4 Documenti di prequalifica 403
19.5 Modalità esecutive 404
19.6 Controlli e prove 406
19.7 Tolleranze 407

Art. 20 CAM - Conglomerati cementizi semplici e armati (normali e precompressi) 408
20.1 Descrizione 408
20.2 Campo di applicazione 408
20.3 Normativa di riferimento 408
20.4 Criteri di accettazione delle miscele 412
20.5 Criteri di accettazione dei costituenti le miscele 431
20.6 Criteri di accettazione per la confezione dei conglomerati cementizi 455
20.7 Criteri di accettazione dei giunti di tenuta tipo water-stop 456
20.8 Qualifica dei conglomerati cementizi 456
20.9 Qualifica degli elementi prefabbricati ad uso strutturale 463
20.10 Controlli in corso d'opera sulle miscele 468
20.11 Controlli sugli elementi prefabbricati 478
20.12 Modalità di esecuzione 479
20.13 Tolleranze di esecuzione e non conformità 496
20.14 Realizzazione di superfici in calcestruzzo faccia a vista 502

Art. 20 NO CAM - Conglomerati cementizi semplici e armati (normali e precompressi) . 503
20.1 Descrizione 503
20.2 Campo di applicazione 503

20.3 Normativa di riferimento ... 503
20.4 Criteri di accettazione delle miscele ... 507
20.5 Criteri di accettazione dei costituenti le miscele ... 525
20.6 Criteri di accettazione per la confezione dei conglomerati cementizi ... 549
20.7 Criteri di accettazione dei giunti di tenuta tipo water-stop ... 550
20.8 Qualifica dei conglomerati cementizi ... 550
20.9 Qualifica degli elementi prefabbricati ad uso strutturale ... 557
20.10 Controlli in corso d'opera sulle miscele ... 562
20.11 Controlli sugli elementi prefabbricati ... 573
20.12 Modalità di esecuzione ... 574
20.13 Tolleranze di esecuzione e non conformità ... 590
20.14 Realizzazione di superfici in calcestruzzo faccia a vista ... 596

Art. 21 Post tensionamento e iniezione nei cavi di precompressione ... 597
21.1 Generalità e campo di applicazione ... 597
21.2 Normativa di riferimento ... 597
21.3 Criteri di accettazione ... 598
21.3.2.3 Miscele a bassa viscosità per le iniezioni dei cavi di ... 601
21.4 Qualifica ... 605
21.5 Modalità esecutive ... 606
21.6 Controlli e prove ... 612

Art. 22 Ripristino, rinforzo e adeguamento di elementi strutturali in conglomerato cementizio ... 614
22.1 Campo di applicazione ... 614
22.2 Normativa di riferimento ... 614
22.3 Criteri di accettazione dei materiali per il ripristino di superfici degradate ... 615
22.4 Criteri per la scelta delle tecniche d'intervento e dei materiali ... 629
22.5 Certificazioni e prequalifica dei materiali per gli interventi di ripristino/adeguamento ... 634
22.6 Modalità esecutive ... 638
22.7 Controlli e prove ... 647

Art. 23 Sistemi protettivi per strutture in conglomerato cementizio ... 652
23.1 Descrizione e campo di applicazione ... 652
23.2 Normativa di riferimento ... 653
23.3 Criteri di accettazione dei materiali ... 654
23.4 Prequalifica dei materiali per gli interventi di ripristino/adeguamento ... 659
23.5 Modalità esecutive per la preparazione del supporto e applicazione del sistema protettivo 660
23.6 Controlli, prove degli spessori e penali ... 660

Art. 24 CAM - Acciaio per c.a. e c.a.p. ... 663
24.1 Campo di applicazione ... 663
24.2 Normativa di riferimento ... 663
24.3 Criteri di accettazione per la produzione, qualifica e trasformazione degli acciai ... 663
24.4 Criteri di accettazione degli acciai per c.a. ... 666
24.5 Criteri di accettazione degli acciai per c.a.p. ... 669
24.6 Prequalifica dei fornitori di acciaio per c.a. e c.a.p. ... 671
24.7 Controlli dei documenti di accompagno delle forniture all'arrivo in cantiere ... 671
24.8 Prove e prelievi in cantiere per l'accettazione degli acciai - condizioni generali ... 672

Art. 24 NO CAM - Acciaio per c.a. e c.a.p. ... 677
24.1 Campo di applicazione ... 677
24.2 Normativa di riferimento ... 677

24.3 Criteri di accettazione per la produzione, qualifica e trasformazione degli acciai 677
24.4 Criteri di accettazione degli acciai per c.a. 679
24.5 Criteri di accettazione degli acciai per c.a.p. 681
24.6 Prequalifica dei fornitori di acciaio per c.a. e c.a.p. 684
24.7 Controlli dei documenti di accompagno delle forniture all'arrivo in cantiere 684
24.8 Prove e prelievi in cantiere per l'accettazione degli acciai - condizioni generali 685

Art. 25 CAM - Acciaio per strutture metalliche e per strutture composte acciaio calcestruzzo 690
25.1 Campo di applicazione 690
25.2 Normativa di riferimento 690
25.3 Criteri di accettazione per la produzione, qualifica e trasformazione degli acciai 691
25.4 Criteri di accettazione per gli acciai 697
25.5 Prequalifica "Q1" per l'approvvigionamento delle forniture 705
25.6 Prequalifica "Q2" per l'inizio delle lavorazioni nei centri di trasformazione e/o di produzione 707
25.7 Modalità esecutive delle lavorazioni nei centri di trasformazione e produzione 708
25.8 Controlli e prove presso il centro di trasformazione e produzione prima della spedizione in cantiere delle carpenterie 709
25.9 Controlli dei documenti di accompagno delle forniture in cantiere 713
25.10 Montaggio e controlli delle carpenterie a piè d'opera in cantiere (eventuale) 713
25.11 Prequalifica "Q3" delle operazioni di varo 715
25.12 Modalità esecutive del varo e controlli 717
25.13 Penali 718

Art. 25 NO CAM - Acciaio per strutture metalliche e per strutture composte acciaio calcestruzzo 719
25.1 Campo di applicazione 719
25.2 Normativa di riferimento 719
25.3 Criteri di accettazione per la produzione, qualifica e trasformazione degli acciai 720
25.4 Criteri di accettazione per gli acciai 725
25.5 Prequalifica "Q1" per l'approvvigionamento delle forniture 733
25.6 Prequalifica "Q2" per l'inizio delle lavorazioni nei centri di trasformazione e/o di produzione 735
25.7 Modalità esecutive delle lavorazioni nei centri di trasformazione e produzione 736
25.8 Controlli e prove presso il centro di trasformazione e produzione prima della spedizione in cantiere delle carpenterie 737
25.9 Controlli dei documenti di accompagno delle forniture in cantiere 741
25.10 Montaggio e controlli delle carpenterie a piè d'opera in cantiere (eventuale) 741
25.11 Prequalifica "Q3" delle operazioni di varo 743
25.12 Modalità esecutive del varo e controlli 745
25.13 Penali 746

ART. 25BIS PROTEZIONI DELLE CARPENTERIE METALLICHE CONTRO LA CORROSIONE 747
25.1 bis Descrizione e campo di applicazione 747
25.2 bis Normativa di riferimento 747
25.3 bis Classificazione dei requisiti in materia di protezione contro la corrosione 748
25.4 bis Criteri di accettazione delle protezioni contro la corrosione 750
25.5 bis Prequalifica della protezione contro la corrosione 758
25.6 bis Controllo delle forniture in cantiere a cura della Direzione Lavori, tolleranze e non conformità 758

Art. 26 Apparecchi d'appoggio e dispositivi antisismici 761
26.1 Descrizione, classificazione e campo di applicazione 761
26.2 Riferimenti normativi 763
26.3 Criteri di accettazione degli apparecchi d'appoggio e dei dispositivi antisismici 763
26.4 Documenti di prequalifica 768
26.5 Modalità esecutive 772
26.6 Prove e controlli 776
26.7 Penali 779

Art. 27 Giunti di dilatazione su opere d'arte 780
27.1 Descrizione e campo di applicazione 780
27.2 Riferimenti normativi 781
27.3 Criteri di accettazione dei giunti 782
27.4 Documenti di prequalifica 787
27.5 Modalità esecutive 788
27.6 Prove e controlli 790
27.7 Penali 793

Art. 28 Rinforzo strutturale con materiali compositi fibrosi 795
28.1 Descrizione e campo di applicazione 795
28.2 Normativa di riferimento 796
28.3 Criteri di accettazione dei sistemi di rinforzo in CFRP 796
28.4 Criteri di accettazione dei sistemi di rinforzo in FRCM 804
28.5 Prequalifica dei sistemi di rinforzo CFRP e FRCM 805
28.6 Prove di accettazione 805
28.7 Controlli in corso d'opera e sulle opere finite 806

Art. 29 CAM - Misto granulare non legato per fondazione 807
29.1 Descrizione e campo di applicazione 807
29.2 Normativa di riferimento 807
29.3 Criteri di accettazione della miscela e dei suoi materiali costituenti 808
29.4 Materia recuperata, riciclata e sottoprodotti ammessi e relativi quantitativi 809
29.5 Prequalifica, studio preliminare e controlli di accettazione 811
29.6 Controlli di accettazione della miscela 813
29.7 Modalità esecutive 813
29.8 Controlli in corso d'opera 814
29.9 Tolleranze di esecuzione e penali 815

Art. 29 NO CAM - Misto granulare non legato per fondazione 817
29.1 Descrizione e campo di applicazione 817
29.2 Normativa di riferimento 817
29.3 Criteri di accettazione della miscela e dei suoi materiali costituenti 818
29.4 Materiali ammessi nel confezionamento della miscela 819
29.5 Prequalifica, studio preliminare e controlli di accettazione 821
29.6 Controlli di accettazione della miscela 822
29.7 Modalità esecutive 822
29.8 Controlli in corso d'opera 823
29.9 Tolleranze di esecuzione e penali 825

Art. 30 CAM - Fondazioni legate e strati di base/sottobase legati a freddo 826
30.1 Descrizione e campo di applicazione 826
30.2 Normativa di riferimento 827
30.3 Fondazione in misto cementato prodotto in impianto 828
30.4 Fondazione in misto cementato riciclata in sito 839

30.5 Fondazione o sottobase riciclata a freddo in sito con bitume e cemento 846
30.6 Fondazione o sottobase riciclata a freddo in impianto con bitume e cemento.... 855
30.7 Sottobase o base riciclata a freddo in impianto con emulsione bituminosa modificata e cemento 864
30.8 Miglioramento in sito di strati di fondazione non legati mediante bitume schiumato e cemento 873
30.9 Controlli con apparecchiature ad alto rendimento sulla pavimentazione finita e penali 883

Art. 30 NO CAM - Fondazioni legate e strati di base/sottobase legati a freddo..... 885
30.1 Descrizione e campo di applicazione 885
30.2 Normativa di riferimento..... 886
30.3 Fondazione in misto cementato prodotto in impianto 887
30.4 Fondazione in misto cementato riciclata in sito 897
30.5 Fondazione o sottobase riciclata a freddo in sito con bitume e cemento 904
30.6 Fondazione o sottobase riciclata a freddo in impianto con bitume e cemento.... 912
30.7 Sottobase o base riciclata a freddo in impianto con emulsione bituminosa modificata e cemento 921
30.8 Miglioramento in sito di strati di fondazione non legati mediante bitume schiumato e cemento 930
30.9 Controlli con apparecchiature ad alto rendimento sulla pavimentazione finita e penali 939

Art. 30bis Potenziamento del terreno di supporto di barriere di sicurezza stradali metalliche a paletti infissi (su arginello e in spartitraffico) con misto cementato..... 942
30.1 bis Descrizione 942
30.2 bis Norme di riferimento 942
30.3 bis Composizione della miscela 943
30.4 bis Criteri di accettazione dei materiali costituenti la miscela 943
30.5 bis Criteri di accettazione della miscela 944
30.6 bis Formazione e confezionamento delle miscele 945
30.7 bis Prequalifica e studio preliminare della miscela..... 946
30.8 bis Modalità di posa in opera..... 947
30.9 bis Controlli in corso d'opera 948

Art. 31 CAM - Pavimentazioni in conglomerato bituminoso 951
31.1 Descrizione e campo di applicazione 951
31.2 Normativa di riferimento..... 952
31.3 Criteri di accettazione delle miscele 954
31.4 Criteri di accettazione dei materiali costituenti 964
31.5 Criteri di accettazione delle miscele speciali 981
31.6 Criteri di accettazione per altri materiali e lavorazioni 982
31.7 Criteri di accettazione delle miscele 994
31.8 Documenti di prequalifica 995
31.9 Modalità esecutive..... 996
31.10 Controlli in corso d'opera 1001

Art. 31 NO CAM - Pavimentazioni in conglomerato bituminoso..... 1013
31.1 Descrizione e campo di applicazione 1013
31.2 Normativa di riferimento..... 1013
31.3 Criteri di accettazione delle miscele 1016
31.4 Criteri di accettazione dei materiali costituenti 1025
31.5 Criteri di accettazione delle miscele speciali 1042
31.6 Criteri di accettazione per altri materiali e lavorazioni 1043
31.7 Criteri di accettazione delle miscele 1055
31.8 Documenti di prequalifica 1056

31.9 Modalità esecutive ... 1057
31.10 Controlli in corso d'opera ... 1062

Art. 32 Sostegno dei rilevati in terra "rinforzata" o "armata" ... 1073
32.1 Descrizione e scopo ... 1073
32.2 Normativa di riferimento ... 1073
32.3 Criteri di accettazione dei rinforzi e dei materiali ... 1073
32.4 Dossier di prequalifica ... 1076
32.5 Modalità esecutive ... 1077
32.6 Controlli in corso d'opera ... 1077
32.7 Sostegno dei rilevati a scomparti in elementi scatolari o cellulari ... 1078

Art. 33 Impermeabilizzazione di opere d'arte ... 1080
33.1 Descrizione e campo di applicazione ... 1080
33.2 Normativa di riferimento ... 1080
33.3 Criteri di accettazione dei materiali di impermeabilizzazione di opere d'arte ... 1081
33.4 Criteri di accettazione dei materiali di impermeabilizzazione per applicazioni diverse rispetto a quelle del § 33.3 ... 1085
33.5 Documenti di prequalifica ... 1088
33.6 Modalità esecutive ... 1089
33.7 Controlli in corso d'opera ... 1093

Art. 34 Impermeabilizzazione della superficie di estradosso delle gallerie artificiali ... 1096
34.1 Descrizione e campo di applicazione ... 1096
34.2 Normativa di riferimento ... 1096
34.3 Criteri di accettazione dell'impermeabilizzazione con TNT+PVC+TNT ... 1096
34.4 Profilati in PVC (water-stop) per giunti, a tenuta idraulica ... 1098
34.5 Documenti di prequalifica ... 1100
34.6 Modalità esecutive ... 1100
34.7 Controlli in corso d'opera ... 1102

Art. 35 Segnaletica verticale e orizzontale ... 1105
35.1 Descrizione e campo di applicazione ... 1105
35.2 Normativa di riferimento ... 1105
35.3 Criteri di accettazione – Segnaletica verticale ... 1106
35.4 Criteri di accettazione – Delineatori stradali ... 1116
35.5 Criteri di accettazione – Segnaletica orizzontale ... 1121
35.6 Dossier di prequalifica ... 1127
35.7 Modalità esecutive ... 1128
35.8 Controlli in corso d'opera ... 1130
35.9 Tolleranze e penali ... 1132

Art. 36 CAM - Sistemi antirumore ... 1134
36.1 Prequalifica del sistema antirumore ... 1134
36.2 Caratteristiche dei pannelli e dei materiali costituenti le barriere ... 1145
36.3 Collaudo acustico della barriera antirumore ... 1171

Art. 36 NO CAM - Sistemi antirumore ... 1174

Art.37. Barriere di sicurezza ... 1222
37.1 Prescrizioni generali ... 1222
37.2 Normativa di riferimento ... 1222
37.3 Termini e definizioni ... 1227
37.4 Requisiti di sicurezza stradale dei dispositivi di ritenuta ... 1229

37.4.3 Dispositivi amovibili per varchi ... 1231
37.4.4 Terminali speciali ... 1232
37.4.5 Transizioni e collegamenti ... 1233
37.4.6 Altri generi di dispositivi ... 1234
37.5 Prequalifica dei dispositivi di ritenuta e degli stabilimenti produttivi ... 1235
37.6 Conformità dei prodotti in fornitura ... 1241
37.6.1 Caratteristiche tecniche dei dispositivi di sicurezza stradale e dei materiali ... 1241
37.6.2 Dispositivi in acciaio ... 1242
36.7 Controlli in fase di produzione ... 1244
37.8 Accettazione delle forniture consegnate in cantiere ... 1248
37.9 Verifiche sul dispositivo installato ... 1250
37.9.1 Verifiche di conformità e geometriche sul dispositivo installato ... 1250
37.9.2 Controlli sui Tirafondi (Barriere da Bordom Ponte e New Jersey) ... 1251
37.9.3 Prove di serraggio ... 1252
37.9.4 Prove di spinta ("push") per barriere a paletti infissi nel terreno ... 1253
37.10 Documentazione a seguito dell'installazione ... 1254

37.11 Modifica in corso d'appalto della documentazione tecnica ... 1255

37.12 Simulazioni numeriche agli elementi finiti ... 1255

Art. 38 Recinzioni metalliche di confine della proprietà autostradale, reti di protezione e parapetti 1257
38.1 Generalità e campo di applicazione ... 1257
38.2 Normativa di riferimento ... 1257
38.3 Criteri di accettazione delle recinzioni standard, reti di protezione e parapetti ... 1258
38.4 Criteri di accettazione delle recinzioni faunistiche ... 1262
38.5 Criteri di accettazione dei cancelli di accesso ... 1264
38.6 Criteri di accettazione dei materiali costituenti le recinzioni e cancelli di accesso ... 1264
38.7 Documenti di prequalifica ... 1266
38.8 Modalità esecutive ... 1267
38.9 Controlli e prove ... 1268
38.10 Penali ... 1269

Art. 39 Opere a verde ... 1271
39.1 Definizione e campo di applicazione ... 1271
39.2 Normativa di riferimento ... 1271
39.3 Criteri di accettazione del terreno vegetale e dei concimi ... 1271
39.4 Criteri di accettazione dei prodotti fitosanitari ... 1277
39.5 Criteri di accettazione intervento antierosivo e di rinaturalizzazione con specie erbacee perenni a radicazione profonda, sottile e resistente ... 1282
39.6 Documenti di qualifica ... 1284
39.7 Modalità esecutive ... 1284
39.8 Prove e controlli ... 1297
39.9 Manutenzione degli impianti (cure colturali) ... 1298

Art. 40 Murature ... 1300
40.1 Norme generali ... 1300
40.2 Murature di mattoni ... 1300
40.3 Murature di pietrame a secco ... 1302
40.4 Murature di pietrame e malta ... 1302
40.5 Muratura in pietra da taglio ... 1303
40.6 Muratura in pietrame e conglomerato cementizio ... 1304

Art. 41 Intonaci ... 1305
41.1 Intonaci eseguiti a mano ... 1305
41.2 Intonaci eseguiti a spruzzo (gunite) ... 1305
41.3 Prove e controlli di laboratorio ... 1306

Art. 42 Solai ... 1307
42.1 Generalità ... 1307
42.2 Solai misti in c.a. e laterizi ... 1307
42.3 Solai alleggeriti a struttura in c.a. ... 1307
42.4 Solai in lamiera grecata e getto collaborante in c.a. ... 1307
42.5 Solai in lastre multifori estruse prefabbricate in c.a. ... 1308

Art. 43 Controsoffitti ... 1309
43.1 In pannelli ad impasto gessoso ... 1309
43.2 In pannelli di fibre minerali ... 1309
43.3 In pannelli di lamierino d'alluminio ... 1309
43.4 In elementi modulari a cielo aperto ... 1309
43.5 In doghe d'alluminio ... 1310
43.6 In lastre di gesso cartonato su intelaiatura portante ... 1310
43.7 In tavolato d'abete ... 1310
43.8 Controsoffitto tagliafuoco ... 1310

Art. 44 Coperture ... 1311
44.1 Norme generali ... 1311
44.2 In lastre ondulate di fibrocemento ... 1311
44.3 In lastre nervate d'alluminio ... 1311
44.4 In pannelli Sandwich autoportanti ... 1312
44.5 In lastre di lamiera grecata ... 1312
44.6 In lastre di metacrilato ... 1313
44.7 In pannelli d'acciaio inox ... 1313
44.8 In lamiera di rame ... 1313
44.9 Strato di ghiaia ... 1313

Art. 45 Mantovane ... 1314

Art. 46 Pareti in pannelli prefabbricati ... 1315
46.1 Pannelli portanti in c.a.v. normale o alleggerito ... 1315
46.2 Pannelli di tamponamento e divisori ... 1315

Art. 47 Pareti divisorie mobili ... 1318
47.1 Norme generali ... 1318
47.2 Pareti in lastre di truciolare ignifugo ... 1318
47.3 Pareti in lastre di fibrocemento ... 1319

Art. 48 Controfodere ... 1320
48.1 Norme generali ... 1320
48.2 Controfodera in pannelli di gesso cartonato ... 1320
48.3 Controfodera in lastre truciolari ... 1320
48.4 Controfodera in lastre di fibrocemento ... 1320

Art. 49 Isolamenti ... 1321

Art. 50 Rivestimenti ... 1322
50.1 Plastico al quarzo ... 1322

50.2 Piastrelle smaltate ... 1322
50.3 Mattoncini in litoceramica (clinker) ... 1322
50.4 Zoccolino battiscopa ... 1322
50.5 Lastre in pietra naturale ... 1323
50.6 Cordonate in pietra ... 1323
50.7 Gradini prefabbricati ... 1323
50.8 Gradini rivestiti con profilati di gomma ... 1323
50.9 Soglie e davanzali in c.a. ... 1324
50.10 Rivestimento con pannelli di acciaio porcellanato ... 1324
50.11 Rivestimento in blocchi prefabbricati ... 1324

Art. 51 Vespai ... 1325

Art. 52 Pavimenti ... 1326
52.1 Norme generali ... 1326
52.2 In cubetti di porfido ... 1326
52.3 In lastre di marmo ... 1326
52.4 In piastrelle di grès ... 1327
52.5 In gomma e vinilico ... 1327
52.6 In lastre di calcestruzzo ... 1327
52.7 In elementi modulari autobloccanti in cls vibrato ... 1328
52.8 In mattonelle ... 1328
52.9 In lastre di agglomerato vibrocompresso ... 1328
52.10 In moquette ... 1328
52.11 In modulare sopraelevato ... 1329

Art. 53 Canali di gronda, pluviali, scossaline, ecc ... 1330
53.1 Norme generali ... 1330
53.2 Bocchettoni ... 1330
53.3 Canali di Gronda, Foderature, Converse, Scossaline ... 1330
53.4 Pluviali ... 1330
53.5 Strutture e lattonerie in acciaio inox ... 1331

Art. 54 Rivestimenti in alluminio e leghe leggere di alluminio ... 1332

Art. 55 Infissi ... 1333
55.1 Norme generali ... 1333
55.2 Infissi in legno ... 1334
55.3 Infissi in ferro ... 1336
55.4 Infissi in alluminio e sue leghe ... 1338
55.5 Tende alla veneziana ... 1340
55.6 Persiane avvolgibili in materia plastica ... 1340
55.7 Serrande avvolgibili in acciaio zincato ... 1341
55.8 Porte a bilico ... 1341
55.9 Portoni ad impacco laterale ... 1342
55.10 Portoni di tipo sezionale ... 1343
55.11 Lucernari ... 1344

Art. 56 Tinteggiature e verniciature ... 1345
56.1 Norme generali ... 1345
56.2 Tinteggiatura ... 1345
56.3 Verniciatura di pareti in muratura ... 1346
56.4 Verniciature di strutture in acciaio ... 1346
56.5 Verniciature di opere in legno ... 1351

56.6 Protezione al fuoco 1352
56.7 Tappezzeria in plastica 1353
56.8 Rivestimenti plastici 1353
56.9 Ossidazione anodica 1354

Art. 57 Bonifica bellica sistematica terrestre e subacquea 1355
57.1 Scopo e campo di applicazione 1355
57.2 Normativa di riferimento 1355
57.3 Imprese autorizzate all'espletamento del servizio di bonifica bellica 1355
57.4 Oneri generali a carico dell'Appaltatore 1356
57.5 Eventuale rimozione degli ordigni bellici, sostanze e materiali bellici 1356
57.6 Collaudo 1357
57.7 Controlli in corso d'opera 1357

CONDIZIONI GENERALI

Art. CG.00 - Premessa metodologica alla consultazione del Capitolato

CG.00.01 - Inquadramento Normativo

Il presente Capitolato Speciale d'Appalto è stato redatto in conformità al D.M. 5 agosto 2024 "Adozioni di Criteri Ambientali Minimi per l'affidamento del servizio di progettazione ed esecuzione dei lavori di costruzione, manutenzione e adeguamento delle infrastrutture stradali (CAM Strade)". L'applicazione di tali criteri (specificati nell'Art. CG.05) costituisce la linea guida prioritaria per l'esecuzione delle opere.
Qualora uno o più criteri ambientali minimi siano in contrasto con normative tecniche di settore, il Progettista, nella relazione CAM, fornisce la motivazione della non applicabilità o dell'applicazione parziale del criterio ambientale minimo indicando i riferimenti normativi che determinano la non applicabilità dello stesso.
L'applicazione parziale o la mancata applicazione di uno o più dei criteri ambientali contenuti nel decreto CAM, può essere stabilita dalla stazione appaltante, ad esempio nel documento di indirizzo alla progettazione, DIP di cui all'art. 3 dell'Allegato I.7 del Codice o dal progettista, per i seguenti motivi:
- prodotto da costruzione non previsto dal progetto;
- particolari condizioni del sito che impediscono la piena applicazione di uno o più specifiche tecniche.

CG.00.02 - Organizzazione degli Articoli Tecnici

Visto quanto sopra riportato, nel presente Capitolato Speciale d'Appalto sono previsti articoli che recepiscono integralmente le prescrizioni del decreto CAM. Per questi stessi articoli è presente una versione NO CAM che non recepisce l'adozione dei criteri ambientali minimi da adottare nei casi previsti dalla Normativa.
L'adozione e/o esclusione dei CAM deve essere dettagliata da parte del Progettista negli elaborati specialistici e nella Relazione CAM del progetto esecutivo di cui il Capitolato Speciale d'Appalto è parte sostanziale.
Per ciascuna di questi articoli, sono presenti due versioni differenziate nel titolo dalle diciture "CAM" e "NO CAM":

- Versione "CAM" descrive requisiti, materiali e modalità esecutive nel pieno rispetto dei Criteri Ambientali Minimi.
- Versione "NO CAM" descrive i requisiti tecnici prestazionali secondo gli standard tradizionali a cui non sono applicati i criteri ambientali minimi.

CG.00.03 - Elenco degli Articoli Differenziati

La suddetta differenziazione si applica ai seguenti articoli:

- Art. 1 – Scavi per opere all'aperto
- Art. 2 – Demolizioni e Rimozioni
- Art. 3 – Rilevati - fresato
- Art. 17 – Sistemi di drenaggio del corpo autostradale a gravità
- Art. 20 – Conglomerati cementizi semplici e armati
- Art. 24 – Acciaio per c.a.

- Art. 25 – Acciaio per strutture metalliche
- Art. 29 – Misto granulare non legato per fondazione
- Art. 30 – Fondazioni legate e strati di base-sottobase a freddo
- Art. 31 – Pavimentazioni in conglomerato bituminoso
- Art. 36 – Sistemi antirumore

CG.00.04 - Modalità di Lettura e Vincolo Progettuale

La scelta di applicare la lavorazione in regime "CAM" o in regime "NO CAM" viene operata **esclusivamente in sede di Progettazione** ed è univocamente definita negli elaborati progettuali (Computo Metrico Estimativo, Elenco Prezzi, Relazioni Specialistiche e Tavole di Progetto).
In via preferenziale, l'articolo da utilizzare è l'articolo CAM, salvo i casi descritti e motivati negli elaborati progettuali dal Progettista e non è facoltà dell'Appaltatore e della Direzione Lavori la sostituzione col corrispondente articolo NO CAM in fase esecutiva.

Art. CG.01 - Prequalifica dei materiali ed accettazione del Direttore dei Lavori

Tutti i materiali (intesi come materiali, prodotti, composti, forniture, componenti, ecc.) oggetto dei lavori di contratto devono essere, preventivamente al loro acquisto, prequalificati ad onere dell'Appaltatore e, preventivamente al loro impiego in cantiere, qualificati ed accettati a cura ed onere del Direttore dei Lavori in conformità al CSA parte I e ai requisiti indicati nel presente Capitolato Speciale parte II.

Per la descrizione del processo e degli oneri in capo all'Appaltatore si rimanda al contratto e al capitolato speciale parte I e ai documenti allegati.

CG.01.01 - Materiali e Prodotti per Uso Strutturale (rif.§ 11.1 delle Norme Tecniche per le Costruzioni NTC 2018)

Il seguente paragrafo specifica i materiali e i prodotti per uso strutturale e ne stabilisce i requisiti fondamentali di identificazione, qualificazione e accettazione.
Si definiscono materiali e prodotti per uso strutturale, utilizzati nelle opere soggette alle presenti norme, quelli che consentono ad un'opera ove questi sono incorporati permanentemente di soddisfare in maniera prioritaria il requisito base delle opere n.1 "Resistenza meccanica e stabilità" di cui all'Allegato I del Regolamento UE 305/2011.
I materiali ed i prodotti per uso strutturale devono rispondere ai requisiti indicati nel seguito.

I materiali e prodotti per uso strutturale devono essere:

– identificati univocamente a cura del fabbricante, secondo le procedure di seguito richiamate

– qualificati sotto la responsabilità del fabbricante, secondo le procedure di seguito richiamate

– accettati dal Direttore dei lavori mediante acquisizione e verifica della documentazione di identificazione e qualificazione, nonché mediante eventuali prove di accettazione.

In particolare, per quanto attiene l'identificazione e la qualificazione, possono configurarsi i seguenti casi:

A) materiali e prodotti per i quali sia disponibile, per l'uso strutturale previsto, una norma europea armonizzata il cui riferimento sia pubblicato su GUUE. Al termine del periodo di coesistenza il loro impiego nelle opere è possibile soltanto se corredati della "Dichiarazione di Prestazione" e della Marcatura CE, prevista al Capo II del Regolamento UE 305/2011;

B) materiali e prodotti per uso strutturale per i quali non sia disponibile una norma europea armonizzata oppure la stessa ricada nel periodo di coesistenza, per i quali sia invece prevista la qualificazione con le modalità e le procedure indicate nelle presenti norme. E' fatto salvo il caso in cui, nel periodo di coesistenza della specifica norma armonizzata, il fabbricante abbia volontariamente optato per la Marcatura CE;

C) materiali e prodotti per uso strutturale non ricadenti in una delle tipologie A) o B. In tali casi il fabbricante dovrà pervenire alla Marcatura CE sulla base della pertinente "Valutazione Tecnica Europea" (ETA), oppure dovrà ottenere un "Certificato di Valutazione Tecnica" rilasciato dal Presidente del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, previa istruttoria del Servizio Tecnico Centrale, anche sulla base di Linee Guida approvate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, ove disponibili; con decreto del Presidente del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, su conforme parere della competente Sezione, sono approvate Linee Guida relative alle specifiche procedure per il rilascio del "Certificato di Valutazione Tecnica".

CG.01.02 - Procedure di lavoro

L'Appaltatore, nell'ambito del Progetto Esecutivo per l'Esecuzione (PEC) così come definito nel Capitolato Speciale parte I e nei documenti allegati, per ciascuna lavorazione con particolare rilevanza tecnico-economica, secondo il giudizio della Direzione Lavori, redige le Procedure di Lavoro con i contenuti indicati nella citata documentazione.

Art. CG.02 – Piani Controllo Qualità e Programma giornaliero delle attività per la pianificazione delle prove e dei controlli a cura della Direzione Lavori

In accordo ai contenuti del Capitolato Speciale parte I e dei documenti allegati, l'Appaltatore, per l'intera durata del cantiere dovrà presentare alla Direzione Lavori i Piani Controllo Qualità operativi e i programmi giornalieri per consentire la pianificazione delle prove e dei controlli a cura della Direzione Lavori.

In base alla programmazione dell'Appaltatore, la Direzione Lavori dovrà provvedere quotidianamente ad espletare le verifiche della corretta esecuzione delle lavorazioni e della conformità dei materiali/prodotti impiegati, nel rispetto del presente Capitolato Speciale d'Appalto, del Progetto e della Normativa vigente. Tali verifiche dovranno essere documentate mediante appositi verbali corredati di opportuno report fotografico. Relativamente alle lavorazioni non più ispezionabili ad opera completata il report fotografico dovrà essere il più dettagliato possibile e tale da poter consentire valutazioni a posteriori delle lavorazioni effettuate; a mero titolo di esempio, si cita, tra le lavorazioni che necessitàno maggior dettaglio dei report fotografici:

- fondazioni e sottofondazioni;
- opere in c.a. interrate;
- la posa di armature lente, pre o post tese;
- impermeabilizzazioni;
- fori e inghisaggi di tirafondi per barriere di sicurezza, barriere FOA/integrate e segnaletica verticale;
- cavi di precompressione;
- tiranti di ancoraggio;
- bulloni e chiodi;
- Inghisaggi e ripristini strutturali.

Art. CG.03 - Non Conformità e azioni correttive

La disciplina delle Non Conformità è regolata nel Contratto, nel Capitolato Speciale parte prima e nei documenti allegati a cui si rimanda integralmente.

Art. CG.04 - Dichiarazione di prestazione e marcatura CE

I lavori oggetto delle presenti norme tecniche dovranno essere realizzati nel rispetto DECRETO LEGISLATIVO 16 giugno 2017, n. 106 - Adeguamento della normativa nazionale alle disposizioni del regolamento (UE) n. 305/2011, che fissa condizioni armonizzate per la commercializzazione dei prodotti da costruzione e che abroga la direttiva 89/106/CEE. (17G00119).

Quando un prodotto da costruzione o kit prefabbricato rientra nell'ambito di applicazione di una norma armonizzata o è conforme a una valutazione tecnica europea rilasciata per il prodotto in questione, il fabbricante redige una dichiarazione di prestazione all'atto dell'immissione di tale prodotto sul mercato. La dichiarazione di prestazione descrive la prestazione dei prodotti da costruzione in relazione alle caratteristiche essenziali di tali prodotti, conformemente alle pertinenti specifiche tecniche armonizzate.

La dichiarazione di prestazione contiene in particolare le seguenti informazioni:

a) il riferimento del prodotto-tipo per il quale la dichiarazione di prestazione è stata redatta;
b) il sistema o i sistemi di valutazione e verifica della costanza della prestazione del prodotto da costruzione di cui all'allegato V del regolamento (UE) n. 305/2011;
c) il numero di riferimento e la data di pubblicazione della norma armonizzata o della valutazione tecnica europea usata per la valutazione di ciascuna caratteristica essenziale;
d) se del caso, il numero di riferimento della documentazione tecnica specifica usata ed i requisiti ai quali il fabbricante dichiara che il prodotto risponda.

La dichiarazione di prestazione contiene altresì:

a) l'uso o gli usi previsti del prodotto da costruzione, conformemente alla specifica tecnica armonizzata applicabile;
b) l'elenco delle caratteristiche essenziali secondo quanto stabilito nella specifica tecnica armonizzata per l'uso o gli usi previsti dichiarati;
c) la prestazione di almeno una delle caratteristiche essenziali del prodotto da costruzione pertinenti all'uso o agli usi previsti dichiarati;
d) se del caso, la prestazione del prodotto da costruzione, espressa in livelli o classi, o in una descrizione, ove necessario sulla base di un calcolo, in relazione alle sue caratteristiche essenziali determinate conformemente all'articolo 3, paragrafo 3 del regolamento (UE) n. 305/2011;
e) la prestazione delle caratteristiche essenziali del prodotto da costruzione concernenti l'uso o gli usi previsti, tenendo conto delle disposizioni relative all'uso o agli usi previsti nel luogo in cui il fabbricante intenda immettere il prodotto da costruzione sul mercato;
f) per le caratteristiche essenziali elencate, per le quali non sia dichiarata la prestazione, le lettere «NPD» (nessuna prestazione determinata);
g) qualora per il prodotto in questione sia stata rilasciata una valutazione tecnica europea, la prestazione, espressa in livelli o classi, o in una descrizione, del prodotto da costruzione in relazione a tutte le caratteristiche essenziali contenute nella corrispondente valutazione tecnica europea.

La dichiarazione di prestazione, gli allegati in essa richiamati e le istruzioni e informazioni sulla sicurezza sono fornite in lingua italiana conformemente a quanto disciplinato al c.4 dell'art. 6 del citato regolamento (UE) n. 305 del 2011.

La marcatura CE è apposta solo sui prodotti da costruzione per i quali il fabbricante ha redatto una dichiarazione di prestazione.

Devono essere rispettate le seguenti regole e condizioni per l'apposizione della marcatura CE:

1. La marcatura CE è apposta in modo visibile, leggibile e indelebile sul prodotto da costruzione o su un'etichetta ad esso applicata. Se ciò fosse impossibile o ingiustificato a causa della natura del prodotto, essa è apposta sull'imballaggio o sui documenti di accompagnamento;
2. La marcatura CE è seguita dalle ultime due cifre dell'anno in cui è stata apposta per la prima volta, dal nome e dall'indirizzo della sede legale del fabbricante o dal marchio di identificazione che consente, in modo semplice e non ambiguo, l'identificazione del nome e dell'indirizzo del fabbricante, dal codice unico di identificazione del prodotto-tipo, dal numero di riferimento della dichiarazione di prestazione, dal livello o classe della prestazione dichiarata, dal riferimento alla specifica tecnica armonizzata applicata, dal numero di identificazione dell'organismo notificato, se del caso, e dall'uso previsto di cui alla specifica tecnica armonizzata applicata;
3. La marcatura CE è apposta sul prodotto da costruzione prima della sua immissione sul mercato. Essa può essere seguita da un pittogramma o da qualsiasi altra marcatura che indichi segnatamente un rischio o un uso particolare.

I prodotti che riportano la marcatura CE – che ne attesta l'idoneità per un dato impiego previsto, secondo un insieme di prestazioni minime che si rifanno ai requisiti essenziali del Regolamento UE n°305/2011 - beneficiano di presunzione di rispondenza alle prestazioni dichiarate. Apponendo o facendo apporre la marcatura CE, i fabbricanti dichiarano di assumersi la responsabilità della conformità del prodotto da costruzione alla dichiarazione di prestazione e della conformità a tutti i requisiti applicabili.

Il sistema o i sistemi di valutazione e verifica della costanza della prestazione del prodotto da costruzione è definito come l'insieme delle verifiche e dei controlli da effettuare su un determinato prodotto con l'attribuzione delle relative responsabilità suddivise tra il produttore e, se eventualmente richiesto, l'organismo notificato.

I sistemi di valutazione e verifica attestazione della costanza della prestazione sono identificati con sigle numeriche:

- Sistema 1+:
  - Il fabbricante effettua:
    - Il controllo della produzione in fabbrica;
    - Altre prove su campioni prelevati in fabbrica in conformità del piano di prova prescritto;
  - l'organismo notificato di certificazione del prodotto rilascia il certificato di costanza della prestazione del prodotto fondandosi sui seguenti elementi
    - la determinazione del prodotto-tipo in base a prove di tipo (compreso il campionamento), a calcoli di tipo, a valori desunti da tabelle o a una documentazione descrittiva del prodotto;
    - ispezione iniziale dello stabilimento di produzione e del controllo della produzione in fabbrica;
    - sorveglianza, valutazione e verifica continue del controllo della produzione in fabbrica;
    - prove di controllo di campioni prelevati prima dell'immissione del prodotto sul mercato.
- Sistema 1:
  - Il fabbricante effettua:
    - Il controllo della produzione in fabbrica;
    - Altre prove su campioni prelevati in fabbrica in conformità del piano di prova prescritto;
  - l'organismo notificato di certificazione del prodotto rilascia il certificato di costanza della prestazione del prodotto fondandosi sui seguenti elementi

- la determinazione del prodotto-tipo in base a prove di tipo (compreso il campionamento), a calcoli di tipo, a valori desunti da tabelle o a una documentazione descrittiva del prodotto;
- ispezione iniziale dello stabilimento di produzione e del controllo della produzione in fabbrica;
- sorveglianza, valutazione e verifica continue del controllo della produzione in fabbrica.

- Sistema 2+:
  - Il fabbricante effettua:
    - la determinazione del prodotto-tipo in base a prove di tipo (compreso il campionamento), a calcoli di tipo, a valori desunti da tabelle o a una documentazione descrittiva del prodotto;
    - Il controllo della produzione in fabbrica;
    - Altre prove su campioni prelevati in fabbrica in conformità del piano di prova prescritto;
  - l'organismo notificato di certificazione del prodotto rilascia il certificato di costanza della prestazione del prodotto fondandosi sui seguenti elementi
    - ispezione iniziale dello stabilimento di produzione e del controllo della produzione in fabbrica;
    - sorveglianza, valutazione e verifica continue del controllo della produzione in fabbrica.
- Sistema 3:
  - il fabbricante effettua il controllo della produzione in fabbrica;
  - il laboratorio di prova notificato determina il prodotto-tipo in base a prove di tipo (sulla scorta del campionamento effettuato dal fabbricante), a calcoli di tipo, a valori desunti da tabelle o a una documentazione descrittiva del prodotto.
- Sistema 4:
  - Il fabbricante effettua:
    - la determinazione del prodotto-tipo in base a prove di tipo (compreso il campionamento), a calcoli di tipo, a valori desunti da tabelle o a una documentazione descrittiva del prodotto;
    - Il controllo della produzione in fabbrica;
  - l'organismo notificato non ha compiti da svolgere.

Art. CG.05 - Criteri per la sostenibilità ambientale dei materiali del capitolato

In coerenza con i principi di sostenibilità ambientale relativi ai prodotti da costruzione disciplinati in queste norme tecniche di capitolato, e in sintonia con i più recenti atti di indirizzo comunitari volti al rispetto dei principi e dei modelli di sviluppo dell'economia circolare, il concetto di LCA (valutazione del ciclo di vita) deve essere alla base delle scelte operate dall'Appaltatore nella fase di approvvigionamento dei materiali. La Direzione Lavori deve sempre promuovere tale approccio.
Il presente capitolato prevede l'uso di materiali recuperati, riciclati e riutilizzati quali sottoprodotti,, come disciplinato dal **Decreto Ministeriale del 5 agosto 2024** (e successive modifiche e integrazioni), che adotta i Criteri Ambientali Minimi per l'affidamento del servizio di progettazione e l'esecuzione dei lavori di costruzione, manutenzione e adeguamento delle infrastrutture stradali (CAM Strade).

CG.05.01 Contenuto Minimo di Materia Recuperata, Riciclata o Sottoprodotti

Laddove sia richiesto un determinato quantitativo minimo di materia recuperata, riciclata o di sottoprodotti, si intende un contenuto di almeno una certa percentuale (**x%**) sul peso del prodotto, calcolata come somma delle tre frazioni. La percentuale minima richiesta può essere raggiunta con l'apporto di queste tre frazioni, salvo diversa indicazione nel criterio specifico.
I **sottoprodotti**, come definiti dall'articolo 184-bis del Decreto Legislativo n. 152 del 2006, possono derivare da scarti e sfridi di lavorazione per uso interno al processo produttivo che li ha generati, o da scarti e sfridi di lavorazione generati da altri processi produttivi, o ancora da processi di simbiosi industriale. Gli aggregati naturali ottenuti dalla lavorazione di terre e rocce da scavo, gestite come sottoprodotto ai sensi del DPR 120/2017, rientrano nella categoria dei sottoprodotti.
Nel progetto, la **Relazione CAM** dovrà esplicitare la gerarchia di valutazione delle singole categorie di materiale (riciclato - recuperato - sottoprodotto), tenendo conto del contesto in cui è inserita l'opera.
Questo valore minimo deve essere dimostrato tramite una delle seguenti certificazioni fornite dal fabbricante/produttore:

- **Dichiarazione Ambientale di Prodotto (DAP o EPD)** conforme alle norme UNI EN 15804 e UNI EN ISO 14025.
- Certificazione di prodotto **"REMADE®"** o **"ReMade in Italy®"**.
- Certificazione di prodotto per il marchio **"Plastica seconda vita"**.
- Per i prodotti in PVC, è possibile utilizzare anche il marchio **VinylPlus Product Label**.
- Una certificazione di prodotto basata sul bilancio di massa emessa da un organismo di valutazione della conformità accreditato.
- Una certificazione di prodotto conforme alla prassi **UNI/PdR 88**, per i materiali che rientrano nel suo campo di applicazione (non applicabile ai materiali plastici).
- Certificazione **MGI** (Made Green in Italy).

CG.05.02 Priorità di Approvvigionamento dei Materiali da Parte dell'Appaltatore

L'Appaltatore deve considerare, come prima scelta, la possibilità di **riutilizzare ogni materiale** risultante dalle lavorazioni di cantiere, nel rispetto della normativa vigente, del progetto e dei requisiti specificati nel capitolato, con l'obiettivo di ridurre al massimo gli approvvigionamenti esterni.
Laddove sia necessario approvvigionare materiali dall'esterno, l'Appaltatore deve sempre privilegiare, a parità di costo per la Committenza e di prestazioni, l'acquisto di **materiali recuperati o riciclati** al posto di quelli vergini, soprattutto per i rilevati e le fondazioni stradali, le pavimentazioni in conglomerato bituminoso, gli inerti del calcestruzzo, l'acciaio di armatura e i dispositivi di ritenuta stradale.

CG.05.03 Requisiti Aggiuntivi e Verifiche

Qualora il contratto o i documenti di gara prevedano l'utilizzo di materiali con ridotte emissioni di CO2 rispetto a valori di riferimento o l'uso di elementi composti da materiale recuperato, riciclato o riutilizzato quali sottoprodotto,, l'Appaltatore deve rispettare i requisiti definiti in tali documenti e le prescrizioni specifiche contenute nel presente capitolato.
Inoltre, il Direttore dei Lavori potrà richiedere certificazioni integrative o l'esecuzione di prove aggiuntive per verificare il rispetto dei valori di CO2 dichiarati dall'Appaltatore, delle percentuali di materiale recuperato, riciclato o riutilizzato quali sottoprodotto o di qualsiasi altro parametro, senza che ciò possa dar luogo a richieste di maggiori costi o tempi.

NORME PER LA PREQUALIFICA E QUALIFICA DEI MATERIALI, ESECUZIONE E CONTROLLO DEI LAVORI

I controlli e le verifiche eseguite dalla stazione appaltante nel corso dell'appalto non escludono la responsabilità dell'Appaltatore per vizi, difetti e difformità dell'opera, di parte di essa, o dei materiali impiegati, nè la garanzia dell'Appaltatore stesso per le parti di lavoro e materiali già controllati. Tali controlli e verifiche non determinano l'insorgere di alcun diritto in capo all'Appaltatore, nè alcuna preclusione in capo alla Stazione Appaltante.

Art. 1 CAM - Scavi per opere all'aperto

1.1 Norme generali

1.1.1 Definizioni e generalità

Per scavo s'intende l'asportazione dalla loro sede di terreni e materiali litoidi di qualsiasi natura. In coerenza con il D.M. 5 agosto 2024 (CAM Strade), l'asportazione e il trasporto dei materiali devono avvenire secondo i principi dell'economia circolare, dando priorità al riutilizzo rispetto alla destinazione a rifiuto, salvo diverse specifiche contenute negli elaborati di progetto esecutivo e riassunto nella relazione CAM (criterio 1.1. del D.M.).
Gli scavi sono di norma finalizzati a realizzare superfici o volumi cavi a geometria definita.
In relazione agli spazi operativi disponibili, alla vicinanza di strutture preesistenti, alle geometrie da rispettare ed alla consistenza dei materiali da scavare gli scavi potranno essere eseguiti a mano, con mezzi meccanici e con l'impiego di esplosivi.
L'Appaltatore dovrà provvedere ad apporre alle aree di scavo opportune recinzioni e segnaletiche diurne e notturne secondo le vigenti norme di legge.
L'Appaltatore dovrà adottare tutte le cautele necessarie (indagini preliminari, sondaggi, scavi campione ecc.) per evitare il danneggiamento di manufatti e reti interrate di qualsiasi natura, compresa tra le cautele la temporanea sostituzione dei manufatti o deviazione delle reti ed il tempestivo ripristino a fine lavori.
Nell'esecuzione dei lavori di scavo l'Appaltatore dovrà farsi carico delle prescrizioni e degli oneri di seguito elencati a titolo descrittivo e non limitativo.
In particolare, dovranno essere garantiti sistemi di regimazione delle acque meteoriche all'interno delle aree di lavorazione in modo da evitare ristagni e dilavamento delle aree di cantiere e al fine di evitare fenomeni di erosione. A tal riguardo, potranno essere previste operazioni di rinverdimento delle superfici scavate, qualora la sistemazione finale non fosse immediata.

In tutte le fasi esecutive, comprese le fasi di preparazione e di sistemazione finale delle aree, per gli aspetti e le problematiche relative a temi ambientali, quali impatti acustici e vibrazionali, emissioni in atmosfera, impatto sulle acque superficiali, sotterranee e sul suolo, impatti sulla componente fauna e vegetazione, si rimanda integralmente a quanto prescritto dalla Normativa Nazionale e Regionale vigente, alle prescrizioni degli Enti preposti alla tutela ambientale, nonché alle condizioni ambientali contenute nelle autorizzazioni ed alle disposizioni del Capitolato Ambientale e Piano di Gestione Terre/Piano di Utilizzo allegati al progetto esecutivo.

1.1.2 Bonifica ordigni bellici, sottoservizi e archeologia

L'inizio delle attività di scavo è vincolato al completamento dei lavori previsti in progetto di ottenimento dell'attestato di esecuzione delle attività di bonifica bellica rilasciato dall'ufficio BCM del Reparto Infrastrutture del Ministero della Difesa territorialmente competente e rimozione dei sottoservizi. L'Appaltatore deve sempre accertarsi del completamento delle operazioni di cui sopra anche se eseguite precedentemente all'Appalto o da altre Imprese incaricate direttamente dalla Committente. Inoltre, prima di iniziare uno scavo, deve prendere ogni opportuna cautela per evitare danni ad opere, infrastrutture e sottoservizi adiacenti seguendo in ogni caso le indicazioni eventualmente riportate nel PSC di progetto.
Nei casi in cui nel progetto sia prevista la sorveglianza archeologica degli scavi, la Committente nominerà un referente che l'Appaltatore è tenuto sempre a far accedere alle aree di lavoro e ad agevolare la sua attività.

1.1.3 Disboscamento e regolazione delle acque

L'Appaltatore, propedeuticamente all'inizio degli scavi dovrà inoltre procedere, quando necessario e a seguito dell'acquisizione delle necessarie autorizzazioni:

- al taglio delle piante, all'estirpazione delle ceppaie, radici, arbusti, ecc., con materiale di risulta che resta di proprietà dell'Appaltatore. È onere dell'Appaltatore stesso l'eventuale trasporto di tale materiale in aree apposite anche per eventuale riutilizzo in cantiere o smaltito come rifiuto in impianto autorizzato, rispettando le norme regionali forestali e i regolamenti del verde comunali vigenti in materia e lasciando sul posto, salvaguardandoli dalle lavorazioni, eventuali esemplari indicati in Progetto, nei documenti d'appalto, o dalla Direzione Lavori. Nel caso di abbattimenti di alberature su scarpata stradale, o nelle vicinanze di sedi viarie, occorre prestare la massima attenzione alla salvaguardia dell'utenza stradale in accordo ai contenuti del PSC;
- all'eventuale demolizione di massicciate stradali esistenti e gestione dei materiali di risulta.

L'Appaltatore dovrà assicurare in ogni caso il regolare deflusso delle acque, facendosi carico di tutti gli oneri derivanti dal loro eventuale smaltimento e/o trattamento secondo le vigenti norme di legge.

1.1.4 La geometria degli scavi

L'Appaltatore è tenuto a rispettare la geometria degli scavi prevista dal Progetto. In particolare dovrà rifinire il fondo e le pareti dello scavo secondo quote e pendenze di Progetto, curando anche che il fondo degli scavi sia compattato secondo le indicazioni del Progetto.

Per quanto riguarda le opere di sostegno multitirantate, nessuno scavo potrà essere eseguito al disotto della quota prevista per la realizzazione dell'ordine di tiranti in corso, se prima l'ordine stesso non sarà completato e messo in tensione.

Qualora negli scavi si fossero superati i limiti assegnati, l'Appaltatore dovrà ricostituire i volumi scavati in più, utilizzando materiali idonei.

Prima di procedere a fasi di lavoro successive, l'Appaltatore dovrà segnalare l'avvenuta ultimazione degli scavi per eventuale ispezione da parte della Direzione Lavori.

1.1.5 Puntellature, franamenti, scavo per campioni

Qualora, per la qualità del terreno o per qualsiasi altro motivo, fosse necessario puntellare, sbatacchiare ed armare le pareti degli scavi, l'Appaltatore dovrà provvedervi a sue spese, adottando tutte le precauzioni necessarie per impedire smottamenti e franamenti. In ogni caso resta a carico dell'Appaltatore il risarcimento per i danni dovuti a tali motivi, subiti da persone, cose o dall'opera medesima.

Nel caso di franamento degli scavi è a carico dell'Appaltatore procedere alla rimozione dei materiali ed al ripristino del profilo di scavo. Nulla è dovuto all'Appaltatore per il mancato recupero, parziale o totale, del materiale impiegato per le armature e sbatacchiature.

Nel caso che, a giudizio della Direzione Lavori, le condizioni nelle quali i lavori si svolgono, lo richiedano, l'Appaltatore sarà tenuto a coordinare opportunamente per campioni la successione e l'esecuzione delle opere di scavo e murarie.

L'appaltatore, in contraddittorio con la D.L., dovrà prevedere tutti gli opportuni e necessari accorgimenti realizzativi (opere, riprofilature, berme intermedie, regimazione e allontanamento dellle acque superficiali, proiezione di betoncino stabilizzante, ...) per garantire durante tutte le fasi del lavoro la stabilità dei fronti di scavo con adeguati margini di sicurezza.

La realizzazione degli scavi deve avvenire per conci successivi, la cui estensione dovrà essere ponderata in situ alla luce di:

- condizioni idrauliche
- effettive condizioni di stabilità del fronte (condizioni geotecniche, stratigrafiche)
- necessità di interventi e/o accorgimenti.

La fasistica e la tempistica realizzativa degli scavi deve essere tale da garantire la stabilità a breve termine anche in riferimento alla natura dei terreni (permeabilità, granulometria, plasticità, ecc.).
In ogni caso, i tempi di apertura degli scavi dovranno essere sufficientemente contenuti al fine di considerare realistiche le ipotesi di condizioni non drenate e scongiurando il rischio di fenomeni di rilascio tensionale e rotture progressive dei terreni coinvolti (decadimento della resistenza al taglio).
Le pendenze degli scavi provvisori riportate sugli elaborati grafici di progetto sono del tutto indicative e dovranno essere verificate alla luce delle effettive condizioni geotecniche, stratigrafiche ed idrauliche in sito.

1.1.6 Materiali provenienti dallo scavo: prescrizioni in caso di riutilizzo

I materiali provenienti dagli scavi dovranno essere caratterizzati dal punto di vista della compatibilità ambientale, a cura dell'Appaltatore laddove previsto da Piano Gestione Terre/Piano di Utilizzo, in accordo con la normativa di settore vigente o applicabile al progetto, in ottemperanza alle indicazioni progettuali.
Nel caso in cui venga accertata la compatibilità ambientale a cura e spese dell'Appaltatore e il progetto preveda il riutilizzo degli scavi per la realizzazione dei lavori in appalto, occorre che l'Appaltatore proceda, sempre a sua cura e spese, alla classificazione geotecnica delle terre secondo le norme della serie UNI EN ISO 14688 e secondo la UNI 11531-1.
Per procedere alla classificazione dei materiali provenienti dagli scavi eseguiti in depositi naturali o terre occorre individuare lotti di produzione ritenuti omogenei in base a osservazione visiva e valutazione geologica eventualmente presente in progetto, della dimensione massima di 10.000 m^3.
Per ogni lotto devono essere compiuti almeno due campionamenti, al fine di accertare le proprietà indicate nel § 4.1. della UNI 11531-1, scegliendo le porzioni apparentemente più differenti tra loro.
Nel caso i due campionamenti evidenzino eccessiva variabilità o portino a classificazione in differenti gruppi del prospetto 1 della citata UNI 11531-1, il lotto deve essere suddiviso in lotti più piccoli e su ciascuno di essi il controllo deve essere ripetuto su 5 punti di prelievo opportunamente distribuiti.
Per i rinterri, l'appaltatore deve eseguire quanto previsto nel progetto che, in linea generale, prescrive il riutilizzo del materiale di scavo proveniente dal cantiere stesso o da altri cantieri, oppure materiale riciclato o recuperato, conforme ai parametri della norma UNI 11531-I materiali provenienti dagli scavi risultati idonei possono essere utilizzati immediatamente, senza far ricorso a luoghi di deposito provvisori. Nel caso in cui dovessero essere temporaneamente accantonati per essere utilizzati successivamente essi possono essere depositati nelle aree individuate nel progetto. L'eventuale custodia e deposito temporaneo dei materiali è un onere a carico dell'Appaltatore. In caso di deposito presso aree appositamente individuate la classificazione degli scavi si esegue su lotti di materiale ritenuti omogenei, prelevando campioni dai cumuli come previsto dalla UNI EN 932-1, con frequenza non minore di 2 campionamenti per ogni lotto e volume non maggiore di 3.000 m^3.
I materiali provenienti da scavi eseguiti in depositi antropici (man-made ground) devono essere esaminati e qualificati separatamente da quelli provenienti da depositi naturali. Non possono essere utilizzati immediatamente ma, circoscritta l'estensione di ciascun tipo di deposito antropico, la parte da esso scavata deve essere accumulata in modo che risulti ben separata e distinguibile dagli altri. Devono quindi essere individuati lotti omogenei della dimensione massima di 3.000 m^c e devono essere campionati a seconda del tipo di cumulo.

Per cumuli costituiti per caduta del materiale dall'alto senza particolari accorgimenti, il prelievo dei campioni deve essere eseguito come segue:

- Se il materiale presenta apparenza sufficientemente uniforme, con riguardo al colore, alla granulometria, alla composizione o ad altre caratteristiche di immediata evidenza, si prelevano almeno 5 campioni di massa minima di 50 kg, da parti diverse e a differente quota del cumulo, curando di ottenere la migliore rappresentatività possibile per i differenti tempi di costruzione del cumulo;
- Se nello stesso cumulo il materiale presenta evidenti sensibili disuniformità, si devono prelevare distinti campioni in corrispondenza alle notate disuniformità, in numero almeno pari alle zone di diverse caratteristiche e comunque non minore di 7.

Quando il materiale sia disposto in cumuli piatti ed estesi, individuato approssimativamente il baricentro della superficie d'appoggio del lotto da campionare, si eseguono i prelievi, in numero non minore di 3, rispettivamente in posizione centrale, mediana e periferica, in modo da evidenziare eventuali disuniformità. Ciascun campione deve essere rappresentativo del materiale presente in tutto lo spessore del cumulo piatto.

In accordo con le previsioni progettuali si elencano i possibili riutilizzi dei materiali provenienti dagli scavi quando ritenuti idonei allo specifico uso dopo la verifica ambientale e la classificazione geotecnica:

- Terre per colmate o rinterri non destinati a sostenere il corpo stradale (in genere sono idonei tutti i tipi di terre);
- Anticapillare;
- Rilevati del corpo stradale (tal quali, mediante correzione granulometrica, stabilizzazione ecc);
- Sottofondo stradale
- Strati di sovrastruttura stradale. Generalmente, le terre derivanti dagli scavi non possono essere utilizzate come materiali non legati per costituire strati della sovrastruttura stradale, a meno che non siano state preventivamente qualificate secondo la UNI EN 13242 o UNI EN 13285. Si può fare eccezione per terre di qualità prestazionali comprovate da adeguati studi sperimentali di laboratorio e in vera grandezza, ovvero quelle per le quali sussista una consolidata positiva esperienza, da confermare comunque in campo prove.

Nel caso non sia possibile riutilizzare il materiale proveniente dagli scavi perché non compatibile dal punto di vista ambientale, questo dovrà essere gestito come un rifiuto e potrà essere inviato a impianto di recupero o smaltimento secondo quanto previsto nelle normativa vigente.

Qualora l'Appaltatore dovesse eseguire scavi in terreni lapidei, nel rispetto di quanto previsto da progetto e quando questi fossero giudicati idonei dalla Direzione Lavori previa esecuzione di opportune prove di accettazione, incluse quelle ambientali, a carico dell'Appaltatore, potranno essere riutilizzati per murature, gabbioni o materassi. La parte residua potrà essere reimpiegata nell'ambito del lotto per la formazione di rilevati o di riempimenti, avendola ridotta a pezzatura di dimensioni non superiori a 30 cm, secondo il disposto delle presenti Norme. I materiali utilizzabili dovranno eventualmente essere trattati per ridurli alle dimensioni opportune secondo le necessità e le prescrizioni delle presenti Norme, ripresi anche più volte e trasportati nelle zone di utilizzo, a cura e spese dell'Appaltatore.

1.2 Scavi di sbancamento e scotico

Sono denominati scavi di sbancamento quelli occorrenti per:

- la formazione del sedime d'imposta dei fabbricati;

- l'apertura della sede autostradale, dei piazzali e delle opere accessorie, portati a finitura secondo i tipi di Progetto;
- le gradonature di ancoraggio dei rilevati, previste per terreni con pendenza superiore al 20%;
- la bonifica del piano di posa di rilevati o di altre opere;
- lo spianamento del terreno;
- l'impianto di opere d'arte;
- il taglio delle scarpate di trincee o di rilevati;
- la formazione o approfondimento di cunette, di fossi e di canali.

Lo scotico consiste, negli scavi in trincea, nella rimozione ed asportazione del suolo, del terreno vegetale di qualsiasi consistenza e con qualunque contenuto d'acqua, nella rimozione ed asportazione di erba, radici, cespugli, piante e alberi, da effettuarsi preventivamente a tutte le lavorazioni di scavo, avendo cura di rimuovere completamente tutto il materiale vegetale, inclusi ceppi e radici, alterando il meno possibile la consistenza originaria del terreno in sito.

Il materiale vegetale scavato, se ritenuto idoneo dalla D.L. e se ambientalmente compatibile secondo la normativa vigente nei quantitativi stabiliti nel Progetto Esecutivo (Relazione del Piano di Gestione Materie), dovrà essere accantonato, nelle modalità previste da Piano Gestione Terre/Piano di Utilizzo, nel Capitolato Ambientale e in conformità al criterio obbligatorio "2.4.3 Conservazione dello strato superficiale del terreno" del D.M. 5 agosto 2024 (CAM Strade), per essere successivamente utilizzato per il rivestimento delle scarpate e opere a verde in genere; altrimenti esso dovrà essere trasportato a impianto di recupero o smaltimento autorizzato. Rimane comunque categoricamente vietata la posa in opera di tale materiale per la costruzione dei rilevati.

La larghezza dello scotico ha l'estensione dell'intera area di appoggio del rilevato e potrà essere continua od opportunamente gradonata secondo i profili e le indicazioni previste nel Progetto Esecutivo, o impartite dalla D.L., in relazione alle pendenze dei siti di impianto. Lo scotico è stabilito fino alla profondità di cm 20 al di sotto del piano campagna.

Per ulteriori specifiche sulle modalità di esecuzione dello scotico e preparazione del piano di posa dei rilevati si rimanda all'articolo 3 del presente capitolato.

1.3 Scavi di fondazione

Per scavi di fondazione s'intendono quelli chiusi da pareti, di norma verticali, riproducenti il perimetro dell'opera, effettuati al di sotto del piano orizzontale passante per il punto più depresso del terreno lungo il perimetro medesimo.
Questo piano sarà determinato, a giudizio della Direzione Lavori, o per l'intera area di fondazione o per più parti in cui questa può essere suddivisa, a seconda sia dell'accidentalità del terreno, sia delle quote dei piani finiti di fondazione.
Gli scavi saranno, a giudizio insindacabile della Direzione Lavori, spinti alle necessarie profondità, fino al rinvenimento del terreno della capacità portante prevista in Progetto.
Qualora si rendesse necessario dopo l'esecuzione dello scavo, il ripristino delle quote per l'impronta della fondazione dell'opera, i materiali da utilizzare saranno i seguenti:
1- per uno spessore di 30÷50 cm, sabbia fine lavata;
2- per il rimanente spessore, si privilegia l'uso del materiale di scavo stesso, o di materiale riciclato, purché ambientalmente idoneo e conforme ai parametri della UNI 11531-1 appartenenti al gruppo A1, prima di ricorrere a materiali vergini.

Al termine del ripristino dei piani d'imposta, salvo diverse e più restrittive prescrizioni motivate dalla necessità di garantire maggiore stabilità alla fondazione, il modulo di deformazione Md al primo ciclo di carico su piastra (diametro 30 cm), dovrà risultare non inferiore a 40 MPa nell'intervallo tra 1,5÷2,5 daN/cm². Ogni fondazione dovrà essere verificata con prova di piastra di cui sopra nel limite massimo comunque di una prova ogni 300 m^2.
I piani di fondazione saranno perfettamente orizzontali, o disposti a gradoni, con leggera pendenza verso monte per quelle opere che ricadessero sopra falde inclinate; le pareti saranno verticali od a scarpa.
Gli scavi di fondazione potranno essere eseguiti, ove ragioni speciali non lo vietino, anche con pareti a scarpa aventi la pendenza minore di quella prevista, ma in tal caso, nulla è dovuto per il maggiore scavo di fondazione e di sbancamento eseguito di conseguenza.
L'Appaltatore dovrà evitare che il terreno di fondazione subisca rimaneggiamenti o deterioramenti prima della costruzione dell'opera. In particolare eventuali acque ruscellanti o stagnanti dovranno essere allontanate dagli scavi.
È vietato all'Appaltatore, sotto pena di demolire il già fatto, di porre mano alle murature o ai getti prima che la Direzione Lavori abbia verificato ed accettato i piani delle fondazioni.
L'Appaltatore dovrà provvedere a sua cura e spese al riempimento, con materiali idonei sia dal punto di vista prestazionale che della compatibilità ambientale in conformità con la normativa vigente e/o alle indicazioni progettuali, dei vuoti residui degli scavi di fondazione intorno alle murature ed al loro costipamento fino alla quota prevista. Per gli scavi a sezione obbligata, necessari per la collocazione di tubazioni, l'Appaltatore dovrà provvedere al rinterro, con materiali idonei, sopra le condotte e le fognature.
Per gli scavi di fondazione si applicheranno le norme previste dal D.M. 11/3/1988 e successivi aggiornamenti.

1.4 Scavi subacquei e scavi all'asciutto

Gli scavi di fondazione sono considerati subacquei, solo se eseguiti a profondità maggiore di 20 cm sotto il livello costante a cui si stabilizzano le acque eventualmente esistenti nel terreno.
Comunque, ove possibile, gli scavi verranno eseguiti all'asciutto, cioè in assenza di accumuli d'acqua sul fondo dello scavo. Allo scopo l'Appaltatore dovrà predisporre adeguati drenaggi e aggottamenti per captare e allontanare con continuità eventuali venute d'acqua di filtrazione o di ruscellamento.
I mezzi predisposti per l'aggottamento dell'acqua dovranno essere sempre in perfetta efficienza, nel numero e con le portate e le prevalenze necessarie e sufficienti per garantire la continuità del prosciugamento del fondo dello scavo.
Resta comunque inteso che, nell'esecuzione di tutti gli scavi, l'Appaltatore dovrà provvedere, di sua iniziativa ed a sua cura e spese:

- ad assicurare il naturale deflusso delle acque che si riscontrassero scorrenti sulla superficie del terreno, allo scopo di evitare che esse si versino negli scavi;
- a togliere ogni impedimento o ogni causa di rigurgito, che si opponesse così al regolare deflusso delle acque, anche ricorrendo all'apertura di canali fugatori;
- agli adempimenti previsti dalle vigenti leggi in ordine alla tutela delle acque dall'inquinamento; all'espletamento delle pratiche per eventuali autorizzazioni allo scarico nonché agli oneri per l'eventuale trattamento/smaltimento delle acque e alle disposizioni del progetto e del Capitolato Ambientale.

1.5 Scavi con esplosivi

Per l'impiego di esplosivi (mine) nell'esecuzione degli scavi l'Appaltatore dovrà ottenere, a sua cura e spese, le autorizzazioni da parte delle autorità competenti ed osservare tutte le prescrizioni imposte dalle Leggi e dai regolamenti in vigore.
Lo sparo di mine effettuato in vicinanza di strade, di ferrovie, di luoghi abitati, di linee aeree di ogni genere, dovrà essere attuato con opportune cautele in modo da evitare il danneggiamento delle proprietà limitrofe a causa sia della proiezione a distanza del materiale sia degli effetti vibrazionali nocivi, che dovranno essere tenuti sotto controllo mediante monitoraggio.
In particolare, l' Appaltatore dovrà attenersi alle prescrizioni contenute:

- nelle norme UNI 9614 e serie UNI ISO 2631 per disturbi alle persone provocati dalle vibrazioni e dai rumori
- nelle norme UNI 9916 e ISO 4866 per danni che si possono arrecare alle opere vicine a causa delle vibrazioni, degli spostamenti orizzontali e/o verticali del terreno, provocati durante le volate.

Nel caso che per la vicinanza di agglomerati civili o industriali o per i risultati del monitoraggio, le cautele sopracitate non fossero ritenute sufficienti ad evitare danneggiamenti alle proprietà limitrofe, l'Appaltatore dovrà eseguire gli scavi con opportuni mezzi meccanici.
Per la gestione degli impatti acustici e vibrazionali dovuti alla lavorazione, si rimanda alle disposizioni contenute nel Capitolato Ambientale. In particolare, si richiama l'obbligo per l'Appaltatore provvedere a un'opportuna campagna informativa della popolazione.

1.6 Sistema di puntellazione per scavi tipo "Blindoscavi"

Qualora il progettista individui la necessità di utilizzare un sistema di puntellazione per il sostegno di pareti verticali di scavo questo deve essere realizzato a mezzo di componenti prefabbricati. Il produttore o il fornitore deve dichiarare che il sistema di puntellazione per scavi è conforme alle norme EN 13331-1 e EN 13331-2. Ai fini della valutazione della conformità, il produttore o il fornitore deve fornire alla Direzione Lavori, oltre al manuale d'istruzioni, le specifiche tecniche e dei materiali e il calcolo di ogni componente accompagnati dai disegni di produzione.
I tipi di sistemi di puntellazione per scavi previsti sono:

- CS - supportato al centro. Sistema in cui coppie di pannelli sono distanziati da puntelli fissati nella linea mediana verticale dei pannelli;
- ES – supportato ai bordi. Sistema in cui coppie di pannelli sono distanziati da puntelli fissati nei bordi verticali dei pannelli;
- Su rotaia (tipo R), singola (RS), doppia (RD) o tripla (RT). Sistema in cui dei pannelli possono essere spostati verso l'alto e il basso in scanalature singole o multiple di coppie di rotatie di scorrimento distanziate da pannelli o telai di sostegno;
- BD – cassa a trascinamento. Sistema di puntellazione per scavi supportato ai bordi, da trascinare orizzontalmente.

Per ogni sistema di puntellazione per scavi deve essere stabilita una designazione in base al prospetto 2 della UNI EN 13331-1. Il produttore deve dichiarare la resistenza caratteristica di ogni insieme specifico del sistema di puntellazione per scavi e dei componenti nella condizione più gravosa. La resistenza caratteristica minima deve essere 30 kN/mm^2.
In funzione delle pressioni del terreno agenti sul sistema di puntellazione e della portata limite dei sistemi stessi, l'Appaltatore deve scegliere la tipologia ritenuta idonea allo scopo. Il tipo di sistema di puntellazione selezionato deve essere sottoposto alla preventiva approvazione della Direzione Lavori

Le operazioni di montaggio e smontaggio devono essere eseguite nella modalità definita nel manuale di istruzioni. Prima di ogni montaggio o riposizionamento, l'Appaltatore è tenuto a verificare che le saldature, i perni, le spine di sicurezza, i punti di aggancio per il sollevamento e ogni altro dispositivo, non presentino rotture, malformazioni o una usura tali da pregiudicare la sicurezza d'uso. Ogni componente del sistema deve altresì riportare i dati necessari alla sua identificazione a mezzo di segni indelebili o targhette. Al termine del montaggio occorre che l'Appaltatore comunichi alla Direzione Lavori che il sistema è stato posto in opera secondo le modalità riportate nel manuale e che lo stato di conservazione dei singoli componenti sono idonei all'utilizzo.

1.7 Scavi per attraversamenti speciali per posa di tubazioni

La tecnica del microtunneling/spingitubo viene utilizzata per l'esecuzione di scavi per l'installazione di sottoservizi senza dover ricorrere a trincee lungo il percorso. Nel microtunneling, lo scavo è eseguito mediante uno scudo fresante o microtunneller, del tipo chiuso e a piena sezione, controllato in remoto, che avanza a spinta nel terreno, seguito dai tubi. Per spingitubo si intende l'infissione di un tubo guaina con spinta e con trivella che provvede all'asportazione continua del materiale per contenere la resistenza di attraversamento. I diametri tipici per le tecniche di microtunneling/spingitubo sono generalmente compresi tra 250 mm e 3.000 mm con lunghezze di infissione fino ad un massimo di 60 m con la tecnica dello spingitubo e diverse centinaia di metri con la tecnica del microtunneling.
Rimangono a carico dell'appaltatore tutte le opere per l'installazione ed il funzionamento del cantiere, scavo e perforazioni per l'infissione della tubazione, il tiro in alto del materiale di risulta ed il suo conferimento a impianto di reupero o smaltimento con ogni onere compreso, la fornitura dell'acqua di lavoro, l'approvvigionamento di energia, impianti di ventilazione eventualmente necessari, aggottamenti, eventuali calcoli statici approvati dall'Ente interessato all'attraversamento, prove sui materiali.

1.7.1 Normativa di riferimento

- Tecnologia di realizzazione delle infrastrutture interrate a basso impatto ambientale – Sistemi di perforazione guidata: Trivellazione Orizzontale Controllata (TOC) - UNI/ Pdr 26.3:2017
- Tecnologia di realizzazione delle infrastrutture interrate a basso impatto ambienta-le – Posa di tubazioni a spinta mediante perforazioni orizzontali - UNI/Pdr 26.2:2017
- UNI EN 10217-1: "Tubi saldati di acciaio per impieghi a pressione - Condizioni tecniche di fornitura - Parte 1: Tubi di acciaio non legato, saldati elettricamente e saldati ad arco sommerso per impieghi a temperatura ambiente"
- UNI EN ISO 9606-1: Prove di qualificazione dei saldatori - Saldatura per fusione - Parte 1: Acciai
- UNI 9737: Qualificazione dei saldatori di materie plastiche: saldatori di componenti di polietilene e/o polipropilene
- UNI EN ISO 15614: Prove di qualificazione della procedura di saldatura
- UNI EN 13067: Personale per la saldatura di materie plastiche – Prova di qualificazione dei saldatori – Assiemi saldati di materiale termoplastico

1.7.2 Classificazione dei sistemi di scavo in attraversamento per posa tubazioni

Le tipologie di posa adottate per le condotte sono classificate in due grandi gruppi suddivisi a seconda di che trattasi di una modalità controllata/non controllata secondo la seguente tabella:

SENZA CONTROLLO DIREZIONALE	Spingitubo (con asportazione di terreno)
	Spingitubo con Unità di Perforazione (con asportazione di terreno)
	Battipalo - Spingitubo a Percussione (senza asportazione di terreno)
	Talpa a Percussione (senza asportazione di terreno)
	Trivella Spingitubo Guidata (con asportazione di terreno)
CON CONTROLLO DIREZIONALE	Trivellazione Orizzontale Controllata (T.O.C.)
	Microtunnel (M.T.) e Minitunnel (M.Tn)
	Direct Pipe (D.P.)
	Easy Pipe (E.P.)
	Pipe Express (P.Ex.)
	Tunnel Boring Machine (T.B.M.)

Il sistema dello spingitubo consiste nell'infiggere nel terreno un tubo di rivestimento in acciaio, a testata aperta, mediante spinta con martinetti idraulici. Con questo sistema, teoricamente, il terreno di scavo resta nel tubo di rivestimento, intasandolo, fino alla fine della perforazione. È buona norma mantenere una copertura minima della perforazione pari a 2,5 volte il diametro del foro da realizzare. È possibile realizzare perforazioni fino a 1.600mm di diametro.

Il sistema del microtunneling è basato sull'avanzamento di uno scudo cilindrico, cui è applicato, frontalmente,un sistema di perforazione puntuale o a sezione piena; l'azione di avanzamento è esercitata da martinetti idraulici ubicati nella postazione di spinta, che agiscono sul tubo di rivestimento del tunnel. Con la tecnica del microtunneling è previsto anche l'utilizzo di un fluido che, in funzione delle caratteristiche del terreno, può essere costituito da acqua o da una miscela di acqua e bentonite, che svolgono una duplice funzione: sostenere il fronte di scavo durante l'avanzamento, garantendo l'equilibrio delle pressioni agenti su di esso, e fungere da mezzo di trasporto per il materiale scavato, consentendone l'asportazione e l'allontanamento dal fronte di scavo sotto forma di smarino (la miscela di terreno disgregato e fluido). La circolazione del fluido avviene per mezzo di un circuito idraulico chiuso, integrato nello scudo fresante.

I principali campi di applicazione delle due metodologie sono riportati nell'elenco seguente:

- Per la metodologia senza controllo direzionale (spingitubo)
    - realizzazione di condotti fognari;
    - realizzazione di cunicoli di servizio (di diametro e lunghezza contenuti);
    - attraversamento in subalveo di corsi d'acqua di dimensioni e battente idrico limitati;
    - attraversamento di ostacoli artificiali (autostrade e strade, ferrovie, fabbricati, aree

- urbane, piazzali, ecc.);
- sottopasso di aree di particolare pregio ambientale e/o archeologico.

- Per il microtunneling con controllo direzionale
  - attraversamento in subalveo di corsi e specchi d'acqua (fiumi, torrenti, canali, laghi, paludi, lagune, ecc.);
  - attraversamento di ostacoli naturali, quali quelli morfologici (dossi rocciosi, colline, pendii in frana, forre, ecc.);
  - attraversamento di ostacoli artificiali (autostrade, strade, ferrovie, fabbricati, dighe, aeroporti, aree urbane, piazzali, ecc.);
  - realizzazione di approdi costieri;
  - realizzazione di drenaggi (pendii, discariche, ecc.);
  - realizzazione di pose longitudinali (parallelismi di strade e corsi d'acqua, sottopasso di coltivazioni, ecc.);
  - sottopasso di aree di particolare pregio ambientale e/o archeologico (parchi naturali, siti di importanza comunitaria, aree a rischio archeologico, ecc.).

1.7.3 Qualifica del sistema di scavo

L'appaltatore prima di dar seguito alle attività di scavo dovrà presentare per approvazione al Direttore dei Lavori, una relazione dettagliata con descrizione del metodo di infissione, della strumentazione meccanica e delle caratteristiche dei tubi che verranno impiegati. All'interno della stessa, con riferimento alla tecnica con controllo direzionale, per le metodologie che prevedono sistematicamente l'uso dei fanghi di perforazione come la TOC e il Microtunnel, dovrà essere illustrato l'impianto di trattamento di gestione dei fanghi bentonitici nonché la tipologia che si intende adottare (polimeri), nonché le modalità di gestione dei materiali derivanti dagli scavi in coerenza con quanto previsto dal Piano di Gestione Terre/Piano di Utilizzo e nel rispetto dei contenuti dell'art 6.4.5.4 di questo capitolato.

1.7.4 Controlli in corso dei lavori

L'appaltatore dovrà redigere per ogni giorno/turno di scavo, una apposita scheda su cui verranno riportati i ml di avanzamento e il tempo di durata della perforazione. In caso di utilizzo di fanghi dovranno essere effettuati controlli con cadenza giornaliera: a) peso di volume, b) viscosità MARSH e c) contenuto in sabbia. Dovrà essere eseguita la prova di decadimento dei polimeri biodegradabili all'avvio dell'impianto. I risultati delle prove dovranno essere conformi a quanto riportato nella relazione illustrativa fornita in fase di qualifica.

Art. 1 NO CAM - Scavi per opere all'aperto

1.1 Norme generali

1.1.1 Definizioni e generalità

Per scavo s'intende l'asportazione dalla loro sede di terreni e materiali litoidi di qualsiasi natura. L'asportazione comprende la rimozione dei materiali scavati ed il loro trasporto per l'eventuale riutilizzo nell'ambito del cantiere o per la destinazione a rifiuto.
L'asportazione e il trasporto dei materiali devono avvenire secondo i principi dell'economia circolare, dando priorità al riutilizzo rispetto alla destinazione a rifiuto, salvo diverse specifiche contenute negli elaborati di progetto esecutivo
Gli scavi sono di norma finalizzati a realizzare superfici o volumi cavi a geometria definita.
In relazione agli spazi operativi disponibili, alla vicinanza di strutture preesistenti, alle geometrie da rispettare ed alla consistenza dei materiali da scavare gli scavi potranno essere eseguiti a mano, con mezzi meccanici e con l'impiego di esplosivi.
L'Appaltatore dovrà provvedere ad apporre alle aree di scavo opportune recinzioni e segnaletiche diurne e notturne secondo le vigenti norme di legge.
L'Appaltatore dovrà adottare tutte le cautele necessarie (indagini preliminari, sondaggi, scavi campione ecc.) per evitare il danneggiamento di manufatti e reti interrate di qualsiasi natura, compresa tra le cautele la temporanea sostituzione dei manufatti o deviazione delle reti ed il tempestivo ripristino a fine lavori.
Nell'esecuzione dei lavori di scavo l'Appaltatore dovrà farsi carico delle prescrizioni e degli oneri di seguito elencati a titolo descrittivo e non limitativo.
In particolare, dovranno essere garantiti sistemi di regimazione delle acque meteoriche all'interno delle aree di lavorazione in modo da evitare ristagni e dilavamento delle aree di cantiere e al fine di evitare fenomeni di erosione. A tal riguardo, potranno essere previste operazioni di rinverdimento delle superfici scavate, qualora la sistemazione finale non fosse immediata.

In tutte le fasi esecutive, comprese le fasi di preparazione e di sistemazione finale delle aree, per gli aspetti e le problematiche relative a temi ambientali, quali impatti acustici e vibrazionali, emissioni in atmosfera, impatto sulle acque superficiali, sotterranee e sul suolo, impatti sulla componente fauna e vegetazione, si rimanda integralmente a quanto prescritto dalla Normativa Nazionale e Regionale vigente, alle prescrizioni degli Enti preposti alla tutela ambientale, nonché alle condizioni ambientali contenute nelle autorizzazioni ed alle disposizioni del Capitolato Ambientale e Piano di Gestione Terre/Piano di Utilizzo allegati al progetto esecutivo.

1.1.2 Bonifica ordigni bellici, sottoservizi e archeologia

L'inizio delle attività di scavo è vincolato al completamento dei lavori previsti in progetto di ottenimento dell'attestato di esecuzione delle attività di bonifica bellica rilasciato dall'ufficio BCM del Reparto Infrastrutture del Ministero della Difesa territorialmente competente e rimozione dei sottoservizi. L'Appaltatore deve sempre accertarsi del completamento delle operazioni di cui sopra anche se eseguite precedentemente all'Appalto o da altre Imprese incaricate direttamente dalla Committente. Inoltre, prima di iniziare uno scavo, deve prendere ogni opportuna cautela per evitare danni ad opere, infrastrutture e sottoservizi adiacenti seguendo in ogni caso le indicazioni eventualmente riportate nel PSC di progetto.

Nei casi in cui nel progetto sia prevista la sorveglianza archeologica degli scavi, la Committente nominerà un referente che l'Appaltatore è tenuto sempre a far accedere alle aree di lavoro e ad agevolare la sua attività.

1.1.3 Disboscamento e regolazione delle acque

L'Appaltatore, propedeuticamente all'inizio degli scavi dovrà inoltre procedere, quando necessario e a seguito dell'acquisizione delle necessarie autorizzazioni:

- al taglio delle piante, all'estirpazione delle ceppaie, radici, arbusti, ecc., con materiale di risulta che resta di proprietà dell'Appaltatore. È onere dell'Appaltatore stesso l'eventuale trasporto di tale materiale in aree apposite anche per eventuale riutilizzo in cantiere o smaltito come rifiuto in impianto autorizzato, rispettando le norme regionali forestali e i regolamenti del verde comunali vigenti in materia e lasciando sul posto, salvaguardandoli dalle lavorazioni, eventuali esemplari indicati in Progetto, nei documenti d'appalto, o dalla Direzione Lavori. Nel caso di abbattimenti di alberature su scarpata stradale, o nelle vicinanze di sedi viarie, occorre prestare la massima attenzione alla salvaguardia dell'utenza stradale in accordo ai contenuti del PSC;
- all'eventuale demolizione di massicciate stradali esistenti e gestione dei materiali di risulta.

L'Appaltatore dovrà assicurare in ogni caso il regolare deflusso delle acque, facendosi carico di tutti gli oneri derivanti dal loro eventuale smaltimento e/o trattamento secondo le vigenti norme di legge

1.1.4 La geometria degli scavi

L'Appaltatore è tenuto a rispettare la geometria degli scavi prevista dal Progetto. In particolare dovrà rifinire il fondo e le pareti dello scavo secondo quote e pendenze di Progetto, curando anche che il fondo degli scavi sia compattato secondo le indicazioni del Progetto.

Per quanto riguarda le opere di sostegno multitirantate, nessuno scavo potrà essere eseguito al disotto della quota prevista per la realizzazione dell'ordine di tiranti in corso, se prima l'ordine stesso non sarà completato e messo in tensione.

Qualora negli scavi si fossero superati i limiti assegnati, l'Appaltatore dovrà ricostituire i volumi scavati in più, utilizzando materiali idonei.

Prima di procedere a fasi di lavoro successive, l'Appaltatore dovrà segnalare l'avvenuta ultimazione degli scavi per eventuale ispezione da parte della Direzione Lavori.

1.1.5 Puntellature, franamenti, scavo per campioni

Qualora, per la qualità del terreno o per qualsiasi altro motivo, fosse necessario puntellare, sbatacchiare ed armare le pareti degli scavi, l'Appaltatore dovrà provvedervi a sue spese, adottando tutte le precauzioni necessarie per impedire smottamenti e franamenti. In ogni caso resta a carico dell'Appaltatore il risarcimento per i danni dovuti a tali motivi, subiti da persone, cose o dall'opera medesima.

Nel caso di franamento degli scavi è a carico dell'Appaltatore procedere alla rimozione dei materiali ed al ripristino del profilo di scavo. Nulla è dovuto all'Appaltatore per il mancato recupero, parziale o totale, del materiale impiegato per le armature e sbatacchiature.

Nel caso che, a giudizio della Direzione Lavori, le condizioni nelle quali i lavori si svolgono, lo richiedano, l'Appaltatore sarà tenuto a coordinare opportunamente per campioni la successione e l'esecuzione delle opere di scavo e murarie.

L'appaltatore, in contraddittorio con la D.L., dovrà prevedere tutti gli opportuni e necessari accorgimenti realizzativi (opere, riprofilature, berme intermedie, regimazione e allontanamento dellle

acque superficiali, proiezione di betoncino stabilizzante, ...) per garantire durante tutte le fasi del lavoro la stabilità dei fronti di scavo con adeguati margini di sicurezza.
La realizzazione degli scavi deve avvenire per conci successivi, la cui estensione dovrà essere ponderata in situ alla luce di:

- condizioni idrauliche
- effettive condizioni di stabilità del fronte (condizioni geotecniche, stratigrafiche)
- necessità di interventi e/o accorgimenti.

La fasistica e la tempistica realizzativa degli scavi deve essere tale da garantire la stabilità a breve termine anche in riferimento alla natura dei terreni (permeabilità, granulometria, plasticità, ecc.).
In ogni caso, i tempi di apertura degli scavi dovranno essere sufficientemente contenuti al fine di considerare realistiche le ipotesi di condizioni non drenate e scongiurando il rischio di fenomeni di rilascio tensionale e rotture progressive dei terreni coinvolti (decadimento della resistenza al taglio).
Le pendenze degli scavi provvisori riportate sugli elaborati grafici di progetto sono del tutto indicative e dovranno essere verificate alla luce delle effettive condizioni geotecniche, stratigrafiche ed idrauliche in sito.

1.1.6 Materiali provenienti dallo scavo: prescrizioni in caso di riutilizzo

I materiali provenienti dagli scavi dovranno essere caratterizzati dal punto di vista della compatibilità ambientale, a cura dell'Appaltatore laddove previsto da Piano Gestione Terre/Piano di Utilizzo, in accordo con la normativa di settore vigente o applicabile al progetto, in ottemperanza alle indicazioni progettuali.
Nel caso in cui venga accertata la compatibilità ambientale a cura e spese dell'Appaltatore e il progetto preveda il riutilizzo degli scavi per la realizzazione dei lavori in appalto, occorre che l'Appaltatore proceda, sempre a sua cura e spese, alla classificazione geotecnica delle terre secondo le norme della serie UNI EN ISO 14688 e secondo la UNI 11531-1.
Per procedere alla classificazione dei materiali provenienti dagli scavi eseguiti in depositi naturali o terre occorre individuare lotti di produzione ritenuti omogenei in base a osservazione visiva e valutazione geologica eventualmente presente in progetto, della dimensione massima di 10.000 m^3.
Per ogni lotto devono essere compiuti almeno due campionamenti, al fine di accertare le proprietà indicate nel § 4.1. della UNI 11531-1, scegliendo le porzioni apparentemente più differenti tra loro.
Nel caso i due campionamenti evidenzino eccessiva variabilità o portino a classificazione in differenti gruppi del prospetto 1 della citata UNI 11531-1, il lotto deve essere suddiviso in lotti più piccoli e su ciascuno di essi il controllo deve essere ripetuto su 5 punti di prelievo opportunamente distribuiti.
Per i rinterri l'appaltatore deve eseguire quanto previsto nel progetto che, in linea generale, prescrive il riutilizzo del materiale di scavo proveniente dal cantiere stesso o da altri cantieri, oppure materiale riciclato o recuperato, conforme ai parametri della norma UNI 11531. I materiali provenienti dagli scavi risultati idonei possono essere utilizzati immediatamente, senza far ricorso a luoghi di deposito provvisori. Nel caso in cui dovessero essere temporaneamente accantonati per essere utilizzati successivamente essi possono essere depositati nelle aree individuate nel progetto.
L'eventuale custodia e deposito temporaneo dei materiali è un onere a carico dell'Appaltatore. In caso di deposito presso aree appositamente individuate la classificazione degli scavi si esegue su lotti di materiale ritenuti omogenei, prelevando campioni dai cumuli come previsto dalla UNI EN 932-1, con frequenza non minore di 2 campionamenti per ogni lotto e volume non maggiore di 3.000 m^3.
I materiali provenienti da scavi eseguiti in depositi antropici (man-made ground) devono essere esaminati e qualificati separatamente da quelli provenienti da depositi naturali. Non possono essere utilizzati immediatamente ma, circoscritta l'estensione di ciascun tipo di deposito antropico, la parte

da esso scavata deve essere accumulata in modo che risulti ben separata e distinguibile dagli altri. Devono quindi essere individuati lotti omogenei della dimensione massima di 3.000 m^c e devono essere campionati a seconda del tipo di cumulo.
Per cumuli costituiti per caduta del materiale dall'alto senza particolari accorgimenti, il prelievo dei campioni deve essere eseguito come segue:

- Se il materiale presenta apparenza sufficientemente uniforme, con riguardo al colore, alla granulometria, alla composizione o ad altre caratteristiche di immediata evidenza, si prelevano almeno 5 campioni di massa minima di 50 kg, da parti diverse e a differente quota del cumulo, curando di ottenere la migliore rappresentatività possibile per i differenti tempi di costruzione del cumulo;
- Se nello stesso cumulo il materiale presenta evidenti sensibili disuniformità, si devono prelevare distinti campioni in corrispondenza alle notate disuniformità, in numero almeno pari alle zone di diverse caratteristiche e comunque non minore di 7.

Quando il materiale sia disposto in cumuli piatti ed estesi, individuato approssimativamente il baricentro della superficie d'appoggio del lotto da campionare, si eseguono i prelievi, in numero non minore di 3, rispettivamente in posizione centrale, mediana e periferica, in modo da evidenziare eventuali disuniformità. Ciascun campione deve essere rappresentativo del materiale presente in tutto lo spessore del cumulo piatto.
In accordo con le previsioni progettuali si elencano i possibili riutilizzi dei materiali provenienti dagli scavi quando ritenuti idonei allo specifico uso dopo la verifica ambientale e la classificazione geotecnica:

- Terre per colmate o rinterri non destinati a sostenere il corpo stradale (in genere sono idonei tutti i tipi di terre);
- Anticapillare;
- Rilevati del corpo stradale (tal quali, mediante correzione granulometrica, stabilizzazione ecc);
- Sottofondo stradale
- Strati di sovrastruttura stradale. Generalmente, le terre derivanti dagli scavi non possono essere utilizzate come materiali non legati per costituire strati della sovrastruttura stradale, a meno che non siano state preventivamente qualificate secondo la UNI EN 13242 o UNI EN 13285. Si può fare eccezione per terre di qualità prestazionali comprovate da adeguati studi sperimentali di laboratorio e in vera grandezza, ovvero quelle per le quali sussista una consolidata positiva esperienza, da confermare comunque in campo prove.

Nel caso non sia possibile riutilizzare il materiale proveniente dagli scavi perché non compatibile dal punto di vista ambientale, questo dovrà essere gestito come un rifiuto e potrà essere inviato a impianto di recupero o smaltimento secondo quanto previsto nelle normativa vigente.
Qualora l'Appaltatore dovesse eseguire scavi in terreni lapidei, nel rispetto di quanto previsto da progetto e quando questi fossero giudicati idonei dalla Direzione Lavori previa esecuzione di opportune prove di accettazione, incluse quelle ambientali, a carico dell'Appaltatore, potranno essere riutilizzati per murature, gabbioni o materassi. La parte residua potrà essere reimpiegata nell'ambito del lotto per la formazione di rilevati o di riempimenti, avendola ridotta a pezzatura di dimensioni non superiori a 30 cm, secondo il disposto delle presenti Norme. I materiali utilizzabili dovranno eventualmente essere trattati per ridurli alle dimensioni opportune secondo le necessità e le prescrizioni delle presenti Norme, ripresi anche più volte e trasportati nelle zone di utilizzo, a cura e spese dell'Appaltatore.

1.2 Scavi di sbancamento e scotico

Sono denominati scavi di sbancamento quelli occorrenti per:

- la formazione del sedime d'imposta dei fabbricati;
- l'apertura della sede autostradale, dei piazzali e delle opere accessorie, portati a finitura secondo i tipi di Progetto;
- le gradonature di ancoraggio dei rilevati, previste per terreni con pendenza superiore al 20%;
- la bonifica del piano di posa di rilevati o di altre opere;
- lo spianamento del terreno;
- l'impianto di opere d'arte;
- il taglio delle scarpate di trincee o di rilevati;
- la formazione o approfondimento di cunette, di fossi e di canali.

Lo scotico consiste, negli scavi in trincea, nella rimozione ed asportazione del suolo, del terreno vegetale di qualsiasi consistenza e con qualunque contenuto d'acqua, nella rimozione ed asportazione di erba, radici, cespugli, piante e alberi, da effettuarsi preventivamente a tutte le lavorazioni di scavo, avendo cura di rimuovere completamente tutto il materiale vegetale, inclusi ceppi e radici, alterando il meno possibile la consistenza originaria del terreno in sito.

Il materiale vegetale scavato, se ritenuto idoneo dalla D.L. e se ambientalmente compatibile secondo la normativa vigente, nei quantitativi stabiliti nel Progetto Esecutivo (Relazione del Piano di Gestione Materie), dovrà essere accantonato, nelle modalità previste da Piano Gestione Terre/Piano di Utilizzo e nel Capitolato Ambientale per essere successivamente utilizzato per il rivestimento delle scarpate e opere a verde in genere,.altrimenti esso dovrà essere trasportato a impianto di recupero o smaltimento autorizzatoRimane comunque categoricamente vietata la posa in opera di tale materiale per la costruzione dei rilevati.

La larghezza dello scotico ha l'estensione dell'intera area di appoggio del rilevato e potrà essere continua od opportunamente gradonata secondo i profili e le indicazioni previste nel Progetto Esecutivo, o impartite dalla D.L., in relazione alle pendenze dei siti di impianto. Lo scotico è stabilito fino alla profondità di cm 20 al di sotto del piano campagna.

Per ulteriori specifiche sulle modalità di esecuzione dello scotico e preparazione del piano di posa dei rilevati si rimanda all'articolo 3 del presente capitolato.

1.3 Scavi di fondazione

Per scavi di fondazione s'intendono quelli chiusi da pareti, di norma verticali, riproducenti il perimetro dell'opera, effettuati al di sotto del piano orizzontale passante per il punto più depresso del terreno lungo il perimetro medesimo.
Questo piano sarà determinato, a giudizio della Direzione Lavori, o per l'intera area di fondazione o per più parti in cui questa può essere suddivisa, a seconda sia dell'accidentalità del terreno, sia delle quote dei piani finiti di fondazione.
Gli scavi saranno, a giudizio insindacabile della Direzione Lavori, spinti alle necessarie profondità, fino al rinvenimento del terreno della capacità portante prevista in Progetto.
Qualora si rendesse necessario dopo l'esecuzione dello scavo, il ripristino delle quote per l'impronta della fondazione dell'opera, i materiali da utilizzare saranno i seguenti:
1- per uno spessore di 30÷50 cm, sabbia fine lavata;
2- per il rimanente spessore, materiali appartenenti al gruppo A1, anche provenienti da scavi.

Al termine del ripristino dei piani d'imposta, salvo diverse e più restrittive prescrizioni motivate dalla necessità di garantire maggiore stabilità alla fondazione, il modulo di deformazione Md al primo ciclo di carico su piastra (diametro 30 cm), dovrà risultare non inferiore a 40 MPa nell'intervallo tra 1,5÷2,5 daN/cm². Ogni fondazione dovrà essere verificata con prova di piastra di cui sopra nel limite massimo comunque di una prova ogni 300 m^2.
I piani di fondazione saranno perfettamente orizzontali, o disposti a gradoni, con leggera pendenza verso monte per quelle opere che ricadessero sopra falde inclinate; le pareti saranno verticali od a scarpa.
Gli scavi di fondazione potranno essere eseguiti, ove ragioni speciali non lo vietino, anche con pareti a scarpa aventi la pendenza minore di quella prevista, ma in tal caso, nulla è dovuto per il maggiore scavo di fondazione e di sbancamento eseguito di conseguenza.
L'Appaltatore dovrà evitare che il terreno di fondazione subisca rimaneggiamenti o deterioramenti prima della costruzione dell'opera. In particolare eventuali acque ruscellanti o stagnanti dovranno essere allontanate dagli scavi.
È vietato all'Appaltatore, sotto pena di demolire il già fatto, di porre mano alle murature o ai getti prima che la Direzione Lavori abbia verificato ed accettato i piani delle fondazioni.
L'Appaltatore dovrà provvedere a sua cura e spese al riempimento, con materiali idonei sia dal punto di vista prestazionale che della compatibilità ambientale in conformità con la normativa vigente e/o alle indicazioni progettuali, dei vuoti residui degli scavi di fondazione intorno alle murature ed al loro costipamento fino alla quota prevista. Per gli scavi a sezione obbligata, necessari per la collocazione di tubazioni, l'Appaltatore dovrà provvedere al rinterro, con materiali idonei, sopra le condotte e le fognature.
Per gli scavi di fondazione si applicheranno le norme previste dal D.M. 11/3/1988 e successivi aggiornamenti.

1.4 Scavi subacquei e scavi all'asciutto

Gli scavi di fondazione sono considerati subacquei, solo se eseguiti a profondità maggiore di 20 cm sotto il livello costante a cui si stabilizzano le acque eventualmente esistenti nel terreno.
Comunque, ove possibile, gli scavi verranno eseguiti all'asciutto, cioè in assenza di accumuli d'acqua sul fondo dello scavo. Allo scopo l'Appaltatore dovrà predisporre adeguati drenaggi e aggottamenti per captare e allontanare con continuità eventuali venute d'acqua di filtrazione o di ruscellamento.
I mezzi predisposti per l'aggottamento dell'acqua dovranno essere sempre in perfetta efficienza, nel numero e con le portate e le prevalenze necessarie e sufficienti per garantire la continuità del prosciugamento del fondo dello scavo.
Resta comunque inteso che, nell'esecuzione di tutti gli scavi, l'Appaltatore dovrà provvedere, di sua iniziativa ed a sua cura e spese:

- ad assicurare il naturale deflusso delle acque che si riscontrassero scorrenti sulla superficie del terreno, allo scopo di evitare che esse si versino negli scavi;
- a togliere ogni impedimento o ogni causa di rigurgito, che si opponesse così al regolare deflusso delle acque, anche ricorrendo all'apertura di canali fugatori;
- agli adempimenti previsti dalle vigenti leggi in ordine alla tutela delle acque dall'inquinamento; all'espletamento delle pratiche per eventuali autorizzazioni allo scarico nonché agli oneri per l'eventuale trattamento/smaltimento delle acque e alle disposizioni del progetto e del Capitolato Ambientale.

1.5 Scavi con esplosivi

Per l'impiego di esplosivi (mine) nell'esecuzione degli scavi l'Appaltatore dovrà ottenere, a sua cura e spese, le autorizzazioni da parte delle autorità competenti ed osservare tutte le prescrizioni imposte dalle Leggi e dai regolamenti in vigore.
Lo sparo di mine effettuato in vicinanza di strade, di ferrovie, di luoghi abitati, di linee aeree di ogni genere, dovrà essere attuato con opportune cautele in modo da evitare il danneggiamento delle proprietà limitrofe a causa sia della proiezione a distanza del materiale sia degli effetti vibrazionali nocivi, che dovranno essere tenuti sotto controllo mediante monitoraggio.
In particolare, l' Appaltatore dovrà attenersi alle prescrizioni contenute:

- nelle norme UNI 9614 e serie UNI ISO 2631 per disturbi alle persone provocati dalle vibrazioni e dai rumori
- nelle norme UNI 9916 e ISO 4866 per danni che si possono arrecare alle opere vicine a causa delle vibrazioni, degli spostamenti orizzontali e/o verticali del terreno, provocati durante le volate.

Nel caso che per la vicinanza di agglomerati civili o industriali o per i risultati del monitoraggio, le cautele sopracitate non fossero ritenute sufficienti ad evitare danneggiamenti alle proprietà limitrofe, l'Appaltatore dovrà eseguire gli scavi con opportuni mezzi meccanici.
Per la gestione degli impatti acustici e vibrazionali dovuti alla lavorazione, si rimanda alle disposizioni contenute nel Capitolato Ambientale. In particolare, si richiama l'obbligo per l'Appaltatore provvedere a un'opportuna campagna informativa della popolazione.

1.6 Sistema di puntellazione per scavi tipo "Blindoscavi"

Qualora il progettista individui la necessità di utilizzare un sistema di puntellazione per il sostegno di pareti verticali di scavo questo deve essere realizzato a mezzo di componenti prefabbricati. Il produttore o il fornitore deve dichiarare che il sistema di puntellazione per scavi è conforme alle norme EN 13331-1 e EN 13331-2. Ai fini della valutazione della conformità, il produttore o il fornitore deve fornire alla Direzione Lavori, oltre al manuale d'istruzioni, le specifiche tecniche e dei materiali e il calcolo di ogni componente accompagnati dai disegni di produzione.
I tipi di sistemi di puntellazione per scavi previsti sono:

- CS - supportato al centro. Sistema in cui coppie di pannelli sono distanziati da puntelli fissati nella linea mediana verticale dei pannelli;
- ES – supportato ai bordi. Sistema in cui coppie di pannelli sono distanziati da puntelli fissati nei bordi verticali dei pannelli;
- Su rotaia (tipo R), singola (RS), doppia (RD) o tripla (RT). Sistema in cui dei pannelli possono essere spostati verso l'alto e il basso in scanalature singole o multiple di coppie di rotatie di scorrimento distanziate da pannelli o telai di sostegno;
- BD – cassa a trascinamento. Sistema di puntellazione per scavi supportato ai bordi, da trascinare orizzontalmente.

Per ogni sistema di puntellazione per scavi deve essere stabilita una designazione in base al prospetto 2 della UNI EN 13331-1. Il produttore deve dichiarare la resistenza caratteristica di ogni insieme specifico del sistema di puntellazione per scavi e dei componenti nella condizione più gravosa. La resistenza caratteristica minima deve essere 30 kN/mm^2.
In funzione delle pressioni del terreno agenti sul sistema di puntellazione e della portata limite dei sistemi stessi, l'Appaltatore deve scegliere la tipologia ritenuta idonea allo scopo. Il tipo di sistema di puntellazione selezionato deve essere sottoposto alla preventiva approvazione della Direzione Lavori

Le operazioni di montaggio e smontaggio devono essere eseguite nella modalità definita nel manuale di istruzioni. Prima di ogni montaggio o riposizionamento, l'Appaltatore è tenuto a verificare che le saldature, i perni, le spine di sicurezza, i punti di aggancio per il sollevamento e ogni altro dispositivo, non presentino rotture, malformazioni o una usura tali da pregiudicare la sicurezza d'uso. Ogni componente del sistema deve altresì riportare i dati necessari alla sua identificazione a mezzo di segni indelebili o targhette. Al termine del montaggio occorre che l'Appaltatore comunichi alla Direzione Lavori che il sistema è stato posto in opera secondo le modalità riportate nel manuale e che lo stato di conservazione dei singoli componenti sono idonei all'utilizzo.

1.7 Scavi per attraversamenti speciali per posa di tubazioni

La tecnica del microtunneling/spingitubo viene utilizzata per l'esecuzione di scavi per l'installazione di sottoservizi senza dover ricorrere a trincee lungo il percorso. Nel microtunneling, lo scavo è eseguito mediante uno scudo fresante o microtunneller, del tipo chiuso e a piena sezione, controllato in remoto, che avanza a spinta nel terreno, seguito dai tubi. Per spingitubo si intende l'infissione di un tubo guaina con spinta e con trivella che provvede all'asportazione continua del materiale per contenere la resistenza di attraversamento. I diametri tipici per le tecniche di microtunneling/spingitubo sono generalmente compresi tra 250 mm e 3.000 mm con lunghezze di infissione fino ad un massimo di 60 m con la tecnica dello spingitubo e diverse centinaia di metri con la tecnica del microtunneling.
Rimangono a carico dell'appaltatore tutte le opere per l'installazione ed il funzionamento del cantiere, scavo e perforazioni per l'infissione della tubazione, il tiro in alto del materiale di risulta ed il suo conferimento a impianto di recupero o smaltimento con ogni onere compreso, la fornitura dell'acqua di lavoro, l'approvvigionamento di energia, impianti di ventilazione eventualmente necessari, aggottamenti, eventuali calcoli statici approvati dall'Ente interessato all'attraversamento, prove sui materiali.

1.7.1 Normativa di riferimento

- Tecnologia di realizzazione delle infrastrutture interrate a basso impatto ambientale – Sistemi di perforazione guidata: Trivellazione Orizzontale Controllata (TOC) - UNI/ Pdr 26.3:2017
- Tecnologia di realizzazione delle infrastrutture interrate a basso impatto ambienta-le – Posa di tubazioni a spinta mediante perforazioni orizzontali - UNI/Pdr 26.2:2017
- UNI EN 10217-1: "Tubi saldati di acciaio per impieghi a pressione - Condizioni tecniche di fornitura - Parte 1: Tubi di acciaio non legato, saldati elettricamente e saldati ad arco sommerso per impieghi a temperatura ambiente"
- UNI EN ISO 9606-1: Prove di qualificazione dei saldatori - Saldatura per fusione - Parte 1: Acciai
- UNI 9737: Qualificazione dei saldatori di materie plastiche: saldatori di componenti di polietilene e/o polipropilene
- UNI EN ISO 15614: Prove di qualificazione della procedura di saldatura
- UNI EN 13067: Personale per la saldatura di materie plastiche – Prova di qualificazione dei saldatori – Assiemi saldati di materiale termoplastico

1.7.2 Classificazione dei sistemi di scavo in attraversamento per posa tubazioni

Le tipologie di posa adottate per le condotte sono classificate in due grandi gruppi suddivisi a seconda di che trattasi di una modalità controllata/non controllata secondo la seguente tabella:

SENZA CONTROLLO DIREZIONALE	Spingitubo (con asportazione di terreno)
	Spingitubo con Unità di Perforazione (con asportazione di terreno)
	Battipalo - Spingitubo a Percussione (senza asportazione di terreno)
	Talpa a Percussione (senza asportazione di terreno)
	Trivella Spingitubo Guidata (con asportazione di terreno)
CON CONTROLLO DIREZIONALE	Trivellazione Orizzontale Controllata (T.O.C.)
	Microtunnel (M.T.) e Minitunnel (M.Tn)
	Direct Pipe (D.P.)
	Easy Pipe (E.P.)
	Pipe Express (P.Ex.)
	Tunnel Boring Machine (T.B.M.)

Il sistema dello spingitubo consiste nell'infiggere nel terreno un tubo di rivestimento in acciaio, a testata aperta, mediante spinta con martinetti idraulici. Con questo sistema, teoricamente, il terreno di scavo resta nel tubo di rivestimento, intasandolo, fino alla fine della perforazione. È buona norma mantenere una copertura minima della perforazione pari a 2,5 volte il diametro del foro da realizzare. È possibile realizzare perforazioni fino a 1.600mm di diametro.

Il sistema del microtunneling è basato sull'avanzamento di uno scudo cilindrico, cui è applicato, frontalmente,un sistema di perforazione puntuale o a sezione piena; l'azione di avanzamento è esercitata da martinetti idraulici ubicati nella postazione di spinta, che agiscono sul tubo di rivestimento del tunnel. Con la tecnica del microtunneling è previsto anche l'utilizzo di un fluido che, in funzione delle caratteristiche del terreno, può essere costituito da acqua o da una miscela di acqua e bentonite, che svolgono una duplice funzione: sostenere il fronte di scavo durante l'avanzamento, garantendo l'equilibrio delle pressioni agenti su di esso, e fungere da mezzo di trasporto per il materiale scavato, consentendone l'asportazione e l'allontanamento dal fronte di scavo sotto forma di smarino (la miscela di terreno disgregato e fluido). La circolazione del fluido avviene per mezzo di un circuito idraulico chiuso, integrato nello scudo fresante.

I principali campi di applicazione delle due metodologie sono riportati nell'elenco seguente:

- Per la metodologia senza controllo direzionale (spingitubo)
    - realizzazione di condotti fognari;
    - realizzazione di cunicoli di servizio (di diametro e lunghezza contenuti);
    - attraversamento in subalveo di corsi d'acqua di dimensioni e battente idrico limitati;
    - attraversamento di ostacoli artificiali (autostrade e strade, ferrovie, fabbricati, aree

- urbane, piazzali, ecc.);
- sottopasso di aree di particolare pregio ambientale e/o archeologico.

- Per il microtunneling con controllo direzionale
  - attraversamento in subalveo di corsi e specchi d'acqua (fiumi, torrenti, canali, laghi, paludi, lagune, ecc.);
  - attraversamento di ostacoli naturali, quali quelli morfologici (dossi rocciosi, colline, pendii in frana, forre, ecc.);
  - attraversamento di ostacoli artificiali (autostrade, strade, ferrovie, fabbricati, dighe, aeroporti, aree urbane, piazzali, ecc.);
  - realizzazione di approdi costieri;
  - realizzazione di drenaggi (pendii, discariche, ecc.);
  - realizzazione di pose longitudinali (parallelismi di strade e corsi d'acqua, sottopasso di coltivazioni, ecc.);
  - sottopasso di aree di particolare pregio ambientale e/o archeologico (parchi naturali, siti di importanza comunitaria, aree a rischio archeologico, ecc.).

1.7.3 Qualifica del sistema di scavo

L'appaltatore prima di dar seguito alle attività di scavo dovrà presentare per approvazione al Direttore dei Lavori, una relazione dettagliata con descrizione del metodo di infissione, della strumentazione meccanica e delle caratteristiche dei tubi che verranno impiegati. All'interno della stessa, con riferimento alla tecnica con controllo direzionale, per le metodologie che prevedono sistematicamente l'uso dei fanghi di perforazione come la TOC e il Microtunnel, dovrà essere illustrato l'impianto di trattamento di gestione dei fanghi bentonitici nonché la tipologia che si intende adottare (polimeri), nonché le modalità di gestione dei materiali derivanti dagli scavi in coerenza con quanto previsto dal Piano di Gestione Terre/Piano di Utilizzo e nel rispetto dei contenuti dell'art 6.4.5.4 di questo capitolato.

1.7.4 Controlli in corso dei lavori

L'appaltatore dovrà redigere per ogni giorno/turno di scavo, una apposita scheda su cui verranno riportati i ml di avanzamento e il tempo di durata della perforazione. In caso di utilizzo di fanghi dovranno essere effettuati controlli con cadenza giornaliera: a) peso di volume, b) viscosità MARSH e c) contenuto in sabbia. Dovrà essere eseguita la prova di decadimento dei polimeri biodegradabili all'avvio dell'impianto. I risultati delle prove dovranno essere conformi a quanto riportato nella relazione illustrativa fornita in fase di qualifica.

Art. 2 CAM - Demolizioni e Rimozioni

2.1 Campo di applicazione e generalità

Il presente articolo di capitolato fa riferimento a tutte le demolizioni e rimozioni di opere civili parziali o totali anche interrate, previste nel progetto o che si rendessero necessarie nel corso dell'esecuzione dei lavori, da eseguirsi con qualunque mezzo e modalità.
Per le specifiche inerenti le demolizioni di fabbricati e opere d'arte si rimanda allo specifico § 2.3, mentre per quelle inerenti le demolizioni delle pavimentazioni stradali al § 2.4. Le rimozioni sono regolate invece al § 2.5.

2.2 Norme generali

2.2.1 Materiali di risulta

I materiali di risulta provenenti da demolizioni o rimozioni dovranno essere gestiti secondo quanto prescritto dalla normativa vigente in tema di rifiuti sia nel caso se ne preveda il recupero in impianto autorizzato, sia nel caso siano smaltiti a discarica autorizzata. In entrambi i casi dovranno essere rispettate le disposizioni di legge e quelle del Capitolato Ambientale, per le fasi di produzione, deposito temporaneo, trasporto e recupero o smaltimento.
Il riutilizzo in cantiere del materiale trasformato e certificato come materia prima seconda (MPS) potrà avvenire solo previa verifica della sua l'idoneità tecnica all'utilizzo previsto secondo la destinazione d'uso.
L'Appaltatore, anche su suggerimento del Direttore dei Lavori, deve valutare, come prima scelta, la possibilità di riutilizzare ogni materiale risultante da lavorazioni di cantiere nel rispetto dei requisiti individuati in questo capitolato, con l'obiettivo di ridurre al massimo le forniture esterne.
Nel caso in cui dovessero essere temporaneamente accantonati per essere utilizzati successivamente essi possono essere depositati nell'ambito del cantiere o in aree ad asso asservite eventualmente individuate nel progetto e nel rispetto delle disposizioni di legge e quelle del Capitolato Ambientale. L'eventuale custodia e deposito temporaneo dei materiali è un onere a carico dell'Appaltatore.
Nel caso non sia possibile riutilizzare il materiale di risulta provenenti da demolizioni o rimozioni perché non compatibile dal punto di vista ambientale o tecnico, questo dovrà essere trattato come un rifiuto e potrà essere recuperato o smaltito secondo quanto previsto nella normativa vigente.

2.2.2 Gestione impatti su componenti ambientali

In tutte le fasi esecutive, comprese le fasi di preparazione e di sistemazione finale delle aree, per gli aspetti e le problematiche relative a temi ambientali, quali impatti acustici e vibrazionali, emissioni in atmosfera, impatto sulle acque superficiali, sotterranee e sul suolo, impatti sulla componente fauna e vegetazione, si rimanda integralmente a quanto prescritto dalla Normativa Nazionale e Regionale vigente, alle prescrizioni degli Enti preposti alla tutela ambientale, nonché alle condizioni ambientali contenute nelle autorizzazioni ed alle disposizioni del Capitolato Ambientale e Piano di Gestione Terre/Piano di Utilizzo allegati al progetto esecutivo.
Durante i lavori di demolizione si deve provvedere a ridurre il sollevamento della polvere, irrorando con acqua le murature ed i materiali di risulta così come si dovrà porre particolare attenzione alla gestione degli impatti acustici e vibrazionali che dovranno essere gestiti in conformità alle disposizioni del Capitolato Ambientale.
Inoltre, anche in coerenza con l'art. 2.4.2 del D.M. 5 agosto 2024 (CAM Strade) e successive modifiche e integrazioni,), laddove possibile e previsto a progetto, dovrà essere eseguita la

demolizione selettiva dei manufatti e delle opere d'arte al fine di massimizzare il recupero e il riutilizzo dei materiali di risulta secondo le disposizioni di legge.

2.2.3 Prescrizioni di sicurezza

L'Appaltatore ha l'obbligo di rispettare le indicazioni contenute nel progetto ed in particolare nel Piano di Coordinamento della Sicurezza (PSC). Particolare attenzione dovrà essere posta al rispetto delle prescrizioni di cui agli articoli dal 150 al 156 del Dlgs 81/08 e s.m.i.
Prima dell'inizio di lavori di demolizione è fatto obbligo di procedere alla verifica delle condizioni di conservazione e di stabilità delle varie strutture da demolire. In relazione al risultato di tale verifica devono essere eseguite le opere di rafforzamento e di puntellamento necessarie ad evitare che, durante le varie fasi di demolizione, si verifichino crolli intempestivi. Tali verifiche ed opere di rafforzamento sono da estendere ad ogni fase di lavoro quando l'opera viene demolita in momenti differenti alle parti di struttura che resta da demolire. Queste verifiche e relative eventuali opere di rafforzamento restano a cura ed onere dell'Appaltatore e devono essere documentate in apposita relazione sottoscritta da un ingegnere iscritto all'albo da presentare al DL e CSE in fase di qualifica di cui al successivo § 2.6.
I lavori devono procedere seguendo una sequenza di attività predeterminata tale da non pregiudicare mai, oltra alla sicurezza degli operai, la stabilità delle strutture portanti o di collegamento e di quelle eventuali adiacenti anche per via delle vibrazioni indotte dai mezzi e dalle lavorazioni.
Il materiale da demolizione non deve essere gettato dall'alto i materiali ma deve essere trasportato oppure convogliato in appositi canali e trasportati o guidati in basso. Ove sia costituito da elementi pesanti od ingombranti, il materiale di demolizione deve essere calato a terra con mezzi idonei.
L'Appaltatore dovrà anche mettere in atto una recinzione provvisoria e la necessaria segnaletica diurna e notturna nei luoghi interessati dalle demolizioni.
Nel caso d'impiego di esplosivi saranno a carico dell'Appaltatore gli oneri connessi con la richiesta e l'ottenimento di tutti i permessi necessari da parte delle competenti Autorità, la fornitura di tutti i materiali necessari e il loro trasporto, stoccaggio e impiego in linea con le misure di sicurezza fissate dalla legge. Inoltre l'Appaltatore sarà tenuto ad utilizzare personale in possesso dei titoli di qualifica previsti dalla legge, documentandolo opportunamente.
Saranno a carico dell'Appaltatore le operazioni connesse all'eventuale interruzione e ripristino di servizi elettrici e telefonici, reti di distribuzione acqua e gas, reti e canalette di drenaggio ecc.
Tra gli oneri dell'Appaltatore rientra anche, salvo diverse prescrizioni di Progetto, la pulizia delle aree sulle quali sono eseguite le opere di demolizione nonché il riempimento di eventuali scavi fino ad ottenere un piano di lavoro adeguato allo svolgimento delle successive operazioni previste dal Progetto. Tutte queste operazioni, ed in particolare gli eventuali rinterri, devono essere eseguite in linea con le prescrizioni delle altre sezioni del capitolato.

2.2.3.1 Demolizioni su autostrada in esercizio

Per le demolizioni da eseguirsi su autostrada in esercizio, l'Appaltatore dovrà adottare anche tutte le precauzioni e cautele atte ad evitare ogni possibile danno all'utenza e concordare con la Direzione di Tronco competente, tramite la Direzione Lavori, le eventuali parzializzazioni o chiusure di traffico che potranno avvenire prevalentemente in ore notturne e in giorni determinati.
In particolare, la demolizione delle travi di impalcati di opere d'arte o di impalcati di cavalcavia anche a struttura mista, su autostrade in esercizio, dovrà essere eseguita fuori opera, previa separazione dalle strutture esistenti, sollevamento, rimozione e trasporto di tali porzioni in apposite aree entro le quali potranno avvenire le demolizioni.

Sempre nel caso di demolizioni di impalcati su aree pavimentate stradali o autostradali non è ammesso nè il transito di mezzi cingolati direttamente sullo strato usura né il deposito di attrezzi pesanti, parti demolite ecc. Tali superfici devono essere opportunamente protette e il sistema di protezione deve essere proposto dall'Appaltatore al Direttore dei Lavori per approvazione. Al termine dei lavori la superficie carrabile deve essere opportunamente pulita con idonei macchinari (lavastrade spazzatrice).

2.3 Demolizione di fabbricati e opere d'arte

Rientrano in questa sezione le demolizioni di fabbricati di qualsiasi tipo e destinazione d'uso e di opere d'arte tipo viadotti, calcalcavia, gallerie, sottopassi, tombini, canali, strutture di sostegno, barriere fonoassorbenti ecc. Le opere da demolire potranno essere costituite da qualsiasi tipo di struttura portante tipo c.a., c.a.p. carpenterie metalliche, murature, legno, ecc. e potranno essere altresì composte da materiali di finitura di qualsiasi genere, forma, peso.

Le demolizioni potranno essere integrali o parziali a sezione obbligata e potranno essere eseguite in qualsiasi dimensione anche in breccia, entro e fuori terra, a qualsiasi altezza.

Per le demolizioni di cui sopra si potranno impiegare vari mezzi:
- meccanici: scalpello manuale o meccanico, martello demolitore; cesoia manuale o elettromeccanica, disco o filo diamantato, fiamma ossidrica;
- chimici ad azione lenta: agenti espansivi senza propagazione di onda d'urto
- chimici ad azione rapida: agenti esplosivi
- idraulici: pompe ad altissima pressione (idrodemolizione)

L'Appaltatore impiegherà i mezzi previsti dal Progetto e ritenuti conformi dalla Direzione Lavori. Il parametro primario per la scelta del mezzo più idoneo non deve essere legato alla massimizzazione della produttività ma occorre garantire la sicurezza degli operatori, la stabilità delle strutture adiacenti e la precisione dell'intervento soprattutto nel caso di demolizioni parziali nonché il minor impatto ambientale.

2.3.1 Idrodemolizioni

L'idrodemolizione di strati di conglomerato cementizio su strutture di ponti e viadotti dovrà essere effettuata con l'impiego di idonee attrezzature atte ad assicurare getti d'acqua a pressione modulabile fino a 1500 bar, con portate fino a 300 l/min, regolabili per quanto attiene la velocità operativa.
Gli interventi dovranno risultare selettivi ed asportare gli strati di conglomerato degradati senza intaccare quelli aventi resistenza uguale o superiore alla minima indicata in Progetto.
L'Appaltatore dovrà provvedere all'approvvigionamento dell'acqua occorrente per la demolizione del materiale e la pulizia della superficie risultante, privilegiando il riutilizzo della stessa laddove possibile o previsto da progetto.
Le attrezzature impiegate dovranno essere sottoposte alla preventiva approvazione della Direzione Lavori; dovranno essere dotate di sistemi automatici di comando e controllo a distanza, nonché di idonei sistemi di sicurezza contro la proiezione del materiale demolito, dovendo operare anche in presenza di traffico. Dovranno rispondere inoltre alle vigenti norme di Legge in materia antinfortunistica, alle quali l'Appaltatore dovrà uniformarsi in sede operativa.

Nel caso di demolizioni parziali potrà essere richiesto il trattamento con il getto di vapore a 100 °C ed una pressione di 0,7÷0,8 MPa per ottenere superfici di attacco pulite e pronte a ricevere i nuovi getti; i ferri dovranno essere tagliati, sabbiati e risagomati secondo le disposizioni progettuali.

Per la corretta gestione delle acque reflue derivanti dalla lavorazione, si rimanda alle disposizioni del Capitolato Ambientale.

2.3.2 Demolizioni e riprofilature di strutture in c.a. di gallerie con frese rotanti

Per rimuovere calcestruzzi, anche debolmente armati, di rivestimento ammalorati di gallerie o quando è richiesto un allargamento progressivo della sezione è possibile utilizzare, oltre alla modalità con idrodemolizione, frese a teste rotanti montate su bracci telescopici di idonei mezzi meccanici. Lo spessore massimo delle singole passate della fresa dipende dal tipo di macchinario utilizzato compatibilmente con i requisiti di progetto. Le macchine devono essere dotate della necessaria potenza per gli spessori richiesti e monitorare in continuo lo spessore di rivestimento fresato.

2.4 Demolizione di pavimentazione stradale

2.4.1 Demolizione totale o parziale di strati in conglomerato bituminoso realizzata con frese

La demolizione della parte della sovrastruttura legata a bitume per l'intero spessore o parte di esso deve essere effettuata con idonee attrezzature munite di frese a tamburo funzionanti a freddo, munite di nastro caricatore per il carico del materiale di risulta. Su parere della Direzione Lavori potranno essere impiegate fresatrici a sistema misto (preriscaldamento leggero), purché non compromettano il legante esistente nella pavimentazione da demolire.
Le attrezzature tutte devono essere perfettamente efficienti e funzionanti e di caratteristiche meccaniche, dimensioni e produzioni approvate preventivamente dalla Direzione Lavori. Devono inoltre avere caratteristiche tali che il materiale risultante dall'azione di fresatura risulti idoneo a giudizio della Direzione Lavori per il reimpiego nella confezione di nuovi conglomerati.
La superficie del cavo (nel caso di demolizioni parziali del pacchetto) deve risultare perfettamente regolare in tutti i punti, priva di residui di strati non completamente fresati che possono compromettere l'aderenza dei nuovi tappeti da porre in opera.
Non saranno tollerate scanalature provocate da tamburi ed utensili inadeguati o difformemente usurati che presentino una profondità misurata tra cresta e gola superiore a 0,5 cm.

L'Appaltatore si deve scrupolosamente attenere agli spessori di demolizione definiti dal Progetto o dalla Direzione Lavori. Qualora questi dovessero risultare inadeguati a contingenti situazioni in essere e comunque diversi per difetto o per eccesso rispetto all'ordinativo di lavoro, l'Appaltatore è tenuto a darne immediata comunicazione al Direttore dei Lavori o ad un suo incaricato che potranno autorizzare la modifica delle quote di fresatura. Senza questa autorizzazione le fresature verranno compensate con i centimetri di spessore indicati in progetto o negli ordinativi di lavoro. Comunque il rilievo dei nuovi spessori deve essere effettuato in contraddittorio. Lo spessore della demolizione deve essere mantenuto costante in tutti i punti e deve essere valutato mediando l'altezza delle due pareti laterali con quella della parte centrale del cavo.

La pulizia del piano di scarifica, nel caso di fresature corticali o subcorticali, deve essere eseguita con attrezzature approvate dalla Direzione Lavori, munite di spazzole e dispositivi aspiranti, in grado di dare un piano depolverizzato, perfettamente pulito.

Se la demolizione dello strato legato a bitume interessa uno spessore inferiore ai 15 cm, essa potrà essere effettuata con un solo passaggio di fresa, mentre per spessori superiori a 15 cm si devono effettuare due passaggi, di cui il primo pari ad 1/3 dello spessore totale, avendo cura di formare un gradino tra il primo ed il secondo strato demolito di almeno 10 cm di base per lato.
Le pareti dei giunti longitudinali devono risultare perfettamente verticali e con andamento longitudinale rettilineo e prive di sgretolature.
Sia la superficie risultante dalla fresatura che le pareti del cavo devono, prima della posa in opera dei nuovi strati di riempimento, essere perfettamente pulite, asciutte e uniformemente rivestite dalla mano d'attacco di legante bituminoso prevista in progetto o indicata dalla DL.

Il materiale fresato resta di proprietà dell'Appaltatore che deve essere dotata delle necessarie autorizzazioni allo stoccaggio e al reimpiego come disciplinato dalle norme di settore, e, ove previsto, secondo le previsioni del progetto e di questo capitolato speciale d'appalto.

2.4.2 Demolizione dell'intera sovrastruttura realizzata con sistemi tradizionali

La demolizione dell'intera sovrastruttura legata a bitume può anche essere eseguita con impiego di attrezzature tradizionali quali escavatori, pale meccaniche, martelli demolitori ecc. a discrezione della Direzione Lavori ed a suo insindacabile giudizio. Le pareti verticali dello scavo devono essere perfettamente verticali e con andamento longitudinale rettilineo e privo di sgretolature.
Eventuali danni causati dall'azione dei mezzi sulla parte di pavimentazione da non demolire devono essere riparati a cura e spese dell'Appaltatore. L'Appaltatore è inoltre tenuto a regolarizzare e compattare il piano di posa della pavimentazione demolita se su di esso si proceda alla stesa di strati in misto granulometricamente stabilizzato o legati.

2.4.3 Demolizione lastra in calcestruzzo ad armatura continua PCP (pavimentazione composta polifunzionale)

La demolizione della lastra PCP deve essere eseguita tramite:

- pre-fresatura a freddo della prima porzione di calcestruzzo, fino all'estradosso dei ferri di armatura;
- demolizione completa della porzione costituita da calcestruzzo armato con escavatori provvisti di martelli demolitori (per la frantumazione e demolizione del calcestruzzo) ed escavatori forniti di pinze (per l'estrazione dell'armatura dal calcestruzzo demolito).

L'Appaltatore deve utilizzare solo i mezzi previsti dal progetto e/o ritenuti idonei dalla DL. Inoltre deve definire modalità operative finalizzate ad evitare la formazione e la dispersione delle polveri nell'atmosfera. Le demolizioni devono essere eseguite con ordine, osservando le necessarie precauzioni ed adottando accorgimenti tali da garantire la sicurezza di tutte le operazioni e la prevenzione di qualsiasi infortunio al personale addetto. L'Appaltatore deve adottare tutte le precauzioni e cautele atte ad evitare ogni possibile danno all'utenza e concordare con la Direzione di Tronco, tramite la DL, le eventuali esclusioni di traffico che possono avvenire anche in ore notturne ed in giorni determinati. Inoltre l'Impresa deve provvedere, a sua cura e spese, ad adottare tutte le cautele al fine di non danneggiare le strutture sottostanti, circostanti e le eventuali proprietà di terzi. L'Appaltatore sarà pertanto responsabile di tutti i danni che una cattiva conduzione nelle operazioni di demolizione possa arrecare a persone, cose e a terzi. I materiali di risulta provenienti dalla demolizione della lastra PCP devono essere gestiti in conformità alla normativa vigente.

2.5 Rimozioni

Ove previsto a progetto o si renda necessario per l'esecuzione delle opere in appalto, l'Appaltatore è tenuto ad eseguire ogni rimozione o smontaggio che si renda necessario e nello specifico:

- smontaggio di recinzione costituita da rete metallica e relativi montanti;
- smontaggio di sicurvia di qualunque tipo, con montanti infissi in terra, su cordolo o in pavimentazione;
- smontaggio di segnaletica stradale di qualsiasi tipo;
- smontaggio completo di pensilina di stazione costituita da struttura portante in acciaio (travi, pilastri, ecc.), di qualsiasi sezione e dimensione, anche composta a traliccio, copertura, controsoffittatura, mantovane e converse in alluminio o acciaio; nello smontaggio della pensilina è compreso lo smontaggio dell'orditura di fissaggio della copertura e della controsoffittatura, la rimozione dei semafori e delle plafoniere, lo smantellamento degli impianti elettrici e di scarico acque, ecc.;
- rimozione del timpano metallico dell'esistente pensilina di stazione con i necessari adattamenti;
- rimozione di box o baracche prefabbricate in lamiera, compresa la demolizione degli ancoraggi ed opere accessorie tutte; rimozione di tettoie per parcheggi in lamiera, compresa la rimozione dei montanti;
- rimozione completa di tettoia parcheggio auto costituita da pilastri, trave di acciaio e manto di copertura, comunque inclinato, in lastre metalliche, compresa la rimozione dell'orditura di fissaggio;
- rimozione di serramenti di porte e finestre di qualsiasi tipo, l'asportazione di telai e controtelai.
- rimozione e smaltimento delle lastre di copertura in cemento con fibre di amianto, da eseguirsi secondo le modalità prescritte dalle specifiche normative vigenti. L'Appaltatore incaricato di tale attività dovrà essere iscritto all' Albo Nazionale Gestori Ambientale (Categoria 10).
- Rimozione o abbattimento di alberature

Tali rimozioni devono essere trattati come rifiuto e potranno essere recuperati o smaltiti secondo quanto previsto nelle normativa vigente e da capitolato Ambientale ad onere dell'Appaltatore.

2.6 Documenti di prequalifica

L'Appaltatore deve trasmettere al Direttore dei Lavori e Coordinatore della Sicurezza in fase di Esecuzione per approvazione almeno 15 giorni prima dell'inizio delle attività, la procedura di lavoro di cui all'art. CG.01.01 della sezione "Condizioni Generali" del presente Capitolato Speciale. Tale procedura deve essere coerente con quanto disposto dall'art. 151 del D.lgs 81/08 e s.m.i.

Nel caso di demolizioni da effettuare in chiusura totale del traffico veicolare stradale o autostradale detta procedura dovrà contenere anche i seguenti punti:

- Cronoprogramma esecutivo della sequenza di demolizione: descrizione delle varie fasi di lavoro in funzione e nel rispetto rigoroso, ove applicabile, dei tempi di parzializzazione o chiusura delle corsie stradali e/o autostradali. Tale sequenza deve essere realizzata su scala oraria e riportare tutte le squadre e i mezzi impegnati nelle singole lavorazioni;
- Assistenza tecnica: indicare il nome della ditta, recapito telefonico con reperibilità h 24 dell'assistenza tecnica in caso di guasto dei macchinari (autogrù, carrelloni, ecc) e tempo di intervento. Si precisa che è facoltà insindacabile del Direttore dei Lavori richiedere che l'assistenza tecnica sia presente in cantiere durante le fasi di svaro con onere a carico dell'Appaltatore.

La citata procedura di cui all'art. CG.01.01 della sezione "Condizioni Generali" del presente Capitolato Speciale è sempre altresì da integrare con le seguenti indicazioni:

- L'area di destinazione dei materiali di risulta dei rifiuti (indicare se e con quale finalità questi verranno recuperati o smaltiti secondo quanto previsto nella normativa vigente) nel rispetto dei contenuti di cui al § 2.2.1;
- Lo studio degli impatti acustici, vibrazionali ed emissioni in atmosfera quando pertinente di cui al § 2.2.2;
- Il rispetto delle prescrizioni di sicurezza di cui al § 2.2.3;
- Il rispetto di tutto quanto previsto da Capitolato Ambientale §2.2.2;

La mancata presentazione della documentazione preliminare comporta la non autorizzazione all'inizio dell'esecuzione dei lavori, né saranno accettate eventuali lavorazioni svolte prima dell'approvazione delle modalità esecutive.

2.7 Controlli a carico dell'Appaltatore

L'Appaltatore è tenuto ad eseguire i seguenti controlli da trasmettere in apposito report alla Direzione Lavori al termine di ogni operazione di demolizione.
Prima dell'inizio delle lavorazioni:

- Verifica della risoluzione delle interferenze individuate negli elaborati di PE e della presenza di eventuali interferenze non censite in fase di progetto;
- Verifica di tutti gli accorgimenti tecnici per puntellare e sbatacchiare le strutture pericolanti nel rispetto della conservazione delle proprietà circostanti e della sicurezza degli operatori;
- Verifica dell'elenco dei mezzi previsti e delle attrezzature per il raggiungimento del programma previsto nel rispetto delle previsioni di qualifica.

Durante l'esecuzione delle lavorazioni:

- Verifica della sequenza e modalità di demolizione nel rispetto delle previsioni di qualifica e di progetto;
- Per le demolizioni di pavimentazioni stradali verifica dello spessore di fresatura che deve essere mantenuto costante in tutti i punti;
- Verifica della stabilità delle parti di struttura che restano da demolire.

Al termine dell'esecuzione delle lavorazioni:

- In caso di demolizione parziale, verifica che le superfici di attacco risultino pulite e pronte a ricevere i nuovi getti; i ferri dovranno essere tagliati, sabbiati e risagomati secondo le disposizioni progettuali.
- Verifica della destinazione dei materiali di demolizione a mezzo di acquisizione del FIR o DDT in accordo alla vigente normativa. piano di lavoro adeguato allo svolgimento delle successive operazioni previste dal Progetto;
- Redazione di apposito registro con il peso dei materiali demoliti o rimossi distinti per tipologia, e con l'indicazione della destinazione finale (recupero o smaltimento).

In generale, dovrà essere verificato il rispetto di tutto quanto previsto da Capitolato Ambientale (vedi §2.2.2).

Art. 2 NO CAM - Demolizioni e Rimozioni

2.1 Campo di applicazione e generalità

Il presente articolo di capitolato fa riferimento a tutte le demolizioni e rimozioni di opere civili parziali o totali anche interrate, previste nel progetto o che si rendessero necessarie nel corso dell'esecuzione dei lavori, da eseguirsi con qualunque mezzo e modalità.
Per le specifiche inerenti le demolizioni di fabbricati e opere d'arte si rimanda allo specifico § 2.3, mentre per quelle inerenti le demolizioni delle pavimentazioni stradali al § 2.4. Le rimozioni sono regolate invece al § 2.5.

2.2 Norme generali

2.2.1 Materiali di risulta

I materiali di risulta provenenti da demolizioni o rimozioni dovranno essere gestiti secondo quanto prescritto dalla normativa vigente in tema di rifiuti sia nel caso se ne preveda il recupero in impianto autorizzato, sia nel caso siano smaltiti a discarica autorizzata. In entrambi i casi dovranno essere rispettate le disposizioni di legge e quelle del Capitolato Ambientale, per le fasi di produzione, deposito temporaneo, trasporto e recupero o smaltimento.
Il riutilizzo in cantiere del materiale trasformato e certificato come materia prima seconda (MPS) potrà avvenire solo previa verifica della sua l'idoneità tecnica all'utilizzo previsto secondo la destinazione d'uso.
L'Appaltatore, anche su suggerimento del Direttore dei Lavori, deve valutare, come prima scelta, la possibilità di riutilizzare ogni materiale risultante da lavorazioni di cantiere nel rispetto dei requisiti individuati in questo capitolato, con l'obiettivo di ridurre al massimo le forniture esterne.
Nel caso in cui dovessero essere temporaneamente accantonati per essere utilizzati successivamente essi possono essere depositati nell'ambito del cantiere o in aree ad asso asservite eventualmente individuate nel progetto e nel rispetto delle disposizioni di legge e quelle del Capitolato Ambientale. L'eventuale custodia e deposito temporaneo dei materiali è un onere a carico dell'Appaltatore.
Nel caso non sia possibile riutilizzare il materiale di risulta provenenti da demolizioni o rimozioni perché non compatibile dal punto di vista ambientale o tecnico, questo dovrà essere trattato come un rifiuto e potrà essere recuperato o smaltito secondo quanto previsto nella normativa vigente.

2.2.2 Gestione impatti su componenti ambientali

In tutte le fasi esecutive, comprese le fasi di preparazione e di sistemazione finale delle aree, per gli aspetti e le problematiche relative a temi ambientali, quali impatti acustici e vibrazionali, emissioni in atmosfera, impatto sulle acque superficiali, sotterranee e sul suolo, impatti sulla componente fauna e vegetazione, si rimanda integralmente a quanto prescritto dalla Normativa Nazionale e Regionale vigente, alle prescrizioni degli Enti preposti alla tutela ambientale, nonché alle condizioni ambientali contenute nelle autorizzazioni ed alle disposizioni del Capitolato Ambientale e Piano di Gestione Terre/Piano di Utilizzo allegati al progetto esecutivo.
Durante i lavori di demolizione si deve provvedere a ridurre il sollevamento della polvere, irrorando con acqua le murature ed i materiali di risulta così come si dovrà porre particolare attenzione alla gestione degli impatti acustici e vibrazionali che dovranno essere gestiti in conformità alle disposizioni del Capitolato Ambientale.

Inoltre, laddove possibile o previsto a progetto, dovrà essere eseguita la demolizione selettiva dei manufatti e delle opere d'arte al fine di massimizzare il recupero e il riutilizzo dei materiali di risulta secondo le disposizioni di legge.

2.2.3 Prescrizioni di sicurezza

L'Appaltatore ha l'obbligo di rispettare le indicazioni contenute nel progetto ed in particolare nel Piano di Coordinamento della Sicurezza (PSC). Particolare attenzione dovrà essere posta al rispetto delle prescrizioni di cui agli articoli dal 150 al 156 del Dlgs 81/08 e s.m.i.
Prima dell'inizio di lavori di demolizione è fatto obbligo di procedere alla verifica delle condizioni di conservazione e di stabilità delle varie strutture da demolire. In relazione al risultato di tale verifica devono essere eseguite le opere di rafforzamento e di puntellamento necessarie ad evitare che, durante le varie fasi di demolizione, si verifichino crolli intempestivi. Tali verifiche ed opere di rafforzamento sono da estendere ad ogni fase di lavoro quando l'opera viene demolita in momenti differenti alle parti di struttura che resta da demolire. Queste verifiche e relative eventuali opere di rafforzamento restano a cura ed onere dell'Appaltatore e devono essere documentate in apposita relazione sottoscritta da un ingegnere iscritto all'albo da presentare al DL e CSE in fase di qualifica di cui al successivo § 2.6.
I lavori devono procedere seguendo una sequenza di attività predeterminata tale da non pregiudicare mai, oltra alla sicurezza degli operai, la stabilità delle strutture portanti o di collegamento e di quelle eventuali adiacenti anche per via delle vibrazioni indotte dai mezzi e dalle lavorazioni.
Il materiale da demolizione non deve essere gettato dall'alto i materiali ma deve essere trasportato oppure convogliato in appositi canali e trasportati o guidati in basso. Ove sia costituito da elementi pesanti od ingombranti, il materiale di demolizione deve essere calato a terra con mezzi idonei.
L'Appaltatore dovrà anche mettere in atto una recinzione provvisoria e la necessaria segnaletica diurna e notturna nei luoghi interessati dalle demolizioni.
Nel caso d'impiego di esplosivi saranno a carico dell'Appaltatore gli oneri connessi con la richiesta e l'ottenimento di tutti i permessi necessari da parte delle competenti Autorità, la fornitura di tutti i materiali necessari e il loro trasporto, stoccaggio e impiego in linea con le misure di sicurezza fissate dalla legge. Inoltre l'Appaltatore sarà tenuto ad utilizzare personale in possesso dei titoli di qualifica previsti dalla legge, documentandolo opportunamente.
Saranno a carico dell'Appaltatore le operazioni connesse all'eventuale interruzione e ripristino di servizi elettrici e telefonici, reti di distribuzione acqua e gas, reti e canalette di drenaggio ecc.
Tra gli oneri dell'Appaltatore rientra anche, salvo diverse prescrizioni di Progetto, la pulizia delle aree sulle quali sono eseguite le opere di demolizione nonché il riempimento di eventuali scavi fino ad ottenere un piano di lavoro adeguato allo svolgimento delle successive operazioni previste dal Progetto. Tutte queste operazioni, ed in particolare gli eventuali rinterri, devono essere eseguite in linea con le prescrizioni delle altre sezioni del capitolato.

2.2.3.1 Demolizioni su autostrada in esercizio

Per le demolizioni da eseguirsi su autostrada in esercizio, l'Appaltatore dovrà adottare anche tutte le precauzioni e cautele atte ad evitare ogni possibile danno all'utenza e concordare con la Direzione di Tronco competente, tramite la Direzione Lavori, le eventuali parzializzazioni o chiusure di traffico che potranno avvenire prevalentemente in ore notturne e in giorni determinati.
In particolare, la demolizione delle travi di impalcati di opere d'arte o di impalcati di cavalcavia anche a struttura mista, su autostrade in esercizio, dovrà essere eseguita fuori opera, previa separazione

dalle strutture esistenti, sollevamento, rimozione e trasporto di tali porzioni in apposite aree entro le quali potranno avvenire le demolizioni.
Sempre nel caso di demolizioni di impalcati su aree pavimentate stradali o autostradali non è ammesso nè il transito di mezzi cingolati direttamente sullo strato usura né il deposito di attrezzi pesanti, parti demolite ecc. Tali superfici devono essere opportunamente protette e il sistema di protezione deve essere proposto dall'Appaltatore al Direttore dei Lavori per approvazione. Al termine dei lavori la superficie carrabile deve essere opportunamente pulita con idonei macchinari (lavastrade spazzatrice).

2.3 Demolizione di fabbricati e opere d'arte

Rientrano in questa sezione le demolizioni di fabbricati di qualsiasi tipo e destinazione d'uso e di opere d'arte tipo viadotti, calcalcavia, gallerie, sottopassi, tombini, canali, strutture di sostegno, barriere fonoassorbenti ecc. Le opere da demolire potranno essere costituite da qualsiasi tipo di struttura portante tipo c.a., c.a.p. carpenterie metalliche, murature, legno, ecc. e potranno essere altresì composte da materiali di finitura di qualsiasi genere, forma, peso.

Le demolizioni potranno essere integrali o parziali a sezione obbligata e potranno essere eseguite in qualsiasi dimensione anche in breccia, entro e fuori terra, a qualsiasi altezza.

Per le demolizioni di cui sopra si potranno impiegare vari mezzi:
- meccanici: scalpello manuale o meccanico, martello demolitore; cesoia manuale o elettromeccanica, disco o filo diamantato, fiamma ossidrica;
- chimici ad azione lenta: agenti espansivi senza propagazione di onda d'urto
- chimici ad azione rapida: agenti esplosivi
- idraulici: pompe ad altissima pressione (idrodemolizione)

L'Appaltatore impiegherà i mezzi previsti dal Progetto e ritenuti conformi dalla Direzione Lavori. Il parametro primario per la scelta del mezzo più idoneo non deve essere legato alla massimizzazione della produttività ma occorre garantire la sicurezza degli operatori, la stabilità delle strutture adiacenti e la precisione dell'intervento soprattutto nel caso di demolizioni parziali nonché il minor impatto ambientale.

2.3.1 Idrodemolizioni

L'idrodemolizione di strati di conglomerato cementizio su strutture di ponti e viadotti dovrà essere effettuata con l'impiego di idonee attrezzature atte ad assicurare getti d'acqua a pressione modulabile fino a 1500 bar, con portate fino a 300 l/min, regolabili per quanto attiene la velocità operativa.
Gli interventi dovranno risultare selettivi ed asportare gli strati di conglomerato degradati senza intaccare quelli aventi resistenza uguale o superiore alla minima indicata in Progetto.
L'Appaltatore dovrà provvedere all'approvvigionamento dell'acqua occorrente per la demolizione del materiale e la pulizia della superficie risultante, privilegiando il riutilizzo della stessa laddove possibile o previsto da progetto.
Le attrezzature impiegate dovranno essere sottoposte alla preventiva approvazione della Direzione Lavori; dovranno essere dotate di sistemi automatici di comando e controllo a distanza, nonché di idonei sistemi di sicurezza contro la proiezione del materiale demolito, dovendo operare anche in

presenza di traffico. Dovranno rispondere inoltre alle vigenti norme di Legge in materia antinfortunistica, alle quali l'Appaltatore dovrà uniformarsi in sede operativa.
Nel caso di demolizioni parziali potrà essere richiesto il trattamento con il getto di vapore a 100 °C ed una pressione di 0,7÷0,8 MPa per ottenere superfici di attacco pulite e pronte a ricevere i nuovi getti; i ferri dovranno essere tagliati, sabbiati e risagomati secondo le disposizioni progettuali.

Per la corretta gestione delle acque reflue derivanti dalla lavorazione, si rimanda alle disposizioni del Capitolato Ambientale.

2.3.2 Demolizioni e riprofilature di strutture in c.a. di gallerie con frese rotanti

Per rimuovere calcestruzzi, anche debolmente armati, di rivestimento ammalorati di gallerie o quando è richiesto un allargamento progressivo della sezione è possibile utilizzare, oltre alla modalità con idrodemolizione, frese a teste rotanti montate su bracci telescopici di idonei mezzi meccanici. Lo spessore massimo delle singole passate della fresa dipende dal tipo di macchinario utilizzato compatibilmente con i requisiti di progetto. Le macchine devono essere dotate della necessaria potenza per gli spessori richiesti e monitorare in continuo lo spessore di rivestimento fresato.

2.4 Demolizione di pavimentazione stradale

2.4.1 Demolizione totale o parziale di strati in conglomerato bituminoso realizzata con frese

La demolizione della parte della sovrastruttura legata a bitume per l'intero spessore o parte di esso deve essere effettuata con idonee attrezzature munite di frese a tamburo funzionanti a freddo, munite di nastro caricatore per il carico del materiale di risulta. Su parere della Direzione Lavori potranno essere impiegate fresatrici a sistema misto (preriscaldamento leggero), purché non compromettano il legante esistente nella pavimentazione da demolire.
Le attrezzature tutte devono essere perfettamente efficienti e funzionanti e di caratteristiche meccaniche, dimensioni e produzioni approvate preventivamente dalla Direzione Lavori. Devono inoltre avere caratteristiche tali che il materiale risultante dall'azione di fresatura risulti idoneo a giudizio della Direzione Lavori per il reimpiego nella confezione di nuovi conglomerati.
La superficie del cavo (nel caso di demolizioni parziali del pacchetto) deve risultare perfettamente regolare in tutti i punti, priva di residui di strati non completamente fresati che possono compromettere l'aderenza dei nuovi tappeti da porre in opera.
Non saranno tollerate scanalature provocate da tamburi ed utensili inadeguati o difformemente usurati che presentino una profondità misurata tra cresta e gola superiore a 0,5 cm.

L'Appaltatore si deve scrupolosamente attenere agli spessori di demolizione definiti dal Progetto o dalla Direzione Lavori. Qualora questi dovessero risultare inadeguati a contingenti situazioni in essere e comunque diversi per difetto o per eccesso rispetto all'ordinativo di lavoro, l'Appaltatore è tenuto a darne immediata comunicazione al Direttore dei Lavori o ad un suo incaricato che potranno autorizzare la modifica delle quote di fresatura. Senza questa autorizzazione le fresature verranno compensate con i centimetri di spessore indicati in progetto o negli ordinativi di lavoro. Comunque il rilievo dei nuovi spessori deve essere effettuato in contraddittorio. Lo spessore della demolizione deve essere mantenuto costante in tutti i punti e deve essere valutato mediando l'altezza delle due pareti laterali con quella della parte centrale del cavo.

La pulizia del piano di scarifica, nel caso di fresature corticali o subcorticali, deve essere eseguita con attrezzature approvate dalla Direzione Lavori, munite di spazzole e dispositivi aspiranti, in grado di dare un piano depolverizzato, perfettamente pulito.
Se la demolizione dello strato legato a bitume interessa uno spessore inferiore ai 15 cm, essa potrà essere effettuata con un solo passaggio di fresa, mentre per spessori superiori a 15 cm si devono effettuare due passaggi, di cui il primo pari ad 1/3 dello spessore totale, avendo cura di formare un gradino tra il primo ed il secondo strato demolito di almeno 10 cm di base per lato.
Le pareti dei giunti longitudinali devono risultare perfettamente verticali e con andamento longitudinale rettilineo e prive di sgretolature.
Sia la superficie risultante dalla fresatura che le pareti del cavo devono, prima della posa in opera dei nuovi strati di riempimento, essere perfettamente pulite, asciutte e uniformemente rivestite dalla mano d'attacco di legante bituminoso prevista in progetto o indicata dalla DL.

Il materiale fresato resta di proprietà dell'Appaltatore che deve essere dotata delle necessarie autorizzazioni allo stoccaggio e al reimpiego come disciplinato dalle norme di settore, e, ove previsto, secondo le previsioni del progetto e di questo capitolato speciale d'appalto.

2.4.2 Demolizione dell'intera sovrastruttura realizzata con sistemi tradizionali

La demolizione dell'intera sovrastruttura legata a bitume può anche essere eseguita con impiego di attrezzature tradizionali quali escavatori, pale meccaniche, martelli demolitori ecc. a discrezione della Direzione Lavori ed a suo insindacabile giudizio. Le pareti verticali dello scavo devono essere perfettamente verticali e con andamento longitudinale rettilineo e privo di sgretolature.
Eventuali danni causati dall'azione dei mezzi sulla parte di pavimentazione da non demolire devono essere riparati a cura e spese dell'Appaltatore. L'Appaltatore è inoltre tenuto a regolarizzare e compattare il piano di posa della pavimentazione demolita se su di esso si proceda alla stesa di strati in misto granulometricamente stabilizzato o legati.

2.4.3 Demolizione lastra in calcestruzzo ad armatura continua PCP (pavimentazione composta polifunzionale)

La demolizione della lastra PCP deve essere eseguita tramite:

- pre-fresatura a freddo della prima porzione di calcestruzzo, fino all'estradosso dei ferri di armatura;
- demolizione completa della porzione costituita da calcestruzzo armato con escavatori provvisti di martelli demolitori (per la frantumazione e demolizione del calcestruzzo) ed escavatori forniti di pinze (per l'estrazione dell'armatura dal calcestruzzo demolito).

L'Appaltatore deve utilizzare solo i mezzi previsti dal progetto e/o ritenuti idonei dalla DL. Inoltre deve definire modalità operative finalizzate ad evitare la formazione e la dispersione delle polveri nell'atmosfera. Le demolizioni devono essere eseguite con ordine, osservando le necessarie precauzioni ed adottando accorgimenti tali da garantire la sicurezza di tutte le operazioni e la prevenzione di qualsiasi infortunio al personale addetto. L'Appaltatore deve adottare tutte le precauzioni e cautele atte ad evitare ogni possibile danno all'utenza e concordare con la Direzione di Tronco, tramite la DL, le eventuali esclusioni di traffico che possono avvenire anche in ore notturne ed in giorni determinati. Inoltre l'Impresa deve provvedere, a sua cura e spese, ad adottare tutte le cautele al fine di non danneggiare le strutture sottostanti, circostanti e le eventuali proprietà di terzi. L'Appaltatore sarà pertanto responsabile di tutti i danni che una cattiva conduzione nelle operazioni

di demolizione possa arrecare a persone, cose e a terzi. I materiali di risulta provenienti dalla demolizione della lastra PCP devono essere gestiti in conformità alla normativa vigente.

2.5 Rimozioni

Ove previsto a progetto o si renda necessario per l'esecuzione delle opere in appalto, l'Appaltatore è tenuto ad eseguire ogni rimozione o smontaggio che si renda necessario e nello specifico:

- smontaggio di recinzione costituita da rete metallica e relativi montanti;
- smontaggio di sicurvia di qualunque tipo, con montanti infissi in terra, su cordolo o in pavimentazione;
- smontaggio di segnaletica stradale di qualsiasi tipo;
- smontaggio completo di pensilina di stazione costituita da struttura portante in acciaio (travi, pilastri, ecc.), di qualsiasi sezione e dimensione, anche composta a traliccio, copertura, controsoffittatura, mantovane e converse in alluminio o acciaio; nello smontaggio della pensilina è compreso lo smontaggio dell'orditura di fissaggio della copertura e della controsoffittatura, la rimozione dei semafori e delle plafoniere, lo smantellamento degli impianti elettrici e di scarico acque, ecc.;
- rimozione del timpano metallico dell'esistente pensilina di stazione con i necessari adattamenti;
- rimozione di box o baracche prefabbricate in lamiera, compresa la demolizione degli ancoraggi ed opere accessorie tutte; rimozione di tettoie per parcheggi in lamiera, compresa la rimozione dei montanti;
- rimozione completa di tettoia parcheggio auto costituita da pilastri, trave di acciaio e manto di copertura, comunque inclinato, in lastre metalliche, compresa la rimozione dell'orditura di fissaggio;
- rimozione di serramenti di porte e finestre di qualsiasi tipo, l'asportazione di telai e controtelai.
- rimozione e smaltimento delle lastre di copertura in cemento con fibre di amianto, da eseguirsi secondo le modalità prescritte dalle specifiche normative vigenti. L'Appaltatore incaricato di tale attività dovrà essere iscritto all' Albo Nazionale Gestori Ambientale (Categoria 10).
- Rimozione o abbattimento di alberature

Tali rimozioni devono essere trattati come rifiuto e potranno essere recuperati o smaltiti secondo quanto previsto nelle normativa vigente e da capitolato Ambientale ad onere dell'Appaltatore.

2.6 Documenti di prequalifica

L'Appaltatore deve trasmettere al Direttore dei Lavori e Coordinatore della Sicurezza in fase di Esecuzione per approvazione almeno 15 giorni prima dell'inizio delle attività, la procedura di lavoro di cui all'art. CG.01.01 della sezione "Condizioni Generali" del presente Capitolato Speciale. Tale procedura deve essere coerente con quanto disposto dall'art. 151 del D.lgs 81/08 e s.m.i.
Nel caso di demolizioni da effettuare in chiusura totale del traffico veicolare stradale o autostradale detta procedura dovrà contenere anche i seguenti punti:

- Cronoprogramma esecutivo della sequenza di demolizione: descrizione delle varie fasi di lavoro in funzione e nel rispetto rigoroso, ove applicabile, dei tempi di parzializzazione o chiusura delle corsie stradali e/o autostradali. Tale sequenza deve essere realizzata su scala oraria e riportare tutte le squadre e i mezzi impegnati nelle singole lavorazioni;
- Assistenza tecnica: indicare il nome della ditta, recapito telefonico con reperibilità h 24 dell'assistenza tecnica in caso di guasto dei macchinari (autogrù, carrelloni, ecc) e tempo di

intervento. Si precisa che è facoltà insindacabile del Direttore dei Lavori richiedere che l'assistenza tecnica sia presente in cantiere durante le fasi di svaro con onere a carico dell'Appaltatore.

La citata procedura di cui all'art. CG.01.01 della sezione "Condizioni Generali" del presente Capitolato Speciale è sempre altresì da integrare con le seguenti indicazioni:

- L'area di destinazione dei materiali di risulta dei rifiuti (indicare se e con quale finalità questi verranno recuperati o smaltiti secondo quanto previsto nella normativa vigente) nel rispetto dei contenuti di cui al § 2.2.1;
- Lo studio degli impatti acustici, vibrazionali ed emissioni in atmosfera quando pertinente di cui al § 2.2.2;
- Il rispetto delle prescrizioni di sicurezza di cui al § 2.2.3;
- Il rispetto di tutto quanto previsto da Capitolato Ambientale §2.2.2;

La mancata presentazione della documentazione preliminare comporta la non autorizzazione all'inizio dell'esecuzione dei lavori, né saranno accettate eventuali lavorazioni svolte prima dell'approvazione delle modalità esecutive.

2.7 Controlli a carico dell'Appaltatore

L'Appaltatore è tenuto ad eseguire i seguenti controlli da trasmettere in apposito report alla Direzione Lavori al termine di ogni operazione di demolizione.
Prima dell'inizio delle lavorazioni:

- Verifica della risoluzione delle interferenze individuate negli elaborati di PE e della presenza di eventuali interferenze non censite in fase di progetto;
- Verifica di tutti gli accorgimenti tecnici per puntellare e sbatacchiare le strutture pericolanti nel rispetto della conservazione delle proprietà circostanti e della sicurezza degli operatori;
- Verifica dell'elenco dei mezzi previsti e delle attrezzature per il raggiungimento del programma previsto nel rispetto delle previsioni di qualifica.

Durante l'esecuzione delle lavorazioni:

- Verifica della sequenza e modalità di demolizione nel rispetto delle previsioni di qualifica e di progetto;
- Per le demolizioni di pavimentazioni stradali verifica dello spessore di fresatura che deve essere mantenuto costante in tutti i punti;
- Verifica della stabilità delle parti di struttura che restano da demolire.

Al termine dell'esecuzione delle lavorazioni:

- In caso di demolizione parziale, verifica che le superfici di attacco risultino pulite e pronte a ricevere i nuovi getti; i ferri dovranno essere tagliati, sabbiati e risagomati secondo le disposizioni progettuali.
- Verifica della destinazione dei materiali di demolizione a mezzo di acquisizione del FIR o DDT in accordo alla vigente normativa. piano di lavoro adeguato allo svolgimento delle successive operazioni previste dal Progetto;
- Redazione di apposito registro con il peso dei materiali demoliti o rimossi distinti per tipologia, e con l'indicazione della destinazione finale (recupero o smaltimento).

In generale, dovrà essere verificato il rispetto di tutto quanto previsto da Capitolato Ambientale (vedi §2.2.2).

Art. 3 CAM - Rilevati

3.1 Descrizione e campo di applicazione

Il rilevato viene inteso come il solido messo in opera per portare l'asse stradale dal piano di campagna fino alla quota prevista in progetto. Esso è composto dal corpo del rilevato e dal sottofondo. Il primo rappresenta il volume necessario a colmare la differenza di quota tra il piano di campagna e il sottonfondo, previa asportazione dello strato di terreno vegetale. Il secondo rappresenta, nel caso dei rilevati, la parte sommitale del corpo del rilevato la cui profondità arriva alla quota entro la quale vengono dissipati i carichi da traffico.

Il corpo del rilevato può ricomprendere l'eventuale volume di bonifica inteso come quell'azione di sostituzione, correzione, miglioramento o stabilizzazione, se del caso combinate tra loro, del terreno presente al di sotto del rilevato o al di sotto del piano della sovrastruttra nel caso di trincea. Il sottofondo rappresenta, nelle sezioni in trincea, la parte del terreno in sito, eventualmente bonificato, sulla quale è realizzata la sovrastruttura.

Le caratteristiche geometriche del corpo del rilevato, la natura e le proprietà geometriche, fisico meccaniche e chimiche dei materiali che costituiscono il corpo del rilevato e l'eventuale strato di bonifica, nonché le modalità e sequenze esecutive ed il piano di monitoraggio a controllo delle previsioni progettuali sono quelle indicate nel Progetto esecutivo o comunque riportate all'interno di questo articolo di Capitolato.

Per ciò che riguarda le definizioni e la terminologia afferente ai termini specifici relativi ai materiali, ai parametri, ai trattamenti, alle partizioni geometriche o elementi strutturali dei contenuti di questo articolo di capitolato si rimanda alla norma UNI EN 11531-1.

Le prescrizioni contenute nel presente articolo capitolato si applicano alle lavorazioni inerenti alla realizzazione dei rilevati che in progetto si prevede di effettuare in conformità al D.M. 5 agosto 2024 così come modificato dal D.M.11 settembre 2025. Nei successivi paragrafi tali decreti verranno indicati sinteticamente come Decreto CAM Strade aggiornato (o per brevità DM CAM).

In particolare, per quanto riguarda i contenuti di questo articolo di Capitolato, il DM CAM viene applicato per la realizzazione dei rilevati stradali e autostradali (§ 3.3.4), dei rilevati in terra rinforzata o armata (§ 3.3.11) e dei rilevati di precarico e riempimenti (§ 3.3.12). Per quanto invece riguarda l'applicazione del DM CAM alle lavorazioni previste per il misto cementato a ridosso dei manufatti (§ 3.3.8), sono da ritenersi valide le prescrizioni fornite al paragrafo 30.3 (versione CAM) di questo Capitolato. L'applicazione del DM CAM viene esclusa dalle lavorazioni inerenti ai rilevati alleggeriti.

Le modalità di applicazione del Decreto CAM Strade aggiornato alle lavorazioni inerenti al rilevato sono definite all'interno della Relazione CAM di progetto, all'interno degli elaborati di progetto riguardanti i rilevati o comunque all'interno di questo articolo di Capitolato.

Tali prescrizioni sono altresì da ritenersi valide per tutte le viabilità autostradali e per le viabilità interferite o compensative destinate ad essere consegnate al termine dei lavori alle Amministrazioni Locali.

3.2 Normativa di riferimento

Criteri Ambientali Minimi vigenti

- Decreto Ministeriale 5 agosto 2024 recante Criteri Ambientali Minimi per l'affidamento del servizio di progettazione ed esecuzione dei lavori di costruzione, manutenzione e adeguamento delle infrastrutture stradali.
- Decreto Ministeriale 11 settembre 2024 recante Modifiche all'allegato 1 del decreto 5 agosto 2024, recante «Criteri ambientali minimi per l'affidamento del servizio di progettazione ed esecuzione dei lavori di costruzione, manutenzione e adeguamento delle infrastrutture stradali- CAM Strade.

Terre e rocce da scavo

- Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n.152 - Norme in materia ambientale
- Decreto del Presidente della Repubblica 13 giugno 2017, n. 120 Regolamento recante la disciplina semplificata della gestione delle terre e rocce da scavo, ai sensi dell'articolo 8 del decreto-legge 12 settembre 2014, n. 133, convertito, con modificazioni, dalla legge 11 novembre 2014, n. 164 (G.U. n. 183 del 7 agosto 2017)
- Decreto del Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica n. 127 del 23 maggio 2024 recante "Regolamento concernente la disciplina per la gestione delle terre e rocce da scavo e la cessazione della qualifica di rifiuto per i rifiuti inerti da costruzione e demolizione"

Aggregati riciclati – cessazione della qualifica di rifiuto

- Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n.152 - Norme in materia ambientale
- Decreto del Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica n. 127 del 28 giugno 2024 recante "Regolamento recante disciplina della cessazione della qualifica di rifiuto dei rifiuti inerti da costruzione e demolizione, altri rifiuti inerti di origine minerale, ai sensi dell'articolo 184-ter, comma 2, del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152/2006

Aggregati

- UNI EN 11531-1 - Costruzione e manutenzione delle opere civili delle infrastrutture - Criteri per l'impiego dei materiali - Parte 1: Terre e miscele di aggregati non legati.
- UNI EN 13242 - Aggregati per materiali non legati e legati con leganti idraulici per l'impiego in opere di ingegneria civile e nella costruzione di strade
- UNI/TS 11688 – Criteri di qualificazione e impiego del conglomerato bituminoso di recupero proveniente dalla rimozione di pavimentazioni esistenti
- UNI EN 13285 - Miscele non legate – Specifiche
- UNI EN 13055 - Aggregati leggeri
- UNI EN 15732 - Isolamento termico e prodotti leggeri di riempimento per applicazioni di ingegneria civile (CEA) - Prodotti di aggregati leggeri di argilla espansa (LWA)
- UNI EN 932-3 - Metodi di prova per determinare le proprietà generali degli aggregati - Procedura e terminologia per la descrizione petrografica semplificata
- UNI EN 933-1, Prove per determinare le caratteristiche geometriche degli aggregati - Parte 1: Determinazione della distribuzione granulometrica - Analisi granulometrica per setacciatura

- UNI EN 933-2, Prove per determinare le caratteristiche geometriche degli aggregati - Parte 2: Determinazione della distribuzione granulometrica - Setacci di controllo, dimensioni nominali delle aperture
- UNI EN 933-3 – Prove per determinare le caratteristiche geometriche degli aggregati – Parte 3: Determinazione della forma dei granuli – Indice di appiattimento
- UNI EN 933-8 - Prove per determinare le caratteristiche geometriche degli aggregati - Parte 8: Valutazione dei fini - Prova dell'equivalente in sabbia
- UNI EN 933-11 - Prove per determinare le caratteristiche geometriche degli aggregati - Parte 11: Prova di classificazione per i costituenti degli aggregati grossi riciclati
- UNI EN 1097-2 - Prove per determinare le proprietà meccaniche e fisiche degli aggregati - Parte 2: Metodi per la determinazione della resistenza alla frammentazione
- UNI EN 1097-3 - Prove per determinare le proprietà meccaniche e fisiche degli aggregati - Determinazione della massa volumica in mucchio e dei vuoti intergranulari
- UNI EN 1097-5, Prove per determinare le proprietà meccaniche e fisiche degli aggregati - Parte 5: Determinazione del contenuto d'acqua per essiccazione in forno ventilato
- UNI EN 1097-6, Prove per determinare le proprietà meccaniche e fisiche degli aggregati - Parte 6: Determinazione della massa volumica dei granuli e dell'assorbimento d'acqua
- UNI EN 1744-1 - Prove per determinare le proprietà chimiche degli aggregati - Parte 1: Analisi chimica

Geotessili e geosintetici

- UNI EN 12224 – Geotessili e prodotti affini – Determinazione della resistenza agli agenti atmosferici
- UNI EN 12225 - Geotessili e prodotti affini - Metodo per la determinazione della resistenza microbiologica mediante prova di interramento
- UNI EN ISO 12956 - Geotessili e prodotti affini - Determinazione della dimensione di apertura (opening size) caratteristica.
- UNI EN 13249: Geotessili e prodotti affini - Caratteristiche richieste per l'impiego nella costruzione di strade e di altre aree soggette a traffico (escluse le ferrovie e l'inclusione nelle pavimentazioni bituminose)
- UNI EN 13251: Geotessili e prodotti affini - Caratteristiche richieste per l'impiego nelle costruzioni di terra, nelle fondazioni e nelle strutture di sostegno.
- UNI EN ISO 10319 - Geosintetici - Prova di trazione a banda larga
- UNI EN ISO 10320 - Geosintetici - Identificazione in sito
- UNI EN ISO 11058 - Geotessili e prodotti affini - Determinazione delle caratteristiche di permeabilità all'acqua perpendicolare al piano, senza carico
- UNI EN ISO 12236 – Geosintetici – Prova di punzonamento statico (metodo CBR)
- UNI EN ISO 13433 - Geosintetici - Prova di punzonamento dinamico (prova di caduta del cono)

Leganti idraulici e acqua

- UNI EN 197-1 - Cemento - Parte 1: Composizione, specificazioni e criteri di conformità per cementi comuni

- UNI EN 13282-1 - Leganti idraulici per impieghi stradali - Parte 1: Leganti idraulici per impieghi stradali a indurimento rapido - Composizione, specifiche e criteri di conformità
- UNI EN 459-1 Calci da costruzione - Parte 1: Definizioni, specifiche e criteri di conformità
- UNI EN 459-2 Calci da costruzione - Parte 2: Metodi di prova
- CNR-B.U. n. 36 - Stabilizzazione delle terre con calce
- R.D. n. 2231/1939 "Norme sull'accettazione delle calci".
- UNI EN 1008 - Acqua d'impasto per il calcestruzzo - Specifiche di campionamento, di prova e di valutazione dell'idoneità dell'acqua, incluse le acque di ricupero dei processi dell'industria del calcestruzzo, come acqua d'impasto del calcestruzzo

Miscele non legate o legate con leganti idraulici

- UNI EN 13286-1: Miscele legate o non legate con leganti idraulici - Parte 1: metodi di prova della massa volumetrica e del contenuto di acqua di riferimento di laboratorio - Introduzione, requisiti generali e campionamento
- UNI EN 13286-2: Miscele legate o non legate con leganti idraulici - Parte 2: metodi di prova della massa volumica e del contenuto di acqua di riferimento di laboratorio – Costipamento Proctor
- UNI EN 13286-41, Miscele non legate e legate con leganti idraulici - Parte 41: Metodo di prova per la determinazione della resistenza a compressione di miscele legate con leganti idraulici
- UNI EN 13286-46, Miscele non legate e legate con leganti idraulici – Parte 46: Metodi di prova per la determinazione della costipabilità mediante MCV
- UNI EN 13286-47, Miscele non legate e legate con leganti idraulici - Parte 47: Metodo di prova per la determinazione dell'indice di portanza CBR, dell'indice di portanza immediata e del rigonfiamento

Prove in sito

- CNR BU n. 22 Peso specifico apparente in sito
- CNR B.U. n. 146 -Determinazione dei moduli di deformazione Md e M'd mediante prova di carico a doppio ciclo con piastra circolare

Terre e terreni

- UNI 11531-1 - Costruzione e manutenzione delle opere civili delle infrastrutture - Criteri per l'impiego dei materiali - Parte 1: Terre e miscele di aggregati non legati
- UNI EN 14475 - Esecuzione di lavori geotecnici speciali - Terra rinforzata
- UNI EN ISO 17892-1 - Indagini e prove geotecniche - Prove di laboratorio sui terreni - Parte 1: Determinazione del contenuto in acqua
- UNI EN ISO 17892-12 - Indagini e prove geotecniche - Prove di laboratorio sui terreni - Parte 12: Determinazione dei limiti liquidi e plastici
- UNI EN ISO 14688-1: Indagini e prove geotecniche - Identificazione e classificazione dei terreni - Parte 1: Identificazione e descrizione
- UNI EN ISO 14688-2: Indagini e prove geotecniche - Identificazione e classificazione dei terreni - Parte 2: Principi per una classificazione
- UNI EN 14227-15 – Miscele legate con leganti idraulici – specifiche – Parte 15: Terreno stabilizzato con legante idraulico

- CNR BU n. 69 Prova di costipamento di una terra
- AASHTO T/180: 2004 Moisture-density relations of soil using 4.54 kg (10 lb) rammer and 457 mm (18 inch) drop
- UNI EN 12457-2 - Caratterizzazione dei rifiuti - Lisciviazione - Prova di conformità per la lisciviazione di rifiuti granulari e di fanghi - Parte 2: Prova a singolo stadio, con un rapporto liquido/solido di 10 l/kg, per materiali con particelle di dimensioni minori di 4 mm (con o senza riduzione delle dimensioni).

3.3 Criteri per l'utilizzo dei materiali

In ottemperanza al Decreto CAM Strade aggiornato, il volume di bonifica per la posa del rilevato, il corpo del rilevato e il sottofondo dovranno essere costituiti per almeno il 70% in peso (secco su secco del prodotto finito) da prodotti da costruzione di origine riciclata recuperata o sottoprodotti (RRS). Pertanto, per la realizzazione del rilevato, l'Appaltatore dovrà seguire le indicazioni relative all'impiego dei materiali RRS contenute all'interno del progetto esecutivo o comunque in questo articolo di Capitolato.

Resta inteso che tutti i materiali da impiegare potranno essere messi in opera unicamente a seguito della necessaria comprovata conformità ambientale ai sensi della normativa vigente. Tale conformità dovrà essere attestata attraverso i mezzi di prova previsti.

3.3.1 Materiali ammessi

I materiali di tipo RRS ammessi nella costruzione dei rilevati sono le terre e rocce da scavo, le terre di recupero, gli aggregati riciclati derivanti da attività di costruzione e demolizione (C&D) e gli aggregati derivanti dal conglomerato bituminoso di recupero (o fresato). Oltre a questi, potranno essere utilizzati materiali naturali di primo impiego (terre e aggregati da cava) in percentuale massima pari a quella indicata in progetto o comunque non superiore al 30% in peso del materiale complessivo da mettere in opera.

- **Materiali naturali**
  - I requisiti di idoneità tecnica per l'utilizzo di ***aggregati naturali*** vengono riportati nella UNI EN 11531- Prospetti 3a (strato anticapillare) e 3b (corpo del rilevato e sottofondo).
- **Materiali sottoprodotti**
  - **Le *terre e rocce da scavo:*** possono essere riutilizzate come sottoprodotti o nello stesso sito, ai sensi del DPR 120/2017. La loro gestione ambientale e il riutilizzo avvengono secondo quanto riportato nel Capitolato Ambientale e nel Piano di Gestione Terre.
- **Materiali riciclati e recuperati**
  - **Le *terre di recupero:*** si annoverano tra i materiali riciclati una volta applicata la cessazione della qualifica di rifiuto ai sensi dell'art. 184-ter e del DM 127/2024.
  - **Gli *aggregati da C&D:*** vengono classificati, a valle della cessazione della qualifica di rifiuto ai sensi dell'art. 184-ter del D.lgs. 52/2006 e del DM 127/2024, come aggregati riciclati. Stessa definizione viene adottata in via tecnica dalla UNI EN 13242. Come già previsto nel DM 127/2024 (secondo cui viene determinata la cessazione della qualifica di rifiuto), l'idoneità tecnica dovrà essere determinata

secondo i requisiti della UNI EN 11531- Prospetti 4a (strato anticapillare) e 4b (corpo del rilevato e sottofondo).

- Per quanto riguarda ***il conglomerato bituminoso di recupero (o fresato):*** la cessazione della qualifica di rifiuto - con obiettivo di successivo reimpiego in strati di fondazione non legati - può avvenire sia attraverso l'applicazione del DM 69/2018 che del DM 127/2024. In entrambi i casi, a valle dell'avvenuta cessazione della qualifica di rifiuto, l'aggregato viene classificato come riciclato (tale definizione viene mantenuta anche in via tecnica dalla UNI 13242).

  Indipendentemente dal DM utilizzato per l'*end of waste*, i requisiti di idoneità tecnica per l'utilizzo di aggregati riciclati da CB di recupero sono quelli riportati nella UNI EN 11531- Prospetti 4a (strato anticapillare) e 4b (corpo del rilevato e sottofondo).

I requisiti tecnici per l'utilizzo delle *terre* nei rilevati stradali e autostradali vengono riportati al § 3.3.4 di questo articolo di Capitolato.

Le prove di caratterizzazione condotte sia sull'aggregato grosso che sul fine del conglomerato bituminoso di recupero dovranno essere condotte sul materiale inalterato, ossia senza effettuare alcuna estrazione di bitume (sulla "curva nera"). Si precisa che, quando viene sottoposto alle prove di qualifica previste all'interno di tale norma, l'aggregato derivante dal riciclo di conglomerati bituminoso non deve essere riscaldato oltre 50 °C. Ciò comporta un prolungamento dei tempi di essicazione previsti dalle norme per il raggiungimento della massa costante.

Previo utilizzo, il CB di recupero dovrà essere soggetto a operazioni meccanica di frantumazione, granulazione e vagliatura. In entrambi i casi, è ammesso l'impiego di materiale interamente passante al setaccio 31,5 mm (U 31,5).

Tutte le operazioni/lavorazioni, gli atti amministrativi, le autorizzazioni necessarie per la cessazione di stato di rifiuto e successivo riutilizzo, dell'aggregato derivante da operazioni di costruzione e demolizione e del conglomerato bituminoso di recupero sono ad onere esclusivo dell'Appaltatore.

L'Appaltatore, a suo onere, avrà la facoltà di proporre alla Direzione Lavori l'utilizzo di ulteriori tipologie di materiale di tipo RRS di comprovata idoneità ambientale e tecnica secondo i requisiti riportati in questo articolo di Capitolato. L'idoneità tecnica dovrà essere comprovata da un campo prova eseguito a onere e spese dell'Appaltatore con la supervisione della D.L.

La Direzione Lavori a suo insindacabile giudizio potrà approvare o meno l'utilizzo del materiale.

3.3.2 Modalità di impiego dei materiali in conformità al DM CAM

L'impiego dei materiali ammessi dovrà avvenire tenendo in considerazione le seguenti prescrizioni.

a) Il materiale naturale di primo impiego potrà essere utilizzato sia in frazione unica (messo in opera in strati realizzati al 100% da materiale vergine), che come frazione da integrazione (messo in opera in strati realizzati con miscele costituite da materiali di diversa origine).
b) Le *terre e rocce da scavo* (utilizzabili ai sensi del DPR 120/17) e le *terre di recupero* potranno essere impiegate in frazione unica, miscelate tra loro, oppure integrate con materiale naturale di primo impiego nel rispetto dei limiti previsti in progetto. La miscelazione tra terre di diversa provenienza è consentita unicamente nel rispetto della conformità alla normativa ambientale vigente. In ogni caso, l'impiego di tali materiali dovrà rispettare quanto previsto nei piani di gestione terre e nei capitolati ambientali

c) Gli *aggregati riciclati da C&D* potranno essere impiegati sia in frazione unica che miscelati con aggregato naturale di primo impiego o con *aggregato riciclato da conglomerato bituminoso* di recupero. La miscelazione di aggregati con diversa provenienza è consentita unicamente nel rispetto della conformità alla normativa ambientale vigente. In aggiunta, per quanto riguarda la miscelazione con aggregato riciclato da CB di recupero valgono le prescrizioni riportate al successivo punto (d).
d) Il conglomerato bituminoso di recupero non potrà in alcun caso essere impiegato come frazione unica nella realizzazione di strati. Esso potrà essere unicamente impiegato come frazione di una miscela in percentuale massima complessiva del 40% in peso di quest'ultima. Tale miscela potrà essere composta utilizzando aggregati riciclati da C&D, aggregati naturali, o una combinazione di essi nel rispetto dei quantitativi massimi di impiego previsti in progetto. Qualora il CB di recupero venga mescolato con aggregato da C&D già contente materiale bituminoso, il quantitativo complessivo di conglomerato bituminoso nella miscela non potrà in alcun caso superare il 40% del peso definito secco su secco. La miscelazione tra aggregati di diversa provenienza potrà avvenire unicamente nel rispetto della conformità alla normativa ambientale vigente.

L'Appaltatore dovrà sottoporre alla Direzione Lavori un *method statement* che comprenda l'esecuzione di campi prova (come richiesto nel § 3.4.2.1) nel quale descrive le modalità di posa in opera e compattazione degli strati che contengono materia RRS. La Direzione Lavori potrà, a suo insindacabile giudizio, accettare quanto presentato o richiederne una modifica.

3.3.2.1 Rendicontazione dei materiali impiegati

Il controllo sul quantitativo di materia RRS impiegata nella realizzazione del rilevato avverrà per stati di avanzamento lavori o intervalli temporali stabiliti tra l'Appaltatore e la Direzione Lavori. Ad ogni stato di avanzamento (o intervallo temporale) l'Appaltatore sottoporrà alla Direzione Lavori una relazione di verifica contenente i seguenti parametri:

1. Il peso totale di materiale messo in opera
2. Il peso totale di materiale naturale di primo impiego messo in opera
3. Il peso di materiale RRS messo in opera
4. Il rapporto tra il peso delle materie RRS e il peso totale.

Qualora il quantitativo di materia RRS dovesse risultare non conforme a quanto previsto in progetto o a quanto previsto dal DM CAM, la Direzione Lavori potrà richiedere all'Appaltatore una revisione del programma lavori tale da portare al raggiungimento del quantitativo di materia previsto.

Al fine di garantire la corretta rendicontazione della materia RRS utilizzata, l'approvvigionamento e la movimentazione di tutti i materiali che andranno a costituire il rilevato dovranno essere condotti in maniera tale da consentire la definizione della percentuale in peso tra materia RRS impiegata rispetto al totale di materiale messo in opera.

Pertanto, si riportano alcune raccomandazioni operative.

- Il Documento di Traporto di ciascun camion in ingresso in cantiere dovrà contenere, oltre al peso complessivo del carico, il peso di ciascun materiale costituente il carico in ingresso. Di conseguenza, si raccomanda di condurre il caricamento dei camion attraverso macchine per movimentazione terre dotate di idonei sistemi di pesatura.
- Laddove gli spazi di lavoro lo consentano, ogni movimentazione di materiale effettuata internamente al cantiere che porti alla formazione di un cumulo (o comunque di un lotto) di

materiale da mettere in opera, dovrà essere preferibilmente condotta da macchine per movimentazione terre dotate di idoneo sistema di pesatura in grado di registrare il peso di ciascun materiale costituente il cumulo (o lotto). Per ciascun cumulo (o lotto), predisposto secondo quanto indicato ai punti sopra, dovrà essere prodotto un documento che ne attesti la composizione in peso.

- Le miscele di aggregati descritte ai punti di cui sopra (a, c, d) potranno essere confezionate in impianti di produzione analoghi a quelli utilizzati per le fondazioni in misto granulare (art. 29) localizzati sia internamente che esternamente al cantiere. Tali miscele potranno altresì essere composte attraverso l'impiego di pale caricatrici dotate di sistema di pesatura. Anche in questo caso dovrà essere reso disponibile un documento che attesti la composizione in peso della miscela di aggregati.

Ad ogni modo, l'Appaltatore dovrà adottare ogni tipo di modalità operativa, adattata al tipo di opera e alle dimensioni e caratteristiche morfologiche del cantiere, che assicuri la posa in opera del quantitativo di materia RRS previsto in progetto.

3.3.3 Criteri di accettazione dei materiali

I materiali di provenienza esterna dal cantiere o che l'Appaltatore approvvigionerà da terzi dovranno essere qualificati in conformità al Regolamento UE n°305/2011 sui prodotti da costruzione.

Per quanto riguarda la gestione delle terre e rocce da scavo, si rimanda a quanto previsto all'interno del Capitolato Ambientale e al Piano di Gestione Terre. Per ciò che concerne la loro idoneità tecnica, l'Appaltatore dovrà produrre, a suo onere, una relazione tecnica conforme alla UNI EN 13242 corredata da prove di laboratorio nella quale venga documentato il rispetto dei requisiti di questo articolo di Capitolato.

Per quanto riguarda aggregati e terre – da impiegare nel rilevato – derivanti da attività di recupero attivate internamente al cantiere, l'Appaltatore dovrà produrre a suo onere idonea documentazione che ne attesti la conformità ambientale e l'idoneità tecnica ai sensi di quanto previsto in questo articolo di Capitolato (in conformità alla UNI EN 13242 e corredata da prove di laboratorio).

Indipendentemente dalle modalità di impiego (in frazione unica o miscelate), ogni fornitura di materiali in ingresso in cantiere (aggregato o terra naturale, aggregato riciclato da C&D, di aggregato riciclato da CB di recupero, e di terra riciclata) dovrà essere corredata da marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA della UNI EN 13242 con sistema di attestazione di conformità 2+ inclusa di Dichiarazione di Prestazione (DoP).

La certificazione CE e la DoP dovranno essere consegnati alla Direzione Lavori prima dell'inizio all'inizio dei lavori e ad ogni cambio di lotto di materiale. Ad ogni modo, la Direzione Lavori ha la facoltà di richiedere tale documentazione in ogni fase delle lavorazioni.

Tale documentazione dovrà essere consegnata alla Direzione Lavori prima dell'inizio dei lavori e ad ogni cambio di lotto di materiale. Ad ogni modo, la Direzione Lavori ha la facoltà di richiedere tale documentazione in ogni fase delle lavorazioni.

3.3.4 Rilevati stradali e autostradali

3.3.4.1 Strato anticapillare

Lo strato anticapillare dovrà avere uno spessore compreso tra 30 e 50 cm costituito da materiale granulare permeabile protetto da geotessile (vedere 3.3.9 per le caratteristiche del geotessile) qualora previsto negli elaborati progettuali o qualora gli strati di rilevato siano costituiti da terre appartenenti ai gruppi A2-6, A2-7.
Lo strato anticapillare sarà composto da aggregati aventi granulometria uniforme con rapporto ($D_{60}/D_{10}\leq 7$), con passante al setaccio da 2 mm non superiore al 15% in peso e con un passante al setaccio 0,063 mm non superiore al 3%, equivalente in sabbia SE non minore del 70%, resistenza alla frammentazione LA non maggiore del 40% e assenza di fenomeni di degradazione SB_{LA}.
Nella realizzazione dello strato anticapillare dovranno essere altresì considerate le prescrizioni riportate al paragrafo 3.3. In ogni caso il materiale utilizzato per lo strato di anticapillare dovrà risultare esente da componenti instabili (gelivi, solubili, ecc.) e da resti vegetali.

3.3.4.2 Corpo del rilevato

Nella formazione del corpo del rilevato devono essere utilizzate, in ordine di priorità, le terre dei gruppi A1, A3 se necessario confinate, A2-4, A2-5 e A4 con indice di gruppo 0.
Possono, in aggiunta a quanto sopra, essere impiegate tal quali terre appartenenti ai gruppi A2-6, A2-7 con indice di gruppo 0, se previsto nel Progetto limitatamente alla parte bassa del rilevato, a distanza di almeno 2 m dal piano di appoggio della sovrastruttura stradale, previa predisposizione, al di sotto, di uno strato anticapillare di spessore non minore di 30 cm. Al posto delle terre appartenenti ai gruppi A2-6, A2-7 con indice di gruppo di 0 possono essere utilizzate tal quali quelle con indice di gruppo maggiore di 0 solo a seguito di verifiche sperimentali o campo prove volte a determinare il grado di densità e la percentuale di umidità secondo cui costipare i rilevati. Quanto sopra allo scopo di contenere entro limiti minimi fenomeni di ritiro e di rigonfiamento dei materiali. In ogni caso lo spessore degli strati sciolti, prima della compattazione, non dovrà superare 30 cm ed il materiale dovrà essere convenientemente disaggregato.
Le terre appartenenti ai gruppi A2-6, A2-7, possono essere utilizzate anche stabilizzate a calce, secondo le modalità di cui al § 3.8, senza la limitazione di impiego nella parte bassa del rilevato.
Per il corpo del rilevato occorre che il materiale impiegato sia tutto passante al setaccio 125 mm e il trattenuto al setaccio 63 mm non deve essere maggiore del 15%.
In ogni caso il rapporto tra il passante al setaccio D_{60} ed il passante al setaccio D_{10} dovrà essere maggiore di 15 mentre nel caso di aggregati del gruppo A3 il rapporto D_{60}/D_{10} dovrà risultare almeno superiore a 7.
Quando l'umidità della terra è tale da non consentire il costipamento necessario a raggiungere l'addensamento e la portata richiesti dal progetto, devono essere messi in atto provvedimenti correttivi per modificare convenientemente il contenuto d'acqua naturale (lasciare asciugare il materiale o bagnarlo) e/o, a seconda dei casi, deve procedersi a trattamento a calce della terra secondo le modalità definite nel § 3.8.
Qualora le prescrizioni dei Capitolati Speciali delle Amministrazioni Locali sanciscano parametri meno prestazionali di quelli indicati nel presente articolo, eventuali deroghe possono essere concesse dalla Direzione Lavori, alla luce delle caratteristiche della viabilità interferita o compensativa, sentito comunque il Parere degli Organi Tecnici delle Amministrazioni interessate.
Nel caso in cui il progetto preveda il ricorso a terreni trattati a calce o cemento per la realizzazione dell'ultimo strato del rilevato dovrà essere condotto un campo prove volto a definire le idonee

percentuali di dosaggio di miscelazione di calce e/o cemento e la tecnologia di miscelazione (vedi §3.8).
Nella realizzazione del corpo del rilevato dovranno essere altresì considerate le prescrizioni riportate al paragrafo 3.3.

3.3.4.3 Sottofondo

Il sottofondo dovrà essere costituito, in ordine di priorità, con le terre dei gruppi A1, A2-4 e A2-5, A3 con coefficiente di uniformità (D_{60}/D_{10}) maggiore di 7, purchè:

- Non vi siano granuli di dimensioni > 63 mm;
- Il passante a 0,063 mm sia ≤ 15%;
- L'indice di plasticità sia ≤ 6, meglio se non plastico;
- Il passante al setaccio da 16 mm sia almeno del 50%;
- L'indice di portanza CBR (UNI EN 13286-47) dopo 4 giorni di immersione in acqua sia almeno maggiore del 10% su provini costipati, con umidità ±2% dell'ottimo, al 95% della massa volumica massima all'energia Proctor modificata (UNI EN 13286-2);
- Durante l'immersione il rigonfiamento non ecceda l'1% (UNI EN 13286-47).

Per ottenere migliori proprietà meccaniche si prescrive l'impiego di assortimenti ben graduati (curve granulometriche continue).
Qualora in trincea sia presente roccia compatta o poco fratturata o un terreno classificabile nei gruppi sopra citati, anche se con dimensione massima maggiore di 63 mm e la portanza del sottofondo sia ritenuta adeguata, è sufficiente procedere al solo agguagliamento delle asperità per consentire le lavorazioni per la costruzione della sovrastruttura stradale.
Nella realizzazione del sottofondo del rilevato stradale dovranno essere altresì considerate le prescrizioni riportate al paragrafo 3.3.

3.3.5 Rilevati con argilla espansa e misto stabilizzato granulometricamente

3.3.5.1 Descrizione e campo di applicazione

L'utilizzo principale dei rilevati con materiali alleggeriti trova applicazione quando i terreni sotto al piano di posa sono carattarezzati da scadenti proprietà meccaniche ad elevata deformabilità in grado di manifestare cedimenti fortemente differiti nel tempo. La notevole riduzione di peso di materiale alleggerito rispetto ad aggregati di cui al § 3.3.2, permette di evitare in parte o totalmente interventi di stabilizzazione del piano di posa del rilevato.
L'aggregato leggero utilizzato deve essere argilla espansa ottenuta mediante un processo termico di "clinkerizzazione" a partire da argille naturali oppure da inerti equivalenti dal punto di vista delle prestazioni di cui al successivo § 3.3.3.2.

3.3.5.2 Argilla espansa

L'argilla espansa utilizzata nei rilevati dovrà possedere marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA della norma europea armonizzata UNI EN 15732 oppure alla UNI EN 13055 con sistema di attestazione di conformità 2+ o superiore e dichiarazione di prestazione DoP.
L'aggregato in opera dovrà risponderà alle caratteristiche seguenti:

a) Designazione (d/D) dell'aggregato: 0/25, tolleranza G_A85
b) massa volumica in mucchio (UNI EN 1097-3) del materiale con la granulometria di cui al precedente punto a) = 390 ± 15% kg/mc;
c) compressibilità e resistenza alla compressione triassiale (UNI EN 1097-11): ≥ 1,5 MPa;

d) assorbimento di acqua a 24 ore (UNI EN 1097-6): ≤ 25 %;
e) resistenza al fuoco: classe A1 (non combustibile).

3.3.5.3 Misto stabilizzato granulometricamente

Il materiale componente i vari strati di misto stabilizzato granulometricamente deve essere appartenente ai gruppi A1-a e A3 con le prescrizioni di cui al § 3.3.2 valide per il sottofondo, per spessore di applicazione genericamente compreso tra 20 e 30 cm secondo le indicazioni progettuali.
Per quanto attiene al contenuto di materiale riciclato si rimanda a quanto prescritto nell'art. 29 del presente CSA.
Per quanto attiene alla marcatura CE si rimanda a quanto disciplinato al §3.3.2.

3.3.5.4 Geotessile non tessuto di separazione

Si rimanda a quanto disciplinato al § 3.3.7.

3.3.5.5 Specifiche di portanza e costipamento

I valori di portanza sul piano di posa della sovrastruttura devono rispettare i limti di cui al § 3.3.12 mentre, per i singoli strati, la verifica della portanza non potrà essere effettuata direttamente sullo strato di argilla espansa ma sugli strati di misto stabilizzato intermedi sempre nel rispetto dei limiti di cui al § 3.3.12.
Non sono previste prescrizioni per il costipamento degli strati di argilla espansa mentre per quelli di misto stabilizzato valgono quelle per l'ultimo strato del rilevato indicate al § 3.3.13

3.3.6 Rilevati con sola argilla espansa

3.3.6.1 Descrizione e campo di applicazione

L'utilizzo principale dei rilevati con materiali alleggeriti trova applicazione quando i terreni sotto al piano di posa sono carattarezzati da scadenti proprietà meccaniche ad elevata deformabilità in grado di manifestare cedimenti fortemente differiti nel tempo. La notevole riduzione di peso di materiale alleggerito rispetto ad aggregati di cui al § 3.3.2, permette di evitare in parte o totalmente interventi di stabilizzazione del piano di posa del rilevato.
L'aggregato leggero utilizzato deve essere argilla espansa ottenuta mediante un processo termico di "clinkerizzazione" a partire da argille naturali oppure da inerti equivalenti dal punto di vista delle prestazioni di cui al successivo § 3.3.4.2.

3.3.6.2 Argilla espansa

L'argilla espansa utilizzata nei rilevati dovrà possedere marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA della norma europea armonizzata UNI EN 15732 oppure alla UNI EN 13055 con sistema di attestazione di conformità 2+ o superiore e dichiarazione di prestazione DoP.
L'aggregato in opera dovrà risponderà alle caratteristiche seguenti:

a) Designazione (d/D) dell'aggregato e tolleranza: sono ammessi le seguenti due tipologie:
   - 4/10, G_C 85-15;
   - 8/20, G_C 85-15;
b) massa volumica in mucchio (UNI EN 1097-3) del materiale con la granulometria di cui al precedente punto a):
   - con fuso 4/10 = 350 ± 15% kg/mc

- con fuso 8/20 = 320 ± 15% kg/mc;

c) compressibilità e resistenza alla compressione triassiale (UNI EN 1097-11):
   - con fuso 4/10 = 2 MPa
   - con fuso 8/20 = 1 MPa;

d) assorbimento di acqua a 24 ore (UNI EN 1097-6):
   - con fuso 4/10 = ≤ 20 %
   - con fuso 8/20 = ≤ 25 %;

e) resistenza al fuoco: classe A1 (non combustibile);

3.3.6.3 Ultimo strato

Il materiale componente l'ultimo strato al di sopra del quale viene posizionato il pacchetto di pavimentazione deve essere composto da misto stabilizzato granulometricamente appartenente ai gruppi A1-a e A3 con le prescrizioni di cui al § 3.3.2 valide per il sottofondo, per spessore di applicazione indicativamente pari a 40 cm o secondo le indicazioni progettuali. Per quanto attiene alla marcatura CE si rimanda a quanto disciplinato al § 3.3.2.

3.3.6.4 Geotessile non tessuto di separazione

Si rimanda a quanto disciplinato al § 3.3.9.

3.3.6.5 Specifiche di portanza e costipamento

I valori di portanza sul piano di posa della sovrastruttura devono rispettare i limti di cui al § 3.3.12 mentre non si applica allo strato di argilla espansa.
Non sono previste prescrizioni per il costipamento degli strati di argilla espansa mentre per quelli di misto stabilizzato valgono quelle per l'ultimo strato del rilevato indicate al § 3.3.13

3.3.7 Rilevati/riempimenti in argilla espansa cementata

3.3.7.1 Descrizione e campo di applicazione

Per particolari necessità di rigidezza del rilevato, per problematiche legate al contenimento dello stesso o comunque per specifiche esigenze progettuali è possibile realizzare rilevati con aggregati alleggeriti di argilla espansa cementata oppure da inerti equivalenti dal punto di vista delle prestazioni di cui al successivo § 3.3.5.2.

3.3.7.2 Argilla espansa

L'argilla espansa utilizzata nei rilevati dovrà possedere marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA della norma europea armonizzata UNI EN 15732 oppure alla UNI EN 13055 con sistema di attestazione di conformità 2+ o superiore e dichiarazione di prestazione DoP.
L'aggregato da miscelare con cemento e acqua dovrà risponderà alle caratteristiche seguenti:

a) Designazione (d/D) dell'aggregato e tolleranza: sono ammessi le seguenti due tipologie:
   - 4/10, G_C 85-15;
   - 8/20, G_C 85-15;

b) massa volumica in mucchio (UNI EN 1097-3) del materiale con la granulometria di cui al precedente punto a):
   - con fuso 4/10 = 350 ± 15% kg/mc
   - con fuso 8/20 = 320 ± 15% kg/mc;

c) compressibilità e resistenza alla compressione triassiale (UNI EN 1097-11):
   - con fuso 4/10 = 2 MPa
   - con fuso 8/20 = 1 MPa;

d) assorbimento di acqua a 24 ore (UNI EN 1097-6):
   - con fuso 4/10 = ≤ 5 %
   - con fuso 8/20 = ≤ 5 %;

e) resistenza al fuoco: classe A1 (non combustibile);

3.3.7.3 Legante

I cementi impiegati dovranno essere qualificati in conformità al Regolamento UE n°305/2011 sui prodotti da costruzione. Ogni fornitura dovrà essere accompagnata dalla marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA della norma europea armonizzata UNI EN 197-1 con sistema di attestazione di conformità 1+. Si prescrive l'uso di cementi a presa lenta e classe di resistenza 32,5N. Può essere utilizzato, ove siano rispettati tutti i requisiti prestazionali del presente articolo di capitolato, un legante idraulico per strade della classe E4 o superiore con marcatura CE conforme alla UNI EN 13282-1 con sistema di attestazione di conformità 2+.
A titolo indicativo la quantità di cemento deve essere compresa tra 150 e 200 kg/mc per mc di aggregato asciutto.

3.3.7.4 Acqua

Per la produzione delle miscele dovranno essere impiegate i seguenti tipi di acqua conformi alla Norma UNI EN 1008.

Indicativamente il rapporto acqua cemento nelle miscele deve essere compreso tra 0,4 e 0,6.

3.3.7.5 Caratteristiche della miscela

Alla miscela è richiesto il soddisfacimento dei requisiti di seguente elencati:

- Densità (norma CNR 22): 500-600 kg/mc di miscela secca (600-700 kg/mc di miscela umida);
- Resistenza a compressione a 7 giorni:
  - con fuso 4/10 ≥ 2 MPa
  - con fuso 8/20 ≥ 1 MPa
- Classe di consistenza fresco: terra umida/plastica (classe di consistenza di riferimento S1/S2)
- I valori di portanza sul piano di posa della sovrastruttura devono rispettare i limti di cui al § 3.3.12

L'Appaltatore dovrà altresì determinazione il periodo di lavorabilità della miscela alla temperatura massima a cui prevede di stendere e compattare la stessa e comunque non superiore a 35°. Tale periodo deve essere compatibile con il tempo di fine miscelazione all'impianto, trasporto al cantiere e completamento delle lavorazioni di stesa e compattazione.

3.3.7.6 Formazione e confezione della miscela

Le miscele saranno confezionate in impianti automatizzati fissi o mobili, di idonee caratteristiche, mantenuti sempre perfettamente funzionanti in ogni loro parte e dotati di produzione dotati di un controllo di produzione FPC. Gli impianti devono comunque garantire uniformità di produzione ed essere in grado di realizzare miscele del tutto rispondenti a quelle di Progetto. Detti impianti devono essere autorizzati rispetto alla legislazione vigente nel caso di trattamenti che utilizzano rifiuti per la produzione di aggregati artificiali e/o riciclati.

3.3.8 Misto cementato a ridosso di manufatti

A ridosso di murature di manufatti disposti in direzione trasversale al rilevato si dovrà eseguire la stesa di misto cementato per rendere più graduale il passaggio di rigidezza tra rilevato corrente ed opera d'arte.

3.3.8.1 Aggregato

Gli aggregati impiegati dovranno possedere la marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA della norma europea armonizzata UNI EN 13242 con sistema di attestazione di conformità 2+ e dichiarazione di prestazione DoP.
L'aggregato naturale in opera sarà rispondente alle norme CNR BU n° 29 con fuso di tipo A1 di cui alla seguente tabella.

Crivelli e setacci UNI	Passante totale in peso %
Crivello 40	100
Crivello 25	65-100
Crivello 15	45-70
Crivello 10	35-60
Crivello 5	23-45
Setaccio 2	14-30
Setaccio 0,4	6-14
Setaccio 0,18	2-7

Il materiale dovrà iniltre rispettare i seguenti requisiti:

Caratteristica	**Norma di prova**	**Requisito**
Resistenza alla frammentazione	UNI EN 1097-2	LA_{45}
Valutazione del fine, equivalente in sabbia	UNI EN 933-8	SE_{35}
Indice di plasticità	UNI EN ISO 17892-12	Non plastico

Nel rispetto dei requisiti di cui sopra sarà possibile impiegare aggregati di origine riciclata avente le seguenti caratteristiche:

Caratteristica	**Norma di prova**	**Requisito**
Solfato solubile in acido	UNI EN 1744-1	$AS_{0,8}$
Zolfo totale	UNI EN 1744-1	S_1
Solfato idrosolubile	UNI EN 1744-1	$SS_{0,7}$
Contenuto di calcestruzzo, prodotti di calcestruzzo, elementi di muratura di cls, aggregato non legato, pietra naturale, aggregato legato idraulicamente, vetro.	UNI EN 933-11	$Rcug_{70}$
Contenuto di materiali bituminosi	UNI EN 933-11	Ra_{30-}
Contenuto di elementi di muratura di argilla (mattoni e piastrelle), elementi di muratura di silicato di calcio, cls aerato non flottante	UNI EN 933-11	Rb_{10-}

Contenuto di vetro	UNI EN 933-11	Rg_{2-}
Contenuto di materiale flottante	UNI EN 933-11	FL_{5-}
Contenuto di materiale coesivo (argilla e terra), metalli (ferrosi e non ferrosi), legno non flottante, plastica e gomma, malta e gesso	UNI EN 933-11	X_{1-}
Test di cessione	UNI EN 12457-2	Conforme ai valori dell'Allegato n. 3 D.M. 05/02/1998 (vedi § 3.3.2)

3.3.8.2 Legante

I cementi impiegati dovranno essere qualificati in conformità al Regolamento UE n°305/2011 sui prodotti da costruzione. Ogni fornitura dovrà essere accompagnata dalla marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA della norma europea armonizzata UNI EN 197-1 con sistema di attestazione di conformità 1+. Si prescrive l'uso di cementi a presa lenta e classe di resistenza 32,5N. Può essere utilizzato, ove siano rispettati tutti i requisiti prestazionali del presente articolo di capitolato, un legante idraulico per strade della classe E4 o superiore con marcatura CE conforme alla UNI EN 13282-1 con sistema di attestazione di conformità 2+.
E' sconsigliato l'uso di cementi ad elevata resistenza in quanto la loro rapidità di presa non consente di eseguire la stesa ed il costipamento della miscela.

A titolo indicativo la percentuale di cemento deve essere compresa tra il 2,5% e il 5% sul peso degli inerti asciutti e deve essere determinato mediante uno studio di formulazione, effettuato in laboratorio, ai sensi della norma B.U. C.N.R. n. 29.

3.3.8.3 Acqua

Per la produzione delle miscele dovranno essere impiegate i tipi di acqua conformi alla Norma UNI EN 1008.

La quantità di acqua nella miscela deve essere quella corrispondente all'umidità ottima di costipamento con una variazione compresa entro ± 2% del peso della miscela per consentire il raggiungimento delle resistenze richieste.

Il contenuto d'acqua è da determinarsi mediante prova Proctor modificata tenendo conto di quanto necessario per fornire un intervallo lavorabile di umidità compatibile con il costipamento e le prestazioni meccaniche desiderate per la miscela. Nelle usuali condizioni climatiche applicative, le miscele legate devono presentare un tempo di lavorabilità non inferiore a 8 ore.

Indicativamente l'acqua di impasto sarà in ragione del 6% circa del peso dell'inerte secco.

3.3.8.4 Additivi

La miscela può essere integrata mediante additivi quali, a titolo indicativo ma non esaustivo, ritardanti, attivatori, miglioranti di presa e indurimento ecc.., necessari per ottenere tempi di lavorabilità compatibili con le esigenze della posa in opera delle miscele e con le condizioni metereologiche. Gli additivi devono essere marcati CE conformemente alla UNI EN 934-2 con sistema di attestazione della conformità di tipo 2+. Il loro tipo e dosaggio dovrà essere definito in fase di qualifica anche tenendo conto della stagione d'impiego, la quantità totale dovrà rispettare le indicazioni riportate nella documentazione tecnica del fornitore e non deve eccedere il dosaggio massimo raccomandato. Gli additivi dovranno essere aggiunti alla miscela con modalità idonea ad

assicurare la sua uniforme distribuzione durante il periodo di miscelazione. In generale, a parità di caratteristiche tecniche, si dovrà preferire prodotti più sostenibili dal punto di vista ambientale.

3.3.8.5 Caratteristiche della miscela

La miscela dovrà avere le seguenti caratteristiche:

- resistenza alla compressione con provini cilindrici compattati a 7 giorni di stagionatura (secondo la UNI EN 13286-41) non inferiore a 2 MPa e non superiore a 7 MPa, eventualmente con impiego di additivi;
- resistenza a trazione indiretta (determinata secondo la UNI EN 13286-42) non inferiore a 0,2 MPa.
- Portanza e costipamento: vale quanto riportato nei §§ 3.3.13 e 3.3.14

L'Appaltatore dovrà altresì determinazione il periodo di lavorabilità della miscela (UNI EN 13286-45) alla temperatura massima a cui prevede di stendere e compattare la stessa e comunque non superiore a 35°. Tale periodo deve essere compatibile con il tempo di fine miscelazione all'impianto, trasporto al cantiere e completamento delle lavorazioni di stesa e compattazione.

3.3.8.6 Formazione e confezione della miscela

Le miscele saranno confezionate in impianti fissi automatizzati, di idonee caratteristiche, mantenuti sempre perfettamente funzionanti in ogni loro parte e dotati di produzione dotati di un controllo di produzione FPC. Gli impianti devono comunque garantire uniformità di produzione ed essere in grado di realizzare miscele del tutto rispondenti a quelle di Progetto. Detti impianti devono essere autorizzati rispetto alla legislazione vigente nel caso di trattamenti che utilizzano rifiuti per la produzione di aggregati artificiali e/o riciclati.

3.3.9 Geotessile non tessuto di separazione

Il geotessile da stendere sul piano di posa del rilevato (piano di scotico) con funzione di separatore dovrà possedere marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA della norma europea armonizzata UNI EN 13249 con sistema di attestazione di conformità 2+ e dichiarazione di prestazione DoP.

Lo strato di geotessile dovrà essere del tipo nontessuto, in polipropilene o poliestere con resistenza a trazione non inferiore a 19 kN/m, resistenza al punzonamento statico non inferiore a 3 KN e allungamento a rottura non inferiore a 35% in entrambe le direzioni longitudinale e trasversale, la media della somma degli allungamenti $\{$(long.+trasv./2)$\}$ maggiore del 50%. Dovrà inoltre soddisfare i criteri di permeabilità e ritenzione: la porometria del geotessile dovrà essere abbastanza aperta da garantire una permeabilità minima di 60 l/m^{2}s e nel contempo sufficientemente chiusa per evitare fenomeni di dilavamento e erosione; tali condizioni si ottengono con una apertura caratteristica dei pori di compresa nell'intervallo 60÷150 µm.

Inoltre, il geotessile dovrà essere conforme alle norme UNI EN 12225 e 12224, relative rispettivamente ai metodi per la determinazione della resistenza microbiologica e degli agenti atmosferici ad alla norma UNI EN ISO 10722 per la simulazione del danneggiamento durante la posa e per la messa in opera in materiali a grana grossa.

Con riferimento alla UNI EN 13249 occorre prevedere le seguenti durabilità minime in esercizio:

- superiore a 5 anni per opere provvisionali;
- superiore a 25 anni per opere definitive

Si riepilogano di seguito i requisiti richiesti che dovranno risultare in fase di qualifica dalla dichiarazione di DoP o da apposita certificazione rilasciata da laboratorio ufficiale:

Resistenze a trazione MD e CD (UNI EN ISO 10319)	$\geq$ 19 kN/m
Allungamento MD e CD (UNI EN ISO 10319)	$\geq$ 35 (MD e CD) $\geq$ 50 (MD+CD)/2
Resistenze a trazione al 10% di allungamento (UNI EN ISO 10319)	$\geq$ 3 kN/m
Punzonamento statico (UNI EN ISO 12236)	$\geq$ 3 kN
Punzonamento dinamico (UNI EN ISO 13433)	$\leq$ 20 mm
Permeabilità ortogonale al piano (UNI EN ISO 11058)	$\geq$ 60 l/m^{2}s
Diametro di filtrazione(UNI EN ISO 12956)	60÷150 µm

Qualora anche da una sola delle prove di cui sopra risultassero valori non rispondenti a quelli stabiliti, la partita sarà rifiutata e l'Appaltatore dovrà allontanarla immediatamente dal cantiere.
Nel suo conferimento al cantiere, i geotessile dovrà essere identificato indelebilmente secondo le specifiche del § 4 della norma UNI EN ISO 10320.

3.3.10 Geotessile e/o geogriglia con funzione di armatura degli strati di rilevato a grana grossa

Per gli strati di geotessile o geogriglia con funzione di armatura degli strati di rilevato a grana grossa si rimanda a quanto indicato al § 3.3.9 e all'art. 32 di questo capitolato.

3.3.11 Rilevati in terra "Rinforzata" o "Armata"

In generale valgono le prescrizioni di cui al § 3.3.2 valide per il corpo del rilevato, con le seguenti ulteriori regole.
Dovranno essere impiegati solo aggregati naturali di cava o di scavo appartenenti ai gruppi A1, A3, A2-4 e A2-5.
Se previsto a progetto è possibile utilizzare, per il corpo del rilevato, anche l'argilla espansa e misto cementato secondo i contenuti di cui al § 3.3.3.
L'Appaltatore è altresì tenuto a garantire che le proprietà degli aggregati utilizzati siano conformi anche nei confronti di:

- fenomeni di aggressività e danneggiamento degli elementi di rinforzo e dell'eventuale facciata;
- attrito e coesione previsti in Progetto;

secondo quanto riportato in Progetto, in accordo ai dettami della norma UNI EN 14475, "Esecuzione di lavori geotecnici speciali – Terra rinforzata".
Analoghe garanzie dovranno essere fornite per il terreno naturale, nei casi in cui gli elementi di rinforzo siano a contatto con esso, e per l'acqua di falda, qualora essa sia prossima al piano di fondazione e possa quindi venire ad interessare il materiale costituente il rilevato rinforzato.
La massima dimensione delle particelle dell'aggregato utilizzato non dovrà superare il valore indicato in Progetto, definito in funzione dello spessore degli strati di aggregato, della spaziatura degli elementi di rinforzo, delle dimensioni degli eventuali elementi di facciata, della tipologia degli elementi di rinforzo e della necessità di contenere entro limiti minimi il danneggiamento prodotto dalla messa in opera.

Allo scopo di garantire un comportamento omogeneo della terra rinforzata, qualora i materiali di cava o di scavo non mantenessero la prescritta uniformità di caratteristiche granulometriche e chimiche, gli stessi saranno preventivamente stoccati in apposita area al fine di essere opportunamente mescolati.
Qualora venga previsto l'uso di geosintetici, per i materiali impiegati dovranno essere preliminarmente verificate le seguenti condizioni:
- PH compreso tra 3 e 9, per geosintetici costituiti da fibre di PET ancorchè ricoperte
- PH > 3 per geosintetici costituiti da poliolefine (HDPE o PP) e da fibre in PVA-L

Nel caso di impiego di armature metalliche, per i materiali impiegati dovranno essere preliminarmente verificate le seguenti condizioni:
- contenuto in sali;
- solfuri, del tutto assenti;
- solfati, solubili in acqua, minori di 500 mg/kg;
- cloruri, minori di 100 mg/kg;
- pH, compreso tra 5 e 10 (il che preclude l'utilizzo dei terreni trattati a calce e cemento);
- resistività elettrica superiore a 1.000 ohmxcm per opere all'asciutto, superiore a 3.000 ohmxcm per opere immerse in acqua;
- contenuto organico minore dell'1%.

Per i requisiti del sistema di armatura o rinforzo si rimanda a quanto disciplinato all'art 32 di questo capitolato.

3.3.12 Rilevati di precarico e riempimenti

Potranno essere impiegati materiali di qualsiasi natura fatta eccezione, per i riempimenti, per quelli appartenenti ai gruppi A7 e A8. Possono essere utilizzati anche materiali *"leggeri",* adottando i medesimi accorgimenti descritti per la realizzazione dei rilevati.
I materiali provenienti da scavi potranno essere impiegati soltanto se ritenuti idonei dalla Direzione Lavori.
Non è richiesto il conseguimento di una densità minima; il materiale dovrà essere steso in strati regolari di spessore prestabilito e le modalità di posa dovranno essere atte a conseguire la densità uniforme dichiarata nel Progetto, controllata con sistematicità, comunque tale da garantire l'opera nei confronti di fenomeni instabilità ed erosioni.
Resta inteso che ogni fornitura esterna al cantiere dovrà essere accompagnata dalla relativa marcatura CE e DoP.

3.3.13 Materiali per trincee drenanti

Il materiale drenante (aggregato naturale, riciclato o misto) dovrà avere caratteristiche granulometriche tali da assicurare un facile deflusso delle acque attraverso di esso e nello stesso tempo da evitare l'intasamento per effetto del trascinamento degli elementi fini. In particolare dovrà risultare:

$$5 \cdot d_{15} \leq D_{15} \leq 5 \cdot d_{85} \quad (1)$$

essendo
D_{15} = diametro che corrisponde al 15% di passante nelle curve granulometriche del materiale drenante
d_{15} = diametro che corrisponde al 15% di passante nella curva granulometrica della terra da drenare
d_{85} = diametro che corrisponde all'85% di passante nella curva granulometrica della terra da drenare

nel caso in cui lo smaltimento delle acque drenate avvenga per mezzo di tubi forati, tra la granulometria del materiale drenante posto attorno al tubo e la minima dimensione dei fori dei tubi, ovvero degli interstizi fra i tubi, andrà rispettata la seguente relazione:

$$D_{85} \geq 1.5 \cdot d \quad (2)$$

essendo:

D_{85} = diametro che corrisponde all'85% di passante nelle curve granulometriche del materiale drenante

d = diametro dei fori dei tubi o larghezza degli interstizi tra i tubi.

Affinchè siano rispettate sia la (1) che la (2) il materiale drenante sarà disposto a strati con elementi di dimensioni decrescenti a partire dal tubo verso il terreno da drenare.

Resta inteso che ogni fornitura esterna al cantiere dovrà essere accompagnata dalla relativa marcatura CE e DoP.

3.3.14 Portanza del piano di posa del rilevato del corpo del rilevato e del sottofondo

I valori di portanza costituiscono il dato prestazionale. Salvo diverse e più restrittive prescrizioni motivate in sede di progettazione dalla necessità di garantire la stabilità del rilevato, per la determinazione modulo dinamico si adotta la prova con piastra circolare del diametro pari a 30 cm nell'intervallo compreso tra M_{d1} ed M_{d2}; al primo ciclo di carico i valori del modulo Md dovranno risultare non inferiori a:

Piano di posa: 15 MPa: nell'intervallo compreso tra 0,5÷1,5 daN/cm² sul piano di posa del rilevato (piano di scotico) quando posto a 2,00 m da quello della sovrastruttura.

Corpo del rilevato: variabile tra 20 MPa (quota di imposta del rilevat-piano di scotico) e 60 MPa (ultimo strato del rilevato). All'interno del corpo del rilevato il valore del modulo di deformazione MD sono ottenuti variando linearmente con la quota, i valori precedentemente indicati. I valori limiti sono definiti nell'intervallo compreso tra 0,5÷1,5 daN/cm².

Sottofondo: 60 MPa: nell'intervallo compreso tra 1,5÷2,5 daN/cm² sul piano di posa della sovrastruttura in rilevato, in trincea;

Per il misto cementato a ridosso delle opere d'arte il valore del modulo di deformazione Md al 1º ciclo di carico e nell'intervallo compreso tra 0,15 e 0,25 MPa, non deve essere inferiore a 150 MPa per i vari strati di stesa.

Le prescrizioni contenute all'interno del presente articolo di capitolato sono da ritenersi valide per tutte le viabilità autostradali e per le viabilità interferite o compensative destinate ad essere consegnate al termine dei lavori alle amministrzioni locali, ove per queste ultime il progetto non preveda diverse specificazioni.

3.3.15 Costipamento in opera

A rullatura e compattazione eseguita, la massima massa volumica (densità) in sito deve essere confrontata con la massima di cui alla prova AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) nella variante modificata di cui alla norma UNI EN 13286-2 determinata in

fase di qualifica e comunque deve essere tale da consentire il raggiungimento dei valori di portanza di cui al § 3.3.12.

Il materiale impiegato per la **bonifica** dovrà avere le seguenti caratteristiche:

- densità almeno pari al 90% di quella massima AASHTO modificata, sul piano di posa dei rilevati;
- densità almeno pari al 95% di quella massima AASHTO modificata, sul piano di posa della soprastruttura in trincea.

Il materiale impiegato per il **rilevato** dovrà avere le seguenti caratteristiche:

- densità pari o superiore al 90% della densità massima AASHTO modificata per tutti gli strati del rilevato eccetto l'ultimo di 30 cm costituente il sottofondo;
- densità pari o superiore al 95% sempre della densità massima AASHTO modificata per l'ultimo strato di 30 cm costituente il sottofondo.

Il materiale impiegato per lo **strato granulare anticapillare** dovrà avere le seguenti caratteristiche:

- densità pari o superiore al 90% della densità massima individuata dalle prove di compattazione AASHTO modificata.

Limitatamente ai materiali a granulometria grossolana, laddove le prove abituali risultino non rappresentative, l'addensamento sarà controllato mediante successive livellazioni del piano di rullatura e la misura della densità in sito sarà fatta prelevando il materiale da un pozzetto che dovrà essere rivestito da apposito telo impermeabile successivamente riempito d'acqua. E' facoltà della D.L. effettuare o delle prove di carico su piastra di diametro 30 cm eseguite su di uno strato di rilevato di spessore 15 cm realizzato sopra l'anticapillare o in alternativa delle prove su piastra di diametro 60 cm eseguita su di uno strato di rilevato di spessore 30 cm realizzato sopra l'anticapillare.

Il materiale impiegato per le **terre armate o rinforzate** dovrà avere le seguenti caratteristiche:

- densità almeno pari al 95% di quella massima AASHTO modificata

Il materiale impiegato **a tergo delle murature in misto cementato** dovrà avere le seguenti caratteristiche:

- densità almeno pari al 95% di quella massima AASHTO modificata

Il materiale **trattato a calce di cui al § 13.8** dovrà avere le seguenti caratteristiche:

- densità almeno pari al 95% di quella massima AASHTO modificata

Per il materiale impiegato **come argilla espansa cementata** non si verifica il costipamento in opera ma la massa volumica del cubetto 15x15 cm in conformità ai requisiti di cui al § 3.3.5.5 e di qualifica.

3.4 Modalità esecutive

In tutte le fasi esecutive, comprese le fasi di preparazione e di sistemazione finale delle aree, per gli aspetti e le problematiche relative a temi ambientali, quali impatti acustici e vibrazionali, emissioni in atmosfera, impatto sulle acque superficiali, sotterranee e sul suolo, impatti sulla componente fauna e vegetazione, si rimanda integralmente a quanto prescritto dalla Normativa Nazionale e Regionale vigente, alle prescrizioni degli Enti preposti alla tutela ambientale, nonché alle condizioni ambientali contenute nelle autorizzazioni ed alle disposizioni del Capitolato Ambientale e Piano di Gestione Terre/Piano di Utilizzo allegati al progetto esecutivo.

3.4.1 Preparazione del piano di posa dei rilevati

3.4.1.1 Scotico, bonifica, gradonature e trincee drenanti

Per la preparazione del piano di posa dei rilevati l'Appaltatore, prima dell'inizio dei lavori dovrà sempre accertarsi del completamento delle operazioni propedeutiche agli scavi (vedi cap. Scavi § 1.1.2 "Bonifica ordigni bellici, sottoservizi ed archeologia" di questo capitolato) anche se eseguite precedentemente all'Appalto o da altre Imprese incaricate direttamente dalla Committente, successivamente, a seguito dell'acquisizione delle necessarie autorizzazioni, procederà al taglio delle piante e all'estirpazione delle ceppaie, radici, arbusti ecc. (diserbamento), al loro sistematico ed immediato allontanamento a deposito autorizzato, rispettando le norme regionali forestali e i regolamenti del verde comunali vigenti in materia e lasciando sul posto, salvaguardandoli dalle lavorazioni, eventuali esemplari indicati in Progetto, nei documenti d'appalto, o dalla Direzione Lavori.
Nello specifico, tenuto conto delle norme suddette, in funzione della casistica del sito è possibile, in particolare, prevedere di intervenire nei modi seguenti:
Sito con semplice copertura erbacea
In questo caso non è necessario allontanare preliminarmente la copertura erbacea, ma è raccomandata la lavorazione superficiale del suolo con attrezzature di tipo agricolo (fresa, aratura superficiale, vangatura), in modo da incorporare e non disperdere il prezioso materiale vegetale.

Sito con copertura erbaceo - arbustiva
È il caso di terreni che presentano copertura erbacea e arbustiva di varia dimensione. In questo caso, esattamente in dipendenza del tipo e densità di copertura, si potrà procedere:

- al taglio e allontanamento della massa vegetale;
- alla triturazione in loco della copertura vegetale con attrezzature agricole del tipo "trincia tutto", tenendo conto di preferire, per quanto possibile, la soluzione di triturazione e incorporamento nel suolo del materiale vegetale, a patto che questo non sia eccessivamente legnoso e che quindi il prodotto triturato risulti grossolano e inidoneo ad essere incorporato nel suolo.

Sito con copertura arborea
In questi casi si dovrà intervenire con il taglio secondo le ordinarie modalità forestali; quindi si opererà al preventivo allontanamento delle ceppaie principali, onde ridurre la presenza di legname in decomposizione nel suolo prelevato.
Sarà di seguito eseguita la totale asportazione del terreno vegetale sottostante l'impronta del rilevato (scotico) per la profondità stabilita in Progetto e/o in accordo con le risultanze delle indagini, secondo le direttive impartite dalla Direzione Lavori e nel rispetto di quanto definito nell'articolo 39 "*opere a verde*" al § 39.2.1 per il "terreno vegetale".

L'Appaltatore provvederà a far sì che il piano di posa dei rilevati sia il più possibile regolare, privo di bruschi avvallamenti e tale da evitare il ristagno di acque piovane, provvedendo al riempimento delle buche effettuate nelle operazioni di estirpamento delle radici delle piante. Tale riempimento dovrà essere effettuato con materiale idoneo (aggregati naturali, riciclati o misti) di caratteristiche simili a quelli di riempimento degli scavi di scotico e di bonifica, messo in opera a strati di conveniente spessore e compattato.
Il piano di posa dei rilevati, costipato mediante rullatura, dovrà essere approvato previa ispezione e controllo da parte della Direzione Lavori secondo le modalità indicate al § 3.5.2; in quella sede la

Direzione Lavori, in accordo con il Progettista, potrà richiedere ulteriori scavi di sbancamento (bonifica) per rimuovere eventuali materiali a grana fine, teneri o torbosi o materiali rimaneggiati/rammolliti per negligenza da parte dell'Appaltatore, ciò al fine di sostituirli con aggregati naturali, riciclati o misti, idonei, messi in opera per strati di conveniente spessore, compattati ed in grado di garantire il raggiungimento delle caratteristiche dei piani di posa di cui al § 3.3.12. In alternativa agli ulteriori scavi di sbancamento la Direzione Lavori potrà ordinare di trattare i terreni di imposta secondo le modalità di cui al § 3.8.
La Direzione Lavori, in relazione alla natura dei terreni sul piano di scotico e di bonifica potrà ordinare l'adozione di provvedimenti atti a prevenire la contaminazione dei materiali di apporto, fra cui la posa di teli geotessili.
Laddove una maggiorazione di scavo sarà da imputarsi ad errori topografici, alla necessità di asportare quei materiali rimaneggiati o rammolliti per negligenza dell'Appaltatore o a bonifiche non preventivamente autorizzate dalla Direzione Lavori, l'Appaltatore eseguirà detti scavi e il relativo riempimento con materiali idonei di caratteristiche simili a quelli di riempimento degli scavi di scotico e di bonifica, a sua cura e spese.

I materiali provenienti dagli scavi dovranno essere caratterizzati dal punto di vista della compatibilità ambientale e geotecnica, a cura e spese dell'Appaltatore, in accordo con la normativa vigente (DLgs 152/2006 e s.m.i.) e secondo anche con quanto riportato all'art. Scavi par. 1.1.6. "Materiali di risulta: riutilizzo e sistemazione a deposito"
Il materiale scavato relativo agli strati di scotico e di bonifica, dovrà essere trasportato a deposito autorizzato o, se idoneo, riutilizzato per opere di riambientalizzazione e/o come terreno vegetale per la finitura delle scarpate e le aree oggetto di opere a verde in generale. Nel caso di riutilizzo come terreno vegetale, occorre che il materiale sia scavato in condizioni di umidità idonee, ossia con "suoli non bagnati", per evitare di degradare la struttura del suolo e quindi alterarne, in senso negativo, il comportamento idrologico (infiltrazione, permeabilità) e altre caratteristiche fisiche con la creazione di strati induriti e compatti inidonei allo sviluppo degli apparati radicali delle piante.
Il quantitativo da reimpiegarsi nella sistemazione a verde delle scarpate e delle aree oggetto di opere a verde in generale sarà accantonato in area e con modalità previste dal Piano di Gestione Terre/Piano di Utilizzo allegati al progetto esecutivo e autorizzate dalla Direzione Lavori, che poi eseguirà il controllo tecnico dell'avvenuto stoccaggio (a riguardo vedere anche quanto previsto nel art. 39 afferente le opere a verde di questo capitolato); il deposito temporaneo di detti materiali dovrà comunque consentire il regolare deflusso delle acque e risultare tale che non si abbiano a verificare condizioni pregiudizievoli per la salute e l'incolumità pubblica. Ogni successiva eventuale ulteriore movimentazione del materiale in questione in altra area, o nel sito finale, andrà autorizzata dalla Direzione Lavori, che poi ne eseguirà il controllo tecnico dell'avvenuto nuovo stoccaggio, o messa in opera finale.
Nei casi in cui fossero riscontrati in fase di scavo livelli di falda a quote superiori a quella del letto dello strato di sottofondo l'Appaltatore progetterà ed eseguirà, previa approvazione della Direzione Lavori, un sistema di trincee drenanti longitudinali e trasversali al corpo stradale di altezza e pendenza adeguate per abbassare il livello di falda e per lo smaltimento delle acque di filtrazione convogliate nel sistema drenante. Il materiale drenante (aggregato naturale, riciclato o misto) dovrà avere caratteristiche di cui al § 3.3.11.
I drenaggi non devono raccogliere l'acqua superficiale per cui saranno chiusi superiormente da uno strato di terreno impermeabile.
Ogni qualvolta i rilevati poggino su declivi con pendenza superiore al 20%, ultimata l'asportazione del terreno vegetale e fatta eccezione per diverse e più restrittive prescrizioni derivanti dalle

specifiche condizioni di stabilità globale del pendio, si dovrà provvedere all'esecuzione di una gradonatura con banche in leggera contropendenza (tra 1% e 2%) e alzate verticali contenute in altezza.
Ogni qualvolta i rilevati poggiano su declivi caratterizzati dalla presenza di acque sotterranee superficiali, il primi strati costituenti il corpo del rilevato verranno realizzati con materiale a grana grossa (aggregato naturale o riciclato o misto) con permeabilità significativamente superiore a quella del terreno naturale, da valutare sulla base di specifiche analisi di filtrazione, ciò al fine di impedire l'imbibizione del corpo del rilevato e assicurarne la stabilità. Gli strati drenanti, se realizzati con materiali di cui al § 3.3.11, potranno avere anche funzione anticapillare.

Quando siano prevedibili cedimenti dei piani di posa dei rilevati superiori a 15 cm, l'Appaltatore sottoporrà alla Direzione Lavori un programma per l'installazione di piastre assestimetriche.
L'Appaltatore dovrà provvedere a reintegrare i maggiori volumi di rilevato per il raggiungimento della quota di Progetto ad avvenuto esaurimento dei cedimenti.

Oltre a quanto sopra, nell'esecuzione dei lavori l'Appaltatore dovrà farsi carico delle prescrizioni e degli oneri di seguito elencati:
- controllo geometrico allo scopo di verificare che gli scavi siano stati eseguiti secondo le pendenze, le dimensioni e le quote di Progetto. I risultati delle verifiche saranno riportati in apposite schede e trasmessi alla Direzione Lavori.
- segnalare l'avvenuta ultimazione degli scavi di scotico e di bonifica per l'eventuale ispezione da parte della Direzione Lavori, prima di procedere a fasi di lavoro successive;
- provvedere alla rimozione di trovanti di qualsiasi natura e dimensione provvedendo altresì alla frantumazione dei materiali non trasportabili e/o non riutilizzabili;
- provvedere al carico, trasporto e scarico del materiale proveniente dagli scavi che si intende riutilizzare, purchè idoneo; è incluso l'onere per il reperimento di idonee aree di stoccaggio, eventualmente indicate dalla Direzione Lavori, nonché per il deposito ordinato e per la ripresa dei materiali per il loro riutilizzo.
- recintare e apporre sistemi di segnaletica diurna e notturna alle aree di lavoro.
- provvedere con qualsiasi sistema (palancole, sbatacchiature, abbassamento provvisorio della falda ecc.) al contenimento delle pareti degli scavi in accordo a quanto previsto nel Progetto e in conformità alle norme di sicurezza.
- adottare tutte le cautele necessarie (indagini preliminari, scavi campione, ecc.) per evitare il danneggiamento di manufatti e servizi interrati esistenti di qualsiasi natura; è inclusa, ove necessario, la temporanea deviazione ed il tempestivo ripristino delle opere danneggiate o temporaneamente messe fuori servizio.
- provvedere ad un adeguato drenaggio per effettuare gli scavi all'asciutto, per evitare accumuli d'acqua nel fondo scavo, fino ad ultimazione delle operazioni di riempimento.

3.4.1.2 Strato anticapillare e strati rinforzati

In relazione alle locali caratteristiche idrogeologiche, nonché alla natura dei materiali costituenti il rilevato, quando previsto in Progetto e/o quando le indagini lo rendessero necessario, al di sopra del piano di scotico sarà eseguita:
- la stesa di uno strato granulare con funzione anticapillare dello spessore compreso tra 30 e 50 cm;
- la stesa di uno strato di geotessile non tessuto con funzione di separazione;

- la stesa di uno o più strati di geotessili (tessuto e/o griglie), con funzione di rinforzanti costituenti il corpo del rilevato.

3.4.1.2.1 Geotessile non tessuto di separazione

Lo strato di geotessile da stendere sul piano di posa del rilevato (piano di scotico) con funzione di separatore dovrà essere del tipo indicato al § 3.3.9 .
I rotoli di geotessile dovranno essere opportunamente protetti durante il periodo di stoccaggio del materiale in accordo alle raccomandazioni del produttore; analogamente il tempo intercorrente tra la stesa del geotessile e la sua copertura con strati costituiti da aggregati dovrà essere inferiore a quello raccomandato dal produttore, comunque non superiore a 24 ore.
Il piano di stesa del geotessile dovrà essere perfettamente regolare, privo di discontinuità o di materiali che possano arrecare danneggiamenti al geotessile; se necessario la stesa sarà realizzata previa messa in opera di materiale sabbioso compattato.
Dovrà essere curata la giunzione dei teli mediante sovrapposizione di almeno 30 cm nei due sensi longitudinale e trasversale.
I teli non dovranno essere in alcun modo esposti al diretto passaggio dei mezzi di cantiere prima della loro totale copertura con materiale da rilevato per uno spessore di almeno 30 cm.

3.4.2 Costruzione del rilevato

3.4.2.1 Stesa dei materiali

L'Appaltatore dovrà adottare l'ordine di stesa previsto in progetto. Per gli strati realizzati con aggregati riciclati, di recupero, artificiali lo spessore e le modalità di stesa dovranno essere definiti in un apposito campo prova, come parte del Method Statement, per garantire il corretto addensamento e il rispetto delle prestazioni finali.
La stesa del materiale dovrà essere eseguita con sistematicità per strati di spessore costante e con modalità e attrezzature atte a evitare segregazione, brusche variazioni granulometriche e del contenuto d'acqua.
Lo spessore allo stato sciolto (prima della compattazione) di ogni singolo strato sarà stabilito in relazione alle caratteristiche degli aggregati, delle modalità di compattazione e delle finalità del rilevato.
Comunque, tale spessore non dovrà risultare superiore ai seguenti limiti:

- 50 cm per rilevati formati con terre appartenenti ai gruppi A1, A2-4, A2-5, A3 o con rocce frantumate;
- 30 cm per rilevati eseguiti con terre appartenenti ai gruppi A2-6, A2-7;
- 40 cm per rilevati formati con aggregati industriali alleggeriti e per rilevati in terra rinforzata.
- Come da Method Statement nel caso di impiego di materiali RRS (§ 3.3.1)

Lo spessore dello strato compattato non dovrà superare i due terzi della dimensione delle massime pezzature ammesse per i vari aggregati.
Non è consentito alternare strati del corpo del rilevato con materiale proveniente da fornitori con orgine diversa (naturale, artificiale e riciclata), salvo specifica autorizzazione del Direttore dei Lavori per sopravvenuta definitiva indisponibilità del materiale.

Nel caso di rilevati aventi notevole altezza, dovranno essere realizzate banchine di scarpata della larghezza di 2 m a quota idonea e comunque ad una distanza verticale dal ciglio del rilevato non superiore a 6 m.

Ai fini di garantire che siano raggiunte condizioni di compattazione adeguate anche nella zona di scarpata, sarà onere dell' Appaltatore effettuare la stesa di materiale in eccesso di almeno 30 cm rispetto alla sezione teorica e successiva rimozione e riprofilatura.
Durante le fasi di lavoro si dovrà garantire il rapido deflusso delle acque meteoriche conferendo sagomature aventi pendenza trasversale non inferiore al 2%. In presenza di paramenti di rilevati in terra rinforzata o di muri di sostegno in genere, la pendenza sarà contrapposta ai manufatti. Ciascuno strato potrà essere messo in opera, pena la rimozione, soltanto dopo avere certificato mediante prove di controllo l'idoneità dello strato precedente.

Nel caso di allargamento di un rilevato esistente, previa asportazione dello strato di terreno vegetale, si dovrà con cautela gradonare la scarpata del rilevato esistente, sulla quale verrà addossato il materiale costituente il rilevato di allargo. Tale operazione avverrà per fasi, avendo cura di fare seguire immediatamente ad ogni gradonatura (dell'altezza massima di 50 cm) la stesa del relativo nuovo strato ed il suo costipamento.
Nel caso di interruzione e/o sospensione dei lavori e quando la stesa dello strato di aggregato successivo avvenga oltre 72 ore dalla compattazione dello strato sottostante sarà cura e onere dell'Appaltatore spargere, per l'intera larghezza del rilevato, fitociti, antigerminali e anche taletissici. Inoltre, al fine di evitare fenomeni di trasporto eolico, dovrà essere valutata la possibilità di procedere con l'umidificazione delle aree di lavorazione, nel rispetto dei requisiti tecnici necessari per la formazione del rilevato.
Prima della ripresa del lavoro, il rilevato già eseguito dovrà essere ripulito dalle erbe e dalla vegetazione in genere, praticandovi dei solchi per il collegamento del nuovo strato con quello già messo in opera. Sullo strato già messo in opera dovranno essere ripetuti i controlli di compattazione.
Sarà cura ed onere dell'Appaltatore provvedere alla riprofilatura delle scarpate, delle banchine e dei cigli, nonché alla maggiorazione delle dimensioni di Progetto per tenere conto degli assestamenti delle terre affinchè al momento del collaudo i rilevati siano conformi alle caratteristiche previste in Progetto in termini di altezza e larghezza in sommità.
Si dovrà inoltre garantire la sistematica e tempestiva protezione delle scarpate dall'azione diretta degli agenti atmosferici mediante la stesa di uno strato di terreno vegetale tale da assicurare il pronto attecchimento e sviluppo del manto erboso. Lo spessore minimo dello strato di terreno vegetale sarà di 20 cm, da stendere a cordoli orizzontali, opportunamente costipati, ricavando se necessario gradoni di ancoraggio.
La semina dovrà essere eseguita con semi, se non precisati in Progetto, scelti in relazione al periodo di semina e alle condizioni locali, in modo da ottenere i migliori risultati e realizzata secondo le modalità previste in progetto (Sezioni tipo, Computo Metrico Estimativo, ecc.). La semina dovrà essere ripetuta fino ad ottenere un adeguato ed uniforme inerbimento.
Qualora si dovessero manifestare erosioni di sorta l'Appaltatore dovrà provvedere al restauro delle zone ammalorate a sua cura e spese e secondo le disposizioni impartite di volta in volta dalla Direzione Lavori.
Durante la costruzione dei rilevati si dovrà disporre in permanenza di apposite squadre e mezzi di manutenzione per rimediare ai danni causati dal traffico di cantiere oltre a quelli dovuti alla pioggia e al gelo.

3.4.2.2 Compattazione

La compattazione potrà aver luogo soltanto dopo aver accertato che il contenuto d'acqua delle terre sia prossimo (±1,5% circa) a quello ottimo determinato in fase di qualifica mediante la prova AASHTO Modificata e dovrà essere conforme a quanto indicato al § 3.3.14 e §3.3.15.
Se tale contenuto d'acqua dovesse risultare superiore, il materiale dovrà essere essiccato per aerazione; se inferiore l'aumento sarà conseguito per umidificazione e con modalità tali da garantire una distribuzione uniforme entro l'intero spessore dello strato.
La compattazione dovrà essere condotta con metodologia atta ad ottenere un addensamento uniforme; a tale scopo i rulli dovranno operare con sistematicità lungo direzioni parallele garantendo una sovrapposizione fra ciascuna passata e quella adiacente pari almeno al 10% della larghezza del rullo.
Per garantire una compattazione uniforme lungo i bordi del rilevato, le scarpate dovranno essere riprofilate, una volta realizzata l'opera, rimuovendo i materiali eccedenti la sagoma.
In presenza di paramenti flessibili e murature laterali, la compattazione a tergo delle opere dovrà essere tale da escludere una riduzione nell'addensamento e nel contempo il danneggiamento delle opere stesse. In particolare si dovrà evitare che grossi rulli vibranti operino entro una distanza inferiore a 1,5 m dai paramenti di terre rinforzate.

Si dovrà inoltre evitare di realizzare rilevati e/o rinterri in corrispondenza di realizzazioni in muratura che non abbiano raggiunto le sufficienti caratteristiche di resistenza. A tergo dei manufatti si useranno mezzi di compattazione leggeri quali piastre vibranti, rulli azionati a mano, provvedendo a garantire i requisiti di deformabilità e densità richiesti anche operando su strati di spessore ridotto.

Nella formazione di tratti di rilevato rimasti in sospeso per la presenza di tombini, canali, cavi, ecc. si dovrà garantire la continuità con la parte realizzata impiegando materiali e livelli di compattazione identici.
La superficie superiore degli strati avrà pendenza tale da garantire lo smaltimento delle acque meteoriche; dovrà essere evitata la formazione di avvallamenti e solchi.

A ridosso di murature di manufatti disposti in direzione trasversale al rilevato, si dovrà eseguire la stesa di misto cementato la cui miscela deve essere conforme a quanto indicato al § 3.3.6. La stesa del misto cementato dovrà essere eseguita per strati di spessore non superiore a 20÷30 cm e, salvo diverse indicazioni progettuali, sarà a forma trapezoidale avente la base inferiore di 2,00 m, quella superiore pari a 2,00 m + 3/2 h e l'altezza h coincidente con quella del rilevato. La stesa non dovrà avvenire con tempo piovoso e con temperature inferiori a 4° centigradi.

Per ulteriori requisiti concernenti condizioni particolari di applicazione del misto cementato, viene fatto riferimento alle norme CNR BU n° 29 e UNI EN 14227-1.

3.4.2.3 Condizioni climatiche avverse

In presenza di gelo o di pioggia persistenti o neve non sarà consentita in linea generale la costruzione dei rilevati, fatto salvo particolari deroghe da parte del Direttore dei Lavori, limitatamente ai materiali meno suscettibili all'azione del gelo e delle acque meteoriche (esempio: pietrame).
Nell'esecuzione dei rilevati con terre ad elevato contenuto della frazione fine (limi e argille) dovranno essere tenuti a disposizione anche dei carrelli pigiatori gommati che consentono di chiudere la superficie dello strato in lavorazione in caso di pioggia. Alla ripresa del lavoro la stessa superficie

dovrà essere convenientemente erpicata provvedendo eventualmente a rimuovere lo strato superficiale rammollito.
In caso di pioggia persistente, l'Appaltatore verifica la corretta funzionalità del sistema di regimazione delle acque e interviene con le opportune mitigazioni per limitare il trasporto solido secondo le disposizioni riportate nel Capitolato Ambientale. In seguito a precipitazioni intense e concentrate, l'Appaltatore dovrà verificare le condizioni del rilevato ed eventualmente ripristinare le condizioni iniziali.

3.4.2.4 Misto cementato a ridosso dei manufatti

Per le modalità di posa del misto cementato a ridosso dei manufatti si rimanda ai contenuti del § 30.3.5 di questo capitolato.

3.4.2.5 Rilevati di prova

L'Appaltatore procederà all'esecuzione di rilevati di prova in tali circostanze:
- quando sono previsti in Progetto; in tale caso verranno rispettate le specifiche di Progetto;
- su ordine della Direzione Lavori, per verificare l'idoneità di materiali diversi da quelli specificati in Progetto o negli articoli del presente Capitolato Speciale, esempio: materiali a pezzatura grossolana (pietrame), materiali a grana fine (appartenenti ai gruppi A2-6 e A2-7) ed a comportamento instabile, etc..

Il rilevato di prova consentirà di verificare le caratteristiche fisico-meccaniche dei materiali messi in opera, le caratteristiche dei mezzi di compattazione (tipo, peso, energie vibranti) e le modalità esecutive più idonee (numero di passate, velocità del rullo, spessore degli strati, ecc.), le procedure di lavoro e di controllo cui attenersi nel corso della formazione dei rilevati.
L'ubicazione del campo prova, le modalità esecutive del rilevato di prova e delle relative prove di controllo saranno stabilite di volta in volta dalla Direzione Lavori; a titolo indicativo si adotteranno le seguenti prescrizioni:
- l'area prescelta per il rilevato di prova dovrà essere caratterizzata da condizioni dei terreni di fondazione (natura e proprietà geotecniche) prossime a quelle dell'area ove verrà realizzato il rilevato autostradale;
- la larghezza del rilevato di prova dovrà risultare almeno pari a tre volte la larghezza del rullo, i materiali saranno stesi in strati di spessore costante (o variabile qualora si voglia individuare lo spessore ottimale) e si provvederà a compattarli con regolarità ed uniformità simulando, durante tutte le fasi di lavoro, le modalità esecutive che poi saranno osservate nel corso dei lavori di costruzione del rilevato autostradale.

In generale per ciascun tipo di materiale e per ciascun tipo di modalità esecutiva si provvederà a mettere in opera almeno 2 o 3 strati successivi; per ogni strato si provvederà ad eseguire le prove di controllo dopo successive passate (ad esempio dopo 4, 6, 8, passate). Le prove di controllo da adottarsi saranno principalmente finalizzate ad individuare nel dettaglio le caratteristiche di densità, deformabilità e i contenuti d'acqua degli aggregati. In taluni casi si potrà ricorrere a prove speciali (ad esempio la prova di carico su piastra previa saturazione del materiale sottostante la piastra, prove geofisiche ecc.) e a prelievo di campioni indisturbati da destinarsi alle prove di laboratorio ponendo particolare attenzione a quei materiali considerati instabili o presunti tali, quali le rocce tenere di origine sedimentaria.
Limitatamente ai materiali a granulometria grossolana, risultando le prove abituali non rappresentative, l'addensamento sarà controllato mediante successive livellazioni del piano di

rullatura e la misura della densità in sito sarà fatta prelevando il materiale da un pozzetto che dovrà essere rivestito da apposito telo impermeabile successivamente riempito d'acqua.
L'Appaltatore sarà tenuto a documentare in apposita relazione tutte le fasi di lavoro, i mezzi e le procedure impiegate. L'approvazione dei materiali nonché delle modalità esecutive spetta esclusivamente alla Direzione Lavori.

3.4.3 Rilevati con materiali alleggeriti

Di seguito sono descritte le modalità più comuni adottate per la loro realizzazione.

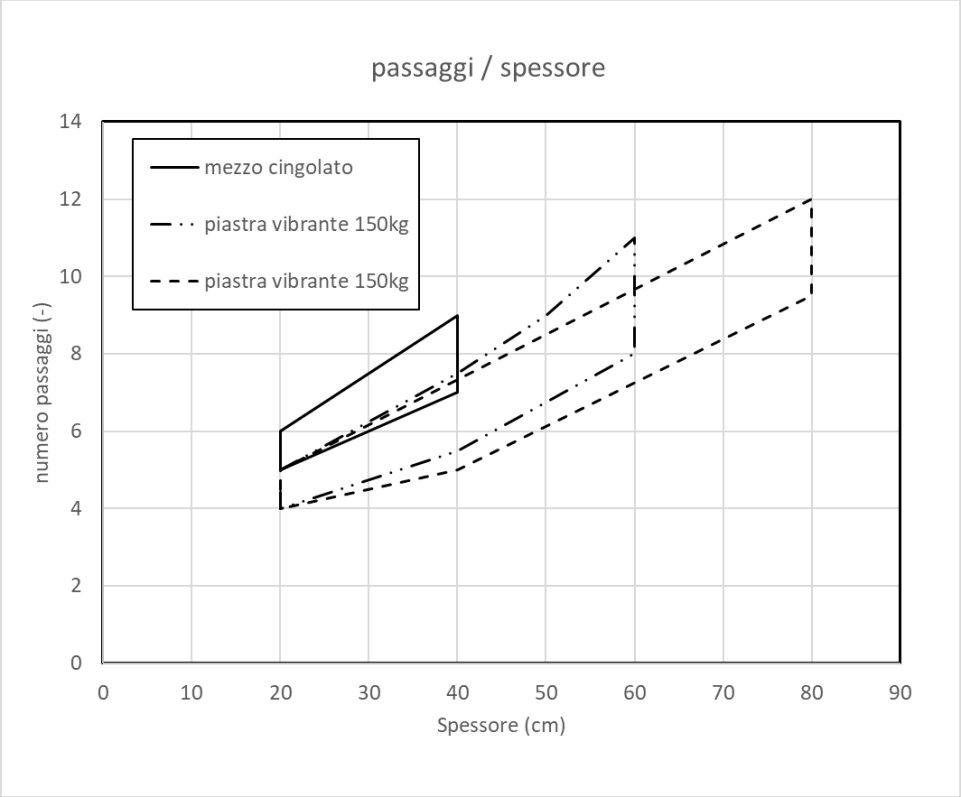
3.4.3.1 Rilevati in argilla espansa e misto stabilizzato granulometricamente

Il metodo più utilizzato per la realizzazione di rilevati "alleggeriti" è quello di alternare strati di argilla espansa e di materiale appartenenti ai gruppi A1-a e A3 con le prescrizioni di cui al § 3.3.3. Lo spessore di ciascuno strato generalmente è variabile tra 40÷80cm e non superiore a 100 cm, secondo le indicazioni progettuali. Lo schema realizzativo, partendo dalla stesa dell'elemento separatore, tessuto non tessuto, si procede con il primo strato di materiale "alleggerito" di spessore secondo le indicazioni progettuali, al di sopra di esso viene interposto un successivo elemento separatore, geotessile di tessuto non tessuto, sul quale viene posato uno spessore (circa 20÷30cm) di misto stabilizzato granulometricamente (materiali appartenenti ai gruppi A1-a e A3), successivamente si procede alla compattazione mediante rullo vibrante. Lo spessore massimo dello strato alleggerito e misto stabilizzato non deve superare i 120 cm. Lo strato sommitale, posto al di sotto del pacchetto di pavimentazione deve avere uno spessore di 40 cm costituito da materiale appartentente ai gruppi A1-a e A3.

I rilevati così realizzati, hanno una densità media del pacchetto compresa tra 600 e 1200 kg/m^3. Qualora siano presenti elementi di contenimento della larghezza del rilevato (geogriglia, bandele metalliche, ecc.) devono essere posti immediatamente al di sopra dello strato misto evitando il contatto con il geotessile.

3.4.3.2 Rilevati in sola argilla espansa

Facendo seguito a particolari esigenze prestazionali (peso medio del riempimento compreso tra 400÷600kg/m^3), il rilevato viene realizzato interamente con materiale *"leggero":* si prevede l'interposizione di un tessuto non tessuto con finalità di elemento separatore tra il terreno naturale e l'argilla; gli ulimi 40 cm in sommità del rielvato sarà costituito da materiale appartenenti ai gruppi A1-a e A3 con le prescrizioni di cui al § 3.3.4.3, al di sopra del quale viene posizionato il pacchetto di pavimentazione.
L'addensamento viene realizzato mediante il passaggio di piastra vibrante o mezzo cingolato (escavatore, pala, dozer, ecc.) direttamente sopra l'argilla espansa. Il numero di passaggi è dipendente dallo spessore degli strati di posa posti in opera in successione e della tipologia del mezzo utilizzato. Nella figura seguente, a titolo indicativo, è indicato il numero di passaggi in funzione dello spessore dello strato e del mezzo.



È possibile compattare il rilevato mediante passaggio del rullo direttamente sopra l'argilla espansa previa posizionamento di una geogriglia protetta da un ulteriore strato di 10cm di argilla espansa e infine passare con il rullo vibrante.
Si tenga in considerazione che il corretto addensamento dell'argilla espansa corrisponde, indicativamente, ad un calo volumetrico pari a circa il 17 %.

3.4.3.3 Rilevati/riempimenti in argilla espansa cementata

Ogni consegna di materiale in cantiere deve essere accompagnata dai documenti di trasporto (DDT) indicanti la composizione del mix che devono essere trasmessi settimanalmente alla Direzione Lavori. L'argilla espansa cementata può essere scaricata direttamente sul luogo previsto dalla betoniera con l'utilizzo di opportuna canala di scarico o pompata ad aria compressa.
La compattazione deve essere fatta con piastra vibrante per strati di spessore compreso tra 30 e 50 cm in continuo fino al raggiungimento della quota prevista in progetto.
La modalità di stesa e compattazione deve essere preventivamente comunicata al Direttore dei Lavori in fase di qualifica per approvazione.
Il transito di cantiere potrà essere ammesso sul rilevato finito a partire dal terzo giorno dopo quello in cui è stata effettuata la stesa e limitatamente ai mezzi gommati. Aperture anticipate vanno correlate alle resistenze raggiunte e previa verifica che il transito non danneggi lo strato. Comunque il tempo di maturazione non potrà essere mai inferiore a 48 h.

3.4.4 Rilevati in terra "Armata" o "Rinforzata"

Gli elementi di rinforzo messi in opera dovranno essere identificati ed ispezionati in dettaglio al fine della dichiarazione di conformità alle caratteristiche richieste che dovrà essere documentata.

I campi prova, da realizzarsi a cura e spese dell'appaltatore sotto la supervisione della D.L., dovranno essere eseguiti prevedendo il ricorso a terreni con caratteristiche granulometriche e di natura e forma degli elementi che costituiscono lo scheletro solido identiche al materiale che si intende utilizzare, impiegando, modalità di stesa e compattazione identiche a quelle di realizzazione dell'opera di sostegno.
Tutte le operazioni di movimentazione e stoccaggio degli elementi di rinforzo dovranno avvenire nel rispetto delle specifiche di Progetto e delle raccomandazioni del fornitore.
Ogni elemento di rinforzo sarà steso su una superficie perfettamente regolare, priva di materiali che possano arrecare danneggiamenti; se necessaria la stesa sarà realizzata previa messa in opera di materiale sabbioso compattato.
La stesa del geosintetico avverrà (se non diversamente indicato in Progetto) perpendicolarmente all' asse del rilevato, senza giunzioni e con risvolto eventualmente indicato nel Progetto; la sovrapposizione in direzione longitudinale sarà quella indicata in Progetto.
Nel caso di elementi di rinforzo caratterizzati da resistenze a trazione differenti nelle varie direzioni la stesa avverrà conformemente all'orientazione specificata in Progetto, e comunque tale da garantire adeguata sovrapposizione degli elementi di rinforzo eventualmente prevedendo strati aggiuntivi con opportuna orientazione.
Al fine di minimizzare le deformazioni necessarie alla mobilitazione della resistenza a trazione, gli elementi di rinforzo saranno stesi sottoponendoli ad un leggero tiro e tenuti in quella posizione prima della messa in opera dello strato di aggregato che avverrà entro il tempo specificato in Progetto, comunque non oltre 24 ore dalla stesa dell'elemento di rinforzo.
Gli elementi di rinforzo non dovranno essere in alcun modo esposti al diretto passaggio dei mezzi di cantiere prima della loro totale copertura con materiale da rilevato per uno spessore di almeno 30 cm.
La sequenza di messa in opera dello strato di aggregato sugli elementi di rinforzo poggianti su terreni a grana fine teneri dovrà avvenire in accordo alle specifiche di Progetto, e comunque in modo tale che non venga procurata la rottura del terreno di fondazione e la formazione di fenomeni di sollevamento ("bow waves") che possono danneggiare gli elementi di rinforzo; tale fenomeno andrà evitato, eventualmente riducendo al minimo lo spessore di aggregato messo in opera per la transitabilità dei mezzi. A tal riguardo la stesa e la compattazione dovranno essere eseguite per strati di spessore non superiore a 25 cm, salvo che in fase di qualifica l'Appaltatore dimostri che spessori superiori non danneggino gli elementi di rinforzo. Il costipamento in opera deve raggiungere i valori di cui al § 3.3.13.
Per i rilevati eseguiti con la tecnica della terra rinforzata e in genere per quelli delimitati da opere di sostegno flessibili (quali gabbioni) sarà tassativo che la stesa avvenga sempre parallelamente al paramento esterno.

3.5 Controlli in corso d'opera

3.5.1 Controlli dell'Appaltatore

Per garantire il rispetto delle prestazioni, la frequenza e la tipologia dei controlli in corso d'opera sono definite in funzione dei materiali impiegati e dei relativi quantitativi, in coerenza con le prescrizioni dei Criteri Ambientali Minimi. L'Appaltatore è tenuto a documentare in apposito report l'esito delle seguenti verifiche da trasmettere alla Direzione Lavori:

- rispondenza dei documenti di trasporto delle forniture all'arrivo in cantiere e la rispondenza delle caratteristiche per lo specifico impiego previsto a progetto e alla qualifica approvata dal Direttore dei Lavori;

- rispondenza dei mezzi d'opera utilizzati e delle modalità di posa (numero di passate, velocità operativa, frequenza) alle specifiche di capitolato e di qualifica;
- della sagoma del rilevato di cui al successivo § 3.6.1.1;
- dei controlli effettuati in corso d'opera di cui ai successivi paragrafi.

3.5.1.1 Controllo della sagoma del rilevato

L'Appaltatore dovrà provvedere, a propria cura e spese, alla verifica topografica della sagoma degli scavi di scotico, bonifica e dei vari strati di stesa del rilevato rispetto alle previsioni progettuali prima di procedere con la posa di ogni strato successivo. Il rilievo dovrà individuare, sia graficamente, sia in una apposita tabella suddivisa per wbs, i volumi di scavo e dei materiali impiegati per la costruzione del rilevato suddivisi per provenienza e tipologia (da scavi interni al cantiere, dai vari fornitori, riciclato, da cava, stabilizzato ecc.).
Dovrà inoltre essere controllato lo spessore dello strato di terreno vegetale, l'eventuale realizzazione di gradoni di ancoraggio e l'uniformità dell'inerbimento.

Il rilievo, ed ogni suo successivo aggiornamento da redigere su base mensile se in presenza di lavorazioni sul rilevato, deve essere trasmesso al Direttore dei Lavori in formato dwg e rispettare i limiti di cui al § 3.6.

3.5.2 Controllo dei valori prestazionali del rilevato

La Direzione Lavori, in contraddittorio e con l'assistenza dell'Appaltatore, eseguirà per ogni tipologia di aggregato o miscela e per ogni fornitore od origine del materiale, una prova a verifica delle caratteristiche indicate, in base alla frequenza di volume (o superficie per il piano di posa) di materiale messo in opera:

Tipo di prova	Rilevati Stradali/Autostradali			Terre Rinforzate ed Armate	Rilevati precarico Riempimenti banche
	Piano di posa dei rilevati (piano di scotico)	Corpo del rilevato (compreso riempimento di bonifica e cementato)	Ultimo strato di spess. 30 cm		
	m^2	m^3	m^3	m^3	m^3
Per tutti i tipi: Classificazione Designazione della miscela Sopravaglio della miscela Contenuto massimo dei fini Granulometria della miscela Massa volumica max - Proctor Mod. *Per sottofondo:* Portanza CBR dopo 4d Rigonfiamento CBR *Per gli aggregati riciclati:* SS - Solfato solubile in acqua Rcug - Contenuto di frammenti di cls … Rg - Contenuto di vetro Ra - Contenuto di materiali bituminosi FL - Contenuto di materiale galleggiante	n/a	10000	10000	10000	10000

Tipo di prova	Rilevati Stradali/Autostradali			Terre Rinforzate ed Armate	Rilevati precarico Riempimenti banche
	Piano di posa dei rilevati (piano di scotico)	Corpo del rilevato (compreso riempimento di bonifica e cementato)	Ultimo strato di spess. 30 cm		
	m²	m³	m³	m³	m³
X_1 – Contenuto di terreno vegetale … Rb – Contenuto di argilla mattoni … AS – Solfato solubile in acido S - Zolfo totale Test di cessione (solo aggregati di origine riciclata) *Per argilla espansa:* massa volumica in mucchio compressibilità e resistenza alla compressione triassiale assorbimento di acqua a 24 ore					
Per gli aggregati naturali e riciclati: Appiattimento dell'aggregato grosso Qualità dei fini Resistenza alla frammentazione Sonnenbrand del basalto Stabilità volumetrica	n/a	20000	20000	20000	20000
Densità in sito CNR 22 (min 1 prelievo al giorno, per ogni strato e wbs) in conformità ai valori di cui al § 3.3.13	n/a	1000	800	1000	1000
Carico su piastra CNR 146/92 (min 1 prelievo al giorno, per ogni strato e wbs) in conformità ai valori di cui al § 3.3.12	1500	1000	800	1000	1000
Per cementato (min 1 prelievo al giorno, per ogni strato e wbs): *a tergo opere:* resistenza a compressione a 7 giorni resistenza a trazione indiretta a 7 giorni *argilla espansa cementata:* resistenza a compressione a 7 giorni (cubetto 15x15) densità secca cubetto consistenza fresco resistenza al fuoco	n/a	1000	n/a	n/a	n/a
Resistività	n/a	n/a	n/a	1000	n/a
pH	n/a	n/a	n/a	1000	n/a
Solfati e cloruri	n/a	n/a	n/a	1000	n/a
Solfuri	n/a	n/a	n/a	1000	n/a

La frequenza delle prove sopra specificate deve ritenersi come minima e dovrà essere infittita in ragione della discontinuità granulometrica dei materiali portati a rilevato, della disomogeneità nelle procedure di compattazione e delle differenti condizioni metereologiche. Le prove aggiuntive che si rendono necessarie per aspetti legati all'organizzazione dell'Appaltatore saranno a suo onere.

Prima che sia messo in opera uno strato successivo, ogni strato di rilevato dovrà essere sottoposto alle prove di piastra e densità per verificare che siano rispettati i requisiti di costipamento minimi richiesti.
Le prove andranno distribuite in modo tale da essere sicuramente rappresentative dei risultati, in relazione alle caratteristiche dei terreni attraversati. La Direzione Lavori potrà richiedere, in presenza di terreni "instabili", l'esecuzione di prove speciali (prove di carico su piastra previa saturazione ecc.).

Le caratteristiche di deformabilità dovranno essere accertate in modo rigoroso e dovranno ritenersi rappresentative, anche a lungo termine, nelle condizioni climatiche e idrogeologiche più sfavorevoli; si fa esplicito riferimento a quei materiali a comportamento "instabile" (collassabili, espansivi, gelivi, etc.) per i quali la determinazione del modulo di deformazione sarà affidata a prove speciali (edometriche, di carico su piastra in condizioni sature ecc.).

3.5.3 Controllo sul geotessile

La Direzione Lavori, in contraddittorio e con l'assistenza dell'Appaltatore dovrà eseguire la campionatura del materiale secondo la Norma UNI EN ISO 9862 con frequenza di un prelievo ogni 20.000 m^2 di prodotto omogeneo fornito e per ogni produttore.
Si effettueranno le prove di verifica dei requisiti di cui alla tabella riportata al § 3.3.7.

3.6 Tolleranze di esecuzione e penali

3.6.1 Sagoma del rilevato

La superficie finita della sagoma del rilevato non dovrà discostarsi da quella di Progetto di +2,5 cm e -1,5 cm. Inoltre non deve essere compromessa la stabilità del complesso rilevato terreno di fondazione e gli assestamenti residui alla consegna dell'opera devono risultare non superiori al 10% dei cedimenti teorici residui attesi.

3.6.2 Prove di piastra e densità

Nel caso le prove di piastra e densità non diano esito conforme, la lavorazione non potrà essere accettata ed il materiale deve essere rilavorato a cura ed onere dell'Appaltatore senza che lo stesso possà altresì aver diritto ad un maggior tempo per l'esecuzione dell'Appalto.

3.7 Documenti di prequalifica e controlli di accettazione

L'Appaltatore deve trasmettere al Direttore dei Lavori per approvazione almeno 15 giorni prima dell'inizio delle attività la documentazione di seguito elencata.
La mancata presentazione della documentazione preliminare comporta la non autorizzazione all'inizio dell'esecuzione dei lavori, né saranno accettate eventuali lavorazioni svolte prima dell'approvazione delle modalità esecutive.

Nello specifico è richiesto un dossier di prequalifica dei materiali che comporranno il rilevato, che contenga:

- La marcatura CE e DoP di tutti gli aggregati, dei materiali costituenti le miscele e del geotessile
- Benestare degli enti competenti ad autorizzare la coltivazione della cava
- L'indicazione del tipo di mezzi utilizzati per il trasporto, la stesa e la compattazione degli aggregati e delle miscele. Nello specifico l'Appaltatore dovrà indicare modalità esecutive di

dettaglio (numero di passate, velocità operativa, frequenza, valori portanza di ogni strato nel rispetto dei contenuti del §3.3.1414) adottate per tipologia di aggregato e miscela e le condizioni climatiche limite di lavoro. Per la corretta gestione degli impatti acustici e vibrazionali derivanti dalla lavorazione, si rimanda alle disposizioni del Capitolato Ambientale. In particolare, si richiama l'obbligo per l'Appaltatore provvedere a un'opportuna campagna informativa della popolazione

- Documentazione che attesti in modo univoco la provenienza dei materiali impiegati.
- Method Statement (o Relazione Illustrativa): L'appaltatore dovrà presentare, per ciascun materiale riciclato o sottoprodotto che intende utilizzare, un documento che ne descriva la provenienza, le caratteristiche tecniche, le modalità e le percentuali di impiego, e le procedure esecutive (inclusa la gestione degli spessori degli strati e le modalità di compattazione), al fine di dimostrare il rispetto dei requisiti prestazionali del progetto del CSA.

Per gli aggregati del rilevato i certificati delle prove di cui alla tabella del § 3.3.2:

- Classificazione
- Designazione della miscela
- Sopravaglio della miscela
- Contenuto massimo dei fini
- Granulometria della miscela
- Appiattimento dell'aggregato grosso
- Qualità dei fini
- Resistenza alla frammentazione
- Massa volumica max. con energia Procotor modificata (eccetto anticapillare)
- Portanza CBR dopo 4d di imbibizione su provini costipati, con umidità ±2% dell'ottimo, al 95% della massa volumica massima all'energia Proctor modificata (solo per sottofondo)
- Rigonfiamento CBR (solo per sottofondo)
- Sonnenbrand del basalto (solo per aggregati per cui è prevista la prova)
- Stabilità volumetrica (solo per aggregati per cui è prevista la prova)
- Solfato solubile in acqua (solo aggregati di origine riciclata)
- Contenuto di frammenti di conglomerati cementizi ecc. (solo aggregati di origine riciclata)
- Contenuto di vetro (solo aggregati di origine riciclata)
- Contenuto di materiali bituminosi (solo aggregati di origine riciclata)
- Contenuto di materiale galleggiante (solo aggregati di origine riciclata)
- Contenuto di terreno vegetale ecc. (solo aggregati di origine riciclata)
- Test di cessione (solo aggregati di origine riciclata)

Per ogni fornitura di granulato di conglomerato bituminoso di cui al § 3.3.2:

- La curva granulometrica ante estrazione (curva nera) rappresentativa della fornitura da utilizzare nella realizzazione del campo prove e per il successivo utilizzo;
- Il quantitativo di bitume presente nel granulato relativo alla fornitura.
- dichiarazione del Lotto di Produzione e relativa Dichiarazione di Conformità (DDC) emessa ai sensi del D.M. 69/2018 all.2

I certificati di Laboratorio non devono avere data antecedente le frequenze riportate nei prospetti C1 e C2 della UNI EN 13242 e, dove queste frequenze non sono indicate nella UNI, il certificato non deve avere data antecedente 6 mesi rispetto alla trasmissione della documentazione al Direttore dei Lavori.

Per gli aggregati alleggeriti i certificati delle prove di cui ai §§ 3.3.3.2, 3.3.4.2, 3.3.5.2:

- Granulometria della miscela
- Massa volumica in mucchio
- Compressibilità e resistenza alla compressione triassiale
- Assorbimento di acqua a 24 ore
- Classe di resistenza al fuoco

Per la miscela in argilla espansa cementata i certificati delle prove di cui al § 3.3.5.5:

- Densità;
- Resistenza a compressione a 7 giorni
- Classe di consistenza fresco
- Determinazione del periodo di lavorabilità della miscela alla temperatura massima a cui l'Appaltatore prevede di stendere e compattare (non superiore a 35°)

Per il misto cementato a ridosso delle opere d'arte i certificati delle prove di cui al § 3.3.6.5:

- Resistenza alla compressione con provini cilindrici compattati a 7 giorni di stagionatura
- Resistenza a trazione indiretta
- La compattezza della miscela alla massima massa volumica a secco Proctor modificata
- Determinazione del periodo di lavorabilità della miscela (UNI EN 13286-45) alla temperatura massima a cui l'Appaltatore prevede di stendere e compattare (non superiore a 35°)

Qualora la Direzione Lavori accerti la non corrispondenza anche ad una sola delle caratteristiche richieste in riferimento ai documenti di qualifica del materiale, questo non potrà essere impiegato nella lavorazione e se la stessa Direzione Lavori riterrà, a suo giudizio, che non possa essere reso idoneo mediante opportuni correttivi da effettuare a cura e spese dell'Appaltatore, non potrà essere accettato in cantiere.

Le prove e i certificati di accettazione iniziale della fase di prequalifica sono da ripetere ad ogni cambio cava, fornitore o tipo di materiale a cura ed onere dell'Appaltatore.

I requisiti d'accettazione saranno inoltre accertati con ulteriori prove a cura della Direzione Lavori sia in cava o dal fornitore preliminarmente all'arrivo in cantiere (controllo non vincolante per l'autorizzazione dei documenti di qualifica), sia in corso d'opera, prelevando il materiale in sito o ancora in cava, prima e dopo avere effettuato il costipamento.

Per comodità di consultazione delle prove di classificazione delle terre e la determinazione del loro gruppo di appartenenza si riporta sotto Tabella 1 di cui al prospetto 1 della norma UNI 11531-1.

Tabella 1: Caratteristiche prestazionali delle terre naturali

Classificazione generale	**Terre ghiaio-argillose Frazione passante al setaccio 0,063 <35%**							**Terre limo-argillose Frazione passante al setaccio 0,063 >35%**					**Torbe e terre organiche palustri**
Gruppo	A1		A3	A2				A4	A5	A6	A7		A8
Sottogruppo	A1-a	A1-b		A2-4	A2-5	A2-6	A2-7				A7-5	A7-6	
Analisi granulometrica Frazione passante al setaccio													
2 UNI EN 933	≤ 50	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
0,4 UNI EN 933	≤ 30	≤ 50	> 50	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
0,063 UNI EN 933	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	> 35	> 35	> 35	> 35	> 35	
Caratteristiche della frazione passante al setaccio 0,4 UNI EN 933													
Limite liquido	--		--	≤ 40	> 40	≤ 40	> 40	≤ 40	> 40	≤ 40	> 40	> 40	
Indice di plasticità	≤ 6		N.P.	≤ 10	≤ 10	> 10	> 10	≤ 10	≤ 10	> 10	> 10 IP≤ LL-30	> 10 IP> LL -30	
Indice di gruppo	0		0	0		≤ 4		≤ 8	≤ 12	≤ 16	≤ 20		
Tipi usuali dei materiali caratteristici costituenti il gruppo	Ghiaia o breccia, ghiaia o breccia sabbiosa, sabbia grossa, pomice, scorie vulcaniche, pozzolane		Sabbia fine	Ghiaia e sabbia limosa o argillosa				Limi poco compressib.	Limi fortemente compressib.	Argille poco compressibili	Argille fortemente compressibili mediamente plastiche	Argille fortemente compressibili fortemente plastiche	Torbe di recente o remota formazione, detriti organici di origine palustre
Qualità portanti quale terreno di sottofondo in assenza di gelo	Da eccellente a buono					Da mediocre a scadente							Da scartare come sottofondo
Azione del gelo sulle qualità portanti del terreno di sottofondo	Nessuna o lieve			Media				Molto elevata		Media	Elevata	Media	
Ritiro o rigonfiamento	Nullo			Nullo o lieve				Lieve o medio		Elevato	Elevato	Molto elevato	
Permeabilità	Elevata			Media o scarsa						Scarsa o nulla			
Identificazione del terreno in sito	Facilmente individuabile a vista		Aspri al tatto incoerenti allo stato asciutto	La maggior parte dei granuli sono individuabili ad occhio nudo Aspri al tatto Una tenacità media o elevata allo stato asciutto indica la presenza di argilla				Reagiscono alle prove di scuotimento* Polverulenti o poco tenaci allo stato asciutto. Non facilmente modellabili allo stato umido		Non reagiscono alla prova di scuotimento* Tenaci allo stato asciutto Facilmente modellabili in bastoncini sottili allo stato umido			Fibrosi di colore bruno o nero Facilmente individuabili a vista

Prova di cantiere che può servire a distinguere i limi e le argille. Si esegue scuotendo nel palmo della mano un campione di terra bagnata e comprimendolo successivamente fra le dita. La terra reagisce alla prova se, dopo lo scuotimento, apparirà sulla superficie un velo lucido di acqua libera, che scomparirà comprimendo il campione fra le dita.

3.8 Trattamenti delle terre con calce o cemento

3.8.1 Descrizione e campo di applicazione

Con trattamento a calce o cemento di una terra si intende la miscelazione della stessa calce, viva o idrata o cemento, in quantità tali da migliorare, attraverso reazioni chimico-fisiche, le sue caratteristiche di lavorabilità e di suscettibilità all'acqua, nonché le sue proprietà meccaniche. La presente norma si riferisce all'utilizzo della tecnica di trattamento a calce o cemento delle terre per:

- la costruzione del corpo dei rilevati (compreso l'ultimo strato di 30 cm);
- il trattamento del terreno naturale al di sotto del piano di scotico;

Nella presente norma si fa riferimento alla sola operazione di mescolazione delle terre/aggregati con legante sul sito di realizzazione del rilevato.

Al fine di evitare eventuali fenomeni di spolvero e trasporto eolico o dilavamento in caso di precipitazioni, il trattamento con legante dovrà avvenire nel rispetto della Procedura di trattamento o stabilizzazione a calce allegata alla relazione sulla gestione delle terre/Piano di Utilizzo e delle disposizioni riportate nel Capitolato Ambientale.

3.8.2 Criteri di accettazione dei materiali

3.8.2.1 Terreni/aggregati naturali

Per quanto riguarda la qualifica dei materiali da trattare a calce o cemento si rimanda integralmente ai precedenti § 3.3 e 3.4.

Potranno essere trattati a calce o cemento terreni naturali in posto o gli aggregati naturali provenienti dagli scavi (di bonifica, di sbancamento e in galleria) o materiali provenienti da esterno naturali o riciclati di cui sia dimostrata, mediante una opportuna serie di analisi di laboratorio, la capacità di dare luogo a quelle trasformazioni chimico-fisiche che conducono al miglioramento delle caratteristiche di lavorabilità e delle proprietà meccaniche.

Indicativamente, sono idonee al trattamento con **calce**:

- le terre/aggregati fini plastiche limose-argillose dei gruppi A6 - A7 con valori dell' indice plastico normalmente compresi fra 10 e 50 o anche superiori
- terre/aggregati appartenenti al gruppo A5, quando di origine vulcanica
- le terre/aggregati appartenenti ai gruppi A2-6 e A2-7, quando contengano una frazione di passante al setaccio 0.4 UNI superiore al 35%;
- le terre/aggregati appartenenti ai gruppi A1, A2-4, A2-5, A3, A4 con indice di gruppo 0 quando le condizioni climatiche avverse, e quindi l'umidità della terra, non consentono di raggiungere la capacità portante prevista in progetto e di eseguire la lavorazione a regola d'arte.

Indicativamente, sono idonee al trattamento con **cemento**:

- le terre di tipo sabbioso, ghiaioso, sabbioso-limoso e/o argilloso, ghiaioso-limoso e/o argilloso e limoso dei gruppi A1, A3, A2-4, A2-5, ed avere indice di plasticità normalmente minore di 15. Sono preferibili i terreni sabbiosi a granulometria continua con una percentuale di passante al setaccio 0,075 mm non superiore al 10-15%. Per sabbie troppo uniformi in genere i risultati sono poco soddisfacenti in quanto vengono utilizzate grosse quantità di cemento
- i materiali friabili o profondamente alterati, purché riconducibili con un adeguato trattamento alle volute funzioni portanti.

In ogni caso:

- la curva granulometrica dovrà rientrare all'interno del fuso riportato nella fig. 1 della norma CNR B.U. 36 di seguito richiamata:

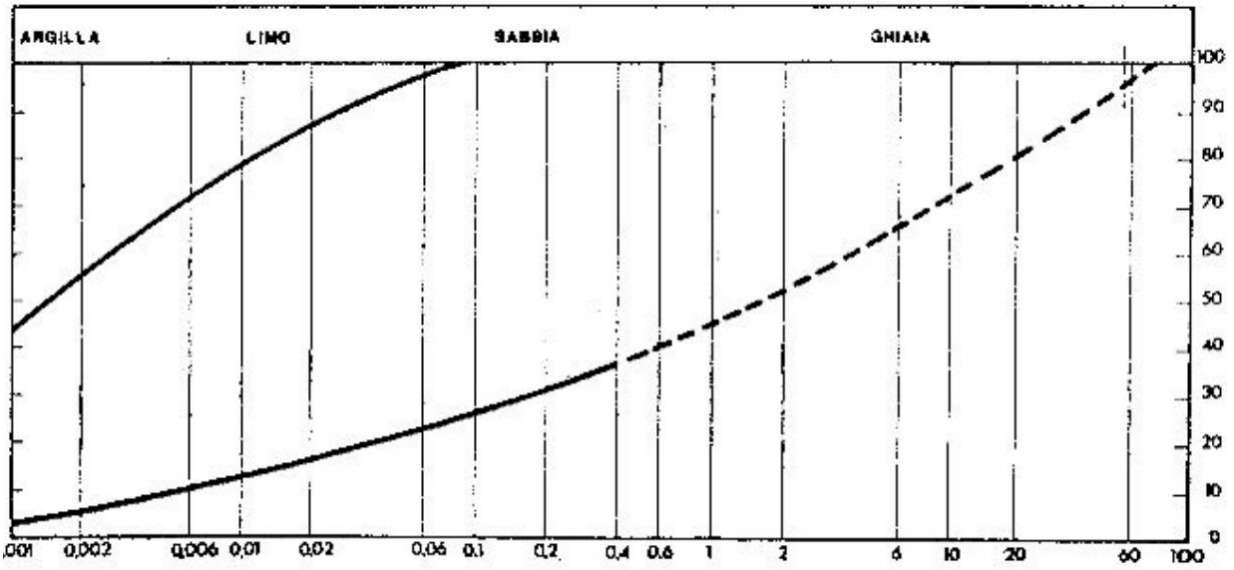


Fig. 1 – Fuso granulometrico delle terre per la stabilizzazione con calce

- Il contenuto di sostanze organiche dovrà essere inferiori al 2%; tale valore potrà essere portato fino al 4% nel caso di trattamento del piano di posa, purché sia dimostrato il raggiungimento dei requisiti di resistenza e deformabilità e durabilità richiesti. Il materiale, se proveniente dagli scavi dovrà essere esente da eventuali residui di lavorazione (blocchi di calcestruzzo spruzzato, elementi di vetroresina, …). In particolare, laddove sia previsto l'impiego di smarino di galleria, l'Appaltatore provvederà a sua cura e spese all'adozione delle più opportune tecnologie di scavo o all'eventuale frantumazione e vagliatura del materiale stesso, al fine di ridurlo ad idonea pezzatura.
- I solfati totali (solfati e solfuri) dovranno essere inferiori al 2% (UNI EN 196-2), fatta eccezione per l'ultimo strato del rilevato dove dovranno essere tassativamente inferiori allo 0.25% al fine di evitare eventuali fenomeni di espansione volumetrica.
- Contenuto d'acqua Wn inferiore a 1.3 Wnopt, essendo quest' ultimo il contenuto d' acqua alla densità ottimale secondo la prova AASHTO mod T/180-57. Qualora il terreno da trattare sia troppo secco, dovrà essere umidificato aggiungendo un'opportuna quantità di acqua con controllo finale su più punti del contenuto Wn raggiunto.

3.8.2.2 Calce

Ogni partita di prodotto dovrà essere accompagnata da un attestato di conformità alla norma UNI EN 459-1 con sistema di attestazione di conformità 2+, in accordo con il regolamento (UE) 305/2011 e Dlgs 106/2017, e secondo il R.D. n.2231/1939 ("Norme sull' accettazione delle calci").
Sono ammessi i due seguenti tipi di calce:
- calce aerea idrata (Ca(OH)2)
- calce area viva macinata (CaO)

I requisiti della calce sono indicati nella tabella seguente:

REQUISITO	CALCE VIVA	CALCE IDRATA
CO2	<5%	-
(CaO+MgO) Totali	>84%	-
Titolo in Idrati	-	>85%
SiO2+Al2O3+Fe2O3+SO3	<5%	<5%
Tenore in MgO	<10%	<8%
Umidità	-	<2%
Acqua legata chimicamente	<2%	-
Reattività all' acqua	> 60° in 25'	
Dimensione massima dei grani	<2 mm	<2 mm
Percentuale passante, in peso	setaccio 0.2mm > 90% setaccio 0.075mm >50%	setaccio 0.075 mm>50%

La calce potrà essere approvvigionata in sacchi o allo stato sfuso. Nel primo caso i sacchi saranno alloggiati in ambienti coperti e al riparo dall'umidità; nel caso di approvvigionamento allo stato sfuso, la calce sarà stoccata in cantiere in appositi silos, con sistema di abbattimento delle polveri, derivanti dallo scarico pneumatico dalle autobotti di approvvigionamento della calce. La quantità di calce disponibile in cantiere dovrà essere sufficiente ad assicurare almeno 2 giorni di piena operatività del cantiere.
Dovrà essere evitata in tutta l'area di lavoro la presenza di calce non reagita.

3.8.2.3 Cemento

Ogni fornitura dovrà essere accompagnata dalla marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA della norma europea armonizzata UNI EN 197-1 con sistema di attestazione di conformità 1+. Si dovrà prediligere l'uso di cementi a presa lenta e classe di resistenza 32,5N.

Nel caso di significativa presenza nei terreni di solfati, entro comunque la massima % ammessa nel § 3.8.2.1, dovranno essere utilizzati leganti resistenti ai solfati (SR).

Può essere utilizzato, ove siano rispettati tutti i requisiti prestazionali del presente articolo di capitolato, un legante idraulico per strade della classe E4 o superiore con marcatura CE conforme alla UNI EN 13282-1 con sistema di attestazione di conformità 2+.

3.8.2.4 Acqua

Per la produzione delle miscele dovranno essere impiegate i tipi di acqua conformi alla Norma UNI EN 1008.
L'acqua da utilizzare per le eventuali correzioni di umidità del terreno naturale dovrà essere dolce, limpida, non inquinata da materie organiche o comunque dannose (oli, acidi, alcali, cloruri, solfati,…) e da qualsiasi altra sostanza nociva alle reazioni terra-calce. La fonte di approvvigionamento sarà indicata alla Direzione Lavori per approvazione.

3.8.2.5 Miscela di terreni/aggregati stabilizzati

Il trattamento a calce o cemento di una terra consiste nella miscelazione intima della stessa con il legante e con acqua in quantità tali da modificare attraverso reazioni chimico-fisiche le sue caratteristiche di lavorabilità e di resistenza meccanica in opera. La risposta dei terreni al trattamento dipende essenzialmente dalla quantità e natura dei minerali argillosi e della silice amorfa in essi contenuta. Dipende, altresì, dalla quantità di legante aggiunta e dalle modalità di lavorazione della miscela.
La percentuale di calce o cemento aggiunta è compresa tipicamente in un intervallo variabile tra l'1,5% ed il 4,0% in peso del terreno da trattare, per cui variabile indicativamente tra i 25 ed i 65 kg/mc (considerando come riferimento un peso del terreno pari a 1600 kg/mc). Il quantitativo di legante steso, considerando uno spessore dello strato da trattare di 0,30 m risulta quindi compreso in un range variabile tra 7 e 20 kg/mq.
La miscela composta da terreni/aggregati stabilizzati dovrà rispondere ai requisiti di portanza del piano di posa e della sovrastruttura stradale indicati al § 3.3.12. Per il grado di costipamento, rullatura e compattazione eseguita, la massima massa volumica (densità) in sito deve essere maggiore o uguale al 95% della massima di cui alla prova AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) nella variante modificata di cui alla norma UNI EN 13286-2 determinata in fase di qualifica.

3.8.3 Prequalifica - studi e prove

L'Appaltatore deve trasmettere al Direttore dei Lavori per approvazione almeno 15 giorni prima dell'inizio delle attività la documentazione di seguito elencata.

- Relazione per la verifica preliminare finalizzata al raggiungimento del miglioramento prefissato delle caratteristiche del terreno, con il minimo impiego di calce o cemento e tale da assicurare nel tempo i requisiti richiesti. Tale relazione è da redigere secondo le indicazioni di cui al § 3.8.3.1
- La marcatura CE e DoP della calce o cemento e i certificati di prova a dimostrazione dei requisiti di cui al § 3.8.2.2 e § 3.8.2.3;
- La fonte di approvvigionamento dell'acqua in conformità al § 3.8.2.4;
- L'indicazione delle fasi operative per la realizzazione del rilevato con trattamento a calce o cemento nel rispetto dei contenuti del Piano di Utilizzo delle Terre e Rocce da Scavo e di eventuali procedure in esso contenuto;
- Il tipo di mezzi utilizzati per lo spargimento del legante, per lo spargimento dell'acqua, per la frantumazione e miscelazione del terreno nonché dei mezzi di compattazione. I mezzi dovranno

presentare adeguatezza, completezza e omogeneità di prestazioni / produttività. Poiché l'attrezzatura più specialistica è rappresentata dal Pulvimixer, alla sua produttività dovrebbero essere legate le prestazioni delle restanti attrezzature (Bulldozer spianatore, spandicalce, ruli …). Si prescrivono comunque le seguenti caratteristiche minime.

Spandicalce:

- precisione del dosaggio: ± 10%
- capacità di stesa in grado di consentire la stesa in un'unica passata
- piena efficienza delle bandelle (in materiale plastico) per il contenimento delle polveri all'atto della stesa della calce.

Pulvimixer:

- profondità di lavoro massima: > 40 cm
- n° dei denti/palette > 80% del nominale
- 4 ruote motrici.

Rulli:

- rulli a piede di montone del peso statico > 16 t
- rulli lisci per le operazioni di finitura.

Per la corretta gestione degli impatti acustici e vibrazionali derivanti dalla lavorazione, si rimanda alle disposizioni del Capitolato Ambientale. In particolare, si richiama l'obbligo per l'Appaltatore provvedere a un'opportuna campagna informativa della popolazione

3.8.3.1 Studi e prove per il trattamento a calce dei terreni/aggregati

Per verificare la compatibilità del terreno al trattamento a calce o cemento dovranno essere prelevati dei campioni da sottoporre a prove di laboratorio. Sulla base dei risultati ottenuti su questi campioni dovranno essere definite delle fasce di terreno "omogeneo", inteso come terreno che dovrà essere trattato con il medesimo quantitativo di calce.
Lo studio si articolerà attraverso:
- indagini sui terreni naturali,
- studio delle miscele sperimentali in laboratorio,
- studio delle miscele in sito mediante la realizzazione di campi prova in scala reale

Il programma delle prove di laboratorio e in sito, nonché il Progetto del campo prova, definito nel dettaglio, dovrà essere presentato dall'Appaltatore alla Direzione Lavori per approvazione.
I risultati ottenuti dovranno essere descritti in dettaglio in specifiche relazione illustrative ed approvate dalla Direzione Lavori
Tali studi e relativi oneri saranno a carico dell'Appaltatore.

3.8.3.1.1 Indagini sui terreni naturali

Per ogni tipo di terreno/aggregato da utilizzare per la costruzione del corpo del rilevato, saranno condotte analisi di laboratorio, intese quali prequalifiche dei materiali e - come tali - a carico dell'Appaltatore.
Le prove di laboratorio, da effettuare su ciascun tipo di terreno/aggregato, sono le seguenti:
- contenuto di sostanze organiche,
- tenore in solfati e solfuri,
- analisi granulometrica, inclusa l'analisi per via umida,
- peso specifico dei grani,
- limiti di Atterberg,

- contenuto d'acqua naturale,
- esame difrattometrico per la ricerca dei minerali argillosi,
- esame ottico per la ricerca dei minerali silicei amorfi,
- prova di compattazione prova AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) nella variante modificata di cui alla norma UNI EN 13286-2
- indice cbr immediato (ipi)
- indice cbr con imbibizione, a 96 hr.
- analisi chimico-fisiche dell' acqua di falda: sali disciolti, ph

A giudizio della Direzione Lavori potranno essere richieste anche le seguenti prove aggiuntive, eseguite su campioni preparati al contenuto d' acqua W_{nopt}:

- compressione a espansione laterale libera con misura dei moduli di deformazione
- compressione edometrica
- taglio diretto
- taglio residuo

Nel caso in cui il terreno sia naturale in sito o provenga da scavi di bonifica, sbancamento e in galleria dovranno essere prelevati n. 1 campione ogni volta che il terreno abbia caratteristiche differenti e in ogni caso almeno 1 ogni 1000 mc secondo uno schema a maglie e comunque rappresentativo dell'area da trattare.
Qualora il terreno da trattare provenga da una cava di prestito, dovrà essere prelevato un campione per ogni quantitativo di terreno omogeneo e comunque almeno 1 ogni 2000 mc.
Il terreno da prelevare in cava dovrà essere identificato mediante scavi di pozzetti e/o sondaggi di profondità adeguata per individuare l'omogeneità del fronte di scavo.
I campioni dovranno essere di adeguata dimensione (del peso complessivo di 30-40 kg cadauno)

3.8.3.1.2 Indagini calce o cemento e terreno

I medesimi campioni rappresentativi dei terreni indagati, saranno utilizzati anche per la caratterizzazione fisico – meccanica delle miscele terreno – calce o cemento. Di norma, la percentuale di calce viva o cemento da utilizzare per la miscela sarà pari al 3% in peso (nel caso di calce idrata 4% in peso).
Tali percentuali sono da intendersi riferite al peso del terreno naturale prima del trattamento e del costipamento.
La Direzione Lavori potrà comunque richiedere uno specifico studio per verificare l'opportunità di utilizzare una diversa percentuale di legante.
Tale studio avrà come scopo la definizione di correlazione empiriche che legano il dosaggio in calce o cemento, il contenuto d' acqua del terreno e i parametri che definiscono le caratteristiche del terreno trattato, ovvero:

- l' indice CBR immediato per gli strati di rilevato
- l' indice CBR per gli strati di rilevato
- il modulo elastico di Young in prova di compressione ad espansione laterale libera (modulo al 50% del carico di rottura).

Per la definizione di tali correlazione si richiede la sperimentazione di miscele con tre contenuti di calce o cemento, ciascuna delle quali effettuata con almeno quattro contenuti d' acqua (tra cui quello ottimo).
Le prove di laboratorio da effettuare su ciascun tipo di miscela terreno-legante sono le seguenti:

- analisi granulometrica, inclusa l'analisi per via umida
- limiti di Atterberg

- contenuto d' acqua
- prova di compattazione aashto mod. t/180-57
- indice cbr immediato
- indice cbr per tempi di maturazione pari a 96 hr, a 7 e a 28 giorni.
- indice cbr con imbibizione, a 96 hr, per tempi di maturazione pari a 96 hr, a 7 e a 28 giorni.

A giudizio della Direzione Lavori potranno essere richieste anche le seguenti prove aggiuntive, eseguite su campioni preparati al contenuto d' acqua W_{nopt} del terreno trattato:

- compressione edometrica
- taglio diretto
- taglio residuo

Anche tali prove saranno eseguite a differenti tempi di maturazione (96 hr, 7 e 28 giorni).
In fase di indagine sono richieste anche le analisi chimico-fisiche dell' acqua utilizzata nella preparazione degli impasti.

3.8.3.1.3 Campi prova

Ultimato lo studio delle miscele sperimentali e prima dell'inizio delle attività di costruzione dei rilevati, e per ogni diverso tipo di materiale, L'Appaltatore dovrà provvedere alla realizzazione di un campo prova.
Finalità del campo prova sono:

- verificare in scala reale i dati ottenuti in laboratorio
- il controllo delle attrezzature, di miscelazione e compattazione
- la definizione delle fasi e metodi delle lavorazioni, con particolare riferimento all'apporto di calce o cemento (eventualmente anche in più fasi, ad es. una prima passata all'1% e una seconda al 2%),
- schemi di miscelatura (n° di passate del Pulvimixer ottimali necessari ad ottenere la granulometria prevista) e rullatura (n° di passate del rullo), in relazione alle attrezzature adottate dall'Appaltatore stesso.
- la definizione delle modalità di controllo e dei limiti di accettabilità dei tenori di umidità dei terreni posti in opera e delle miscele terreno – calce o cemento, prima della rullatura finale.

L'ubicazione di ciascun rilevato, le sue modalità esecutive, l'ampiezza ed il grado di approfondimento delle indagini di laboratorio e le prove di controllo in sito saranno stabilite dalla Direzione Lavori, in base ai risultati delle indagini e degli studi specialistici di Progetto di cui ai punti precedenti, nonché all'entità e importanza dell'opera.
In linea generale, quando è previsto il trattamento con legante delle terre del piano di posa dei rilevati e della soprastruttura per le sedi in trincea, dovrà essere realizzato un campo prova per ogni zona omogenea di terreno naturale di lunghezza utile di 30 m e larghezza tale pari a 6-8 volte la larghezza dello spandi-calce/rullo e di spessore pari a quanto previsto in Progetto per il rilevato vero e proprio.
Quando è previsto il trattamento con legante delle terre da impiegare per la realizzazione degli strati del corpo dei rilevati, dovranno essere realizzati almeno tre strati per un altezza totale di 0.9 m costituito da materiale omogeneo. La dimensione utili in sommità dovranno essere pari a 50 m di lunghezza e larghezza pari a 6-8 volte la larghezza dello spandi-calce/rullo.
L'area prescelta per la prova dovrà essere perfettamente livellata, con pendenza superiore al $5\%_0$ (cinque per mille), e compattata in modo tale da garantire un piano di imposta uniforme e stabile per gli strati terreno–calce o cemento successivamente posti in opera. Il campo prova dovrà essere realizzato secondo le stesse modalità di esecuzione del rilevato.

Dovranno essere messi in opera tipi diversi di compattazione scelti in funzione del terreno da compattare; indicativamente saranno provati 2-4 passate del Pulvi-mixer e due-quattro schemi di rullatura.
Dovranno essere sperimentate almeno 2 miscele tra quelle ritenute idonee dallo studio di laboratorio.
Per la realizzazione del campo prova, sia per il piano di posa sia per gli strati del corpo del rilevato dovranno essere effettuate le operazioni che seguono:

1. dovrà essere tarata la spanditrice di calce o cemento come riportato al punto per il controllo del dosaggio.
2. prima della stesa della calce dovrà essere controllato il contenuto d'acqua del terreno e confrontato con quello utilizzato nello studio delle miscele.
3. dopo la miscelazione dovrà essere di nuovo controllato il valore del contenuto d'acqua e verranno eseguiti i prelievi (da 1 a 3 campioni di 30-40 kg cadauno) per l'esecuzione di prove di classificazione, prove Proctor e CBR e prove geotecniche indicate al § 3.8.3.1.2.
4. la miscela dovrà essere poi compattata secondo schemi di rullatura prefissati.
5. in sommità dello strato finale dovrà essere determinato il modulo di deformazione, con piastra da 30 cm. Le misure dovranno essere effettuate almeno al tempo 0 (cioè subito dopo la compattazione), a 3gg, e a 7gg - 28 gg su almeno 3 punti appartenenti ad una porzione di rilevato omogenea sia per la miscela che per le modalità di compattazione.
6. agli stessi tempi delle prove di carico su piastra, dovranno inoltre essere misurati i valori del CBR in situ, delle densità in situ e del contenuto d'acqua, da eseguirsi su porzioni di terreno in vicinanza dei punti di misura del modulo.
7. le stesse prove di carico su piastra e CBR dovranno essere eseguite dopo imbibimento.
8. dovrà essere controllato lo spessore dello strato finito (rilevati) o controllato la profondità del trattamento (piano di posa).

Il Progetto del campo prova, definito nel dettaglio, dovrà essere presentato dall'Appaltatore alla Direzione Lavori per approvazione.

I risultati ottenuti dovranno confermare quelli dello studio. Nel caso nel quale i requisiti minimi, previsti in Progetto, non venissero raggiunti, dovranno essere modificati i metodi di compattazione e/o le miscele terra/calce fino ad ottenere i requisiti minimi richiesti; in caso contrario si dovrà scartare il prodotto sperimentato.

La miscela ottimale scaturirà dai risultati delle analisi effettuate in laboratorio e da quelli ottenuti nel campo prova e, in ogni caso, dovrà essere approvata dalla Direzione Lavori.

3.8.4 Modalità esecutive

3.8.4.1 Prescrizioni generali

Il trattamento a calce o cemento del terreno non dovrà essere effettuato in caso di temperature inferiori al suolo di 2°C e nel caso nel quale ci sia presenza di acqua o venute di acqua sul piano dove viene steso il terreno da trattare; per i casi di pioggia e in presenza di vento forte, si rimanda a quanto previsto nel Capitolato Ambientale e nella Procedura di trattamento o stabilizzazione a calce allegata al Piano di Gestione Terre/Piano di Utilizzo.
Nel caso che il terreno sia saturo fino al p.c., prima di procedere al trattamento con calce o cemento del piano di posa del rilevato, si dovrà obbligatoriamente provvedere ad abbassare il livello d'acqua e a mantenerlo tale per un tempo, sufficiente a non inficiare l'esito del trattamento.

3.8.4.2 Stesa del terreno naturale

Nel caso di strati di rilevato, la stesa del terreno/aggregato naturale dovrà essere preceduta dalla preparazione della superficie dello strato precedente mediante erpicatura. Lo spessore del materiale steso che dovrà risultare omogeneo tra qualli di cui al § 3.8.2.1 e approvato dal DL, dopo una prima livellazione, dovrà risultare non superiore a quello dei risultati del campo prove. In genere lo spessore è compreso tra 30/50 cm e il massimo lavorabile dipende dalla macchina utilizzata. Indicativamente, lo spessore del materiale steso, da controllare con dime, sarà pari a quello finale previsto, aumentato del 15-20%. Terminata l'operazione di stesa, si procederà alla determinazione dell'umidità naturale che non si dovrà discostare dal campo di valori ottimali definiti a seguito dei risultati delle analisi di laboratorio e del campo prove. Nel caso in cui l'umidità naturale risulti in eccesso, si provvederà ad erpicare ed arieggiare il materiale per favorire l'evaporazione; nel caso di umidità naturale insufficiente, l'Appaltatore provvederà ad umidificare il terreno mediante aspersione d'acqua con autobotte.
Con frequenza giornaliera l'Appaltatore controllerà l'umidità della miscela, che dovrà rientrare nei limiti stabiliti a seguito dei risultati del campo prove e delle analisi di laboratorio. Quando necessario, durante o dopo la miscelazione, si irrorerà il terreno trattato fino a rientrare nei limiti suddetti.

3.8.4.3 Stesa della calce o cemento

Come previsto nel Capitolato Ambientale e nella procedura di stabilizzazione a calce o cemento allegata al Piano di Gestione Terre/Piano di Utilizzo, al fine di scongiurare dispersione di calce in atmosfera, è prevista la simultaneità delle operazioni di spandimento e successiva miscelazione con il terreno, evitando di superare i 15 minuti di latenza.

La stesa del legante sarà effettuata mediante impiego di apposita attrezzatura (spandicalce) a controllo volumetrico o gravimetrico capace di assicurare un dosaggio costante sia in senso trasversale che longitudinale.

La velocità dello spandicalce non dovrà essere superiore a 4 km/hr per cui la fase di stesa legante non supera mai i 15 minuti complessivi considerando generalmente che la macchina spandicalce è in grado di immagazzinare circa 80q di calce o cemento.

Al termine delle operazioni di stesa del legante si verificherà visivamente l'omogeneità della stesa e l'assenza di eventuali zone non trattate. Il controllo della quantità distribuita, nella misura a metro quadrato tale da raggiungere la percentuale in peso prevista in sede di Progetto della miscela, sarà effettuato con frequenza indicata al § 3.8.5.3, posizionando un telo quadrato con superficie 1 mq sul terreno prima del passaggio della macchina spandicalce e pesando poi il legante su di esso depositato a passaggio avvenuto. La quantità di legante distribuita non dovrà risultare inferiore a quella di Progetto.

3.8.4.4 Miscelazione

La miscelazione sarà ottenuta eseguendo il numero di passate di Pulvimixer stabilito a seguito dei risultati del campo prove, e comunque il numero di passaggi e la velocità di avanzamento della macchina dovranno essere tali da raggiungere condizioni omogenee di trattamento. In genere con si può avere:

- Un primo passaggio, tale da permettere il miscelamento terra-calce o cemento per tutto lo spessore dello strato in lavorazione. La velocità di avanzamento della macchina dipende dallo

spessore del terreno da trattare, si può comunque stimare un tempo complessivo della singola fase di miscelazione compreso tra 10 e 30 minuti;

- Un secondo, avente l'obiettivo di riduzione granulometrica del materiale lavorato per tutto lo spessore di lavorazione;
- Un terzo passaggio per realizzare una ulteriore riduzione granulometrica del materiale per tutto lo spessore di lavorazione.

La seconda e la terza passata consentono di raggiungere una intima miscelazione del materiale terroso con il legante, aumentando quindi la superficie di contatto dei due materiali e l'efficacia della reazione di stabilizzazione.

I giunti longitudinali ottenuti dalla lavorazione su stese contigue devono risultare sovrapposti per almeno 15 cm; inoltre nella stessa giornata lavorativa devono essere completati tratti di tracciato per tutta la loro larghezza prevista dal Progetto.
Nei giunti di lavoro trasversali, perpendicolari all'asse del tracciato, la miscela già costipata va ripresa in tutte quelle zone nelle quali il contenuto di legante, lo spessore, o il grado di compattazione risultino inadeguati e/o disomogenei.
Le riprese dovranno essere eseguite all'inizio della successiva giornata lavorativa, nello strato indurito, in modo da presentare superficie verticale, per evitare la possibilità che si manifestino successive fessurazioni.
Nel caso di trattamento su più strati i giunti longitudinali e trasversali dovranno essere opportunamente sfalsati ed inoltre è necessario che lo strato superiore venga miscelato con uno spessore tale da garantire un'ammorsamento di qualche cm nello strato sottostante dando precedenza alle modalità eventualmente richiamte nei documenti progettuali.

3.8.4.5 Compattazione

Il tipo, le caratteristiche e il numero dei mezzi di compattazione, nonché il dettaglio delle modalità esecutive (numero di passate, velocità operativa, frequenza), dovranno essere fissate a seguito delle indagini sul campo prove e sottoposte alla preventiva approvazione della Direzione Lavori.
Per la corretta gestione degli impatti acustici e vibrazionali derivanti dalla lavorazione, si rimanda alle disposizioni del Capitolato Ambientale. In particolare, si richiama l'obbligo per l'Appaltatore provvedere a un'opportuna campagna informativa della popolazione. Prima dell'inizio delle operazioni di rullatura si procederà alla regolarizzazione della superficie dello strato, mediante motolivellatore (graeder).
La compattazione dovrà essere condotta con metodologie atte ad ottenere un addensamento uniforme; a tale scopo i rulli dovranno operare con sistematicità lungo direzioni parallele garantendo una sovrapposizione fra ciascuna passata e quella adiacente pari almeno al 10% della larghezza del rullo. La velocità massima del rullo sarà di 4 km/h. Nel caso di stabilizzazione con calce idrata o cemento, lo strato di terra trattata dovrà essere compattato immediatamente dopo la miscelazione.
Nel caso di trattamento con calce viva, la compattazione dovrà essere eseguita dopo il completamento della reazione esotermica di spegnimento della calce, avendo verificato che il contenuto d'acqua sia quello atteso.
La completa idratazione della calce viva richiede un tempo variabile in funzione della temperatura e umidità del suolo; per temperature superiori ai 3°C, 1 - 3 ore di maturazione della miscela sono sufficienti.

Nella costruzione dei rilevati occorrerà procedere a fronte chiuso, completando in giornata le operazioni di miscelazione e compattazione e sovrapponendo il primo strato di terreno naturale che sarà trattato il giorno successivo, a sua volta leggermente compattato, per minimizzare la carbonatazione e proteggere gli strati sottostanti in maturazione. Qualora le condizioni climatiche siano tali che gli strati lavorati possano subire dannosi effetti di essiccamento/umidificazione, si procederà alla protezione dei medesimi con uno dei seguenti metodi:

- manto di protezione di bitume liquido BL350-700 (BU CNR n.7) in ragione di 1.0 kg/mq.
- emulsione bituminosa a lenta rottura del tipo EL55 (BU CNR n.3) in ragione di 1.8 kg/mq.

Tale protezione dovrà essere rimossa con cura alla ripresa delle lavorazioni.

3.8.5 Prove di controllo

L'Appaltatore, oltre a quanto già indicato al § 3.5.1 è tenuto a documentare in apposito report l'esito delle seguenti verifiche da trasmettere alla Direzione Lavori:

- La quantità di legante a m^3, il volume di rilevato/piano di posa trattato per l'implementazione nel rilievo di cui al § 3.5.1.1
- Le prove indicate al § 3.8.5.2 e i relativi esiti
- Le prove indicate al § 3.8.5.3 e gli esiti delle prove immediate

3.8.5.1 Legante

Il legante dovrà provenire da fornitori qualificati ed approvati da Committente. Le caratteristiche della calce o cemento, dovranno essere certificate a cura dalla DL ogni 250 ton di prodotto consegnato.

3.8.5.2 Terreno naturale da trattare

Oltre a quanto indicato al § 3.8.2.1 l'Appaltatore deve, a sua cura e spese verificare ogni giorno prima dell'inizio delle attività di miscelazione, il contenuto d'acqua del terreno da trattare ed in funzione di questa verifica deve tarare la spanditrice secondo i contenuti della qualifica ed eseguire una verifica di tale taratura. Se le condizioni meteo dovessero essere tali da alterare il contenuto d'acqua del terreno le operazioni suddette devono essere ripetute durante il corso della giornata lavorativa.
Nel caso di utilizzo di spanditrici che producano un diagramma dello spandimento, il controllo dovrà essere effettuato solo durante la fase di taratura della macchina.

3.8.5.3 Terreno miscelato prima e dopo miscelazione

Sul terreno miscelato sono da eseguire, a carico della DL in contraddittorio e con l'assistenza dell'Appaltatore, le seguenti prove:

Tipo di prova	Rilevati Stradali/Autostradali		
	Piano di posa dei rilevati (piano di scotico)	Corpo del rilevato (compreso riempimento di bonifica)	Ultimo strato di spess. 30 cm
	m^3	m^3	m^3
Terreno miscelato prima della stesa: -Granulometria della miscela (la componente limo-argillosa deve passare per il 75% al setaccio da 25 mm)	8000	8000	8000

-indice cbr immediato -indice cbr con imbibizione, a 96 hr			
Terreno miscelato dopo la compattazione: - Densità in sito CNR 22 (min 1 prelievo al giorno, per ogni strato e wbs) - Carico su piastra CNR 146/92 (min 1 prelievo al giorno, per ogni strato e wbs) - contenuto d'acqua Wn - quantità di calce (secondo § 3.8.4.3)	1000	1000	800

La frequenza delle prove di seguito specificata deve ritenersi come minima e dovrà essere infittita in ragione della discontinuità granulometrica dei materiali portati a rilevato, della variabilità nelle procedure di compattazione e delle differenti condizioni meteoreoligiche.
Prima che sia messo in opera uno strato successivo, ogni strato di rilevato dovrà essere sottoposto alle prove di piastra e densità per verificare che siano rispettati i requisiti di costipamento minimi richiesti.
Le prove andranno distribuite in modo tale da essere sicuramente rappresentative dei risultati, in relazione alle caratteristiche dei terreni attraversati.

Art. 3 NO CAM - Rilevati

3.1 Descrizione e campo di applicazione

Il rilevato viene inteso come il solido messo in opera per portare l'asse stradale dal piano di campagna fino alla quota prevista in progetto. Esso è composto dal corpo del rilevato e dal sottofondo. Il primo rappresenta il volume necessario a colmare la differenza di quota tra il piano di campagna e il sottonfondo previa asportazione dello strato di terreno vegetale. Il secondo rappresenta, nel caso dei rilevati, la parte sommitale del corpo del rilevato la cui profondità arriva alla quota entro la quale vengono dissipati i carichi da traffico.

Il corpo del rilevato può ricomprendere l'eventuale volume di bonifica inteso come quell'azione di sostituzione, correzione, miglioramento o stabilizzazione, se del caso combinate tra loro, del terreno presente al di sotto del rilevato o al di sotto del piano della sovrastruttra nel caso di trincea. Il sottofondo rappresenta, nelle sezioni in trincea, la parte del terreno in sito, eventualmente bonificato, sulla quale è realizzata la sovrastruttura.

Le caratteristiche geometriche del corpo del rilevato, la natura e le proprietà geometriche, fisico meccaniche e chimiche dei materiali che costituiscono il corpo del rilevato e l'eventuale strato di bonifica, nonché le modalità e sequenze esecutive ed il piano di monitoraggio a controllo delle previsioni progettuali sono quelle indicate nel Progetto esecutivo o comunque riportate all'interno di questo articolo di Capitolato.

Per ciò che riguarda le definizioni e la terminologia afferente ai termini specifici relativi ai materiali, ai parametri, ai trattamenti, alle partizioni geometriche o elementi strutturali dei contenuti di questo articolo di capitolato si rimanda alla norma UNI EN 11531-1.

Le prescrizioni contenute nel presente articolo capitolato si applicano alle lavorazioni inerenti alla realizzazione dei rilevati per le quali in progetto non si prevede l'applicazione del D.M. 5 agosto 2024 così come aggiornato dal D.M.11 settembre 2025.

Tali prescrizioni sono da ritenersi valide per tutte le viabilità autostradali e per le viabilità interferite o compensative destinate ad essere consegnate al termine dei lavori alle Amministrazioni Locali.

3.2 Normativa di riferimento

Terre e rocce da scavo

- Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n.152 - Norme in materia ambientale
- Decreto del Presidente della Repubblica 13 giugno 2017, n. 120 Regolamento recante la disciplina semplificata della gestione delle terre e rocce da scavo, ai sensi dell'articolo 8 del decreto-legge 12 settembre 2014, n. 133, convertito, con modificazioni, dalla legge 11 novembre 2014, n. 164 (G.U. n. 183 del 7 agosto 2017)
- Decreto del Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica n. 127 del 23 maggio 2024 recante "Regolamento concernente la disciplina per la gestione delle terre e rocce da scavo e la cessazione della qualifica di rifiuto per i rifiuti inerti da costruzione e demolizione"

Aggregati riciclati – cessazione della qualifica di rifiuto

- Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n.152 - Norme in materia ambientale
- Decreto del Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica n. 127 del 28 giugno 2024 recante "Regolamento recante disciplina della cessazione della qualifica di rifiuto dei rifiuti

inerti da costruzione e demolizione, altri rifiuti inerti di origine minerale, ai sensi dell'articolo 184-ter, comma 2, del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152/2006

Aggregati

- UNI EN 11531-1 - Costruzione e manutenzione delle opere civili delle infrastrutture - Criteri per l'impiego dei materiali - Parte 1: Terre e miscele di aggregati non legati.
- UNI EN 13242 - Aggregati per materiali non legati e legati con leganti idraulici per l'impiego in opere di ingegneria civile e nella costruzione di strade
- UNI/TS 11688 – Criteri di qualificazione e impiego del conglomerato bituminoso di recupero proveniente dalla rimozione di pavimentazioni esistenti
- UNI EN 13285 - Miscele non legate – Specifiche
- UNI EN 13055 - Aggregati leggeri
- UNI EN 15732 - Isolamento termico e prodotti leggeri di riempimento per applicazioni di ingegneria civile (CEA) - Prodotti di aggregati leggeri di argilla espansa (LWA)
- UNI EN 932-3 - Metodi di prova per determinare le proprietà generali degli aggregati - Procedura e terminologia per la descrizione petrografica semplificata
- UNI EN 933-1, Prove per determinare le caratteristiche geometriche degli aggregati - Parte 1: Determinazione della distribuzione granulometrica - Analisi granulometrica per setacciatura
- UNI EN 933-2, Prove per determinare le caratteristiche geometriche degli aggregati - Parte 2: Determinazione della distribuzione granulometrica - Setacci di controllo, dimensioni nominali delle aperture
- UNI EN 933-3 – Prove per determinare le caratteristiche geometriche degli aggregati – Parte 3: Determinazione della forma dei granuli – Indice di appiattimento
- UNI EN 933-8 - Prove per determinare le caratteristiche geometriche degli aggregati - Parte 8: Valutazione dei fini - Prova dell'equivalente in sabbia
- UNI EN 933-11 - Prove per determinare le caratteristiche geometriche degli aggregati - Parte 11: Prova di classificazione per i costituenti degli aggregati grossi riciclati
- UNI EN 1097-2 - Prove per determinare le proprietà meccaniche e fisiche degli aggregati - Parte 2: Metodi per la determinazione della resistenza alla frammentazione
- UNI EN 1097-3 - Prove per determinare le proprietà meccaniche e fisiche degli aggregati - Determinazione della massa volumica in mucchio e dei vuoti intergranulari
- UNI EN 1097-5, Prove per determinare le proprietà meccaniche e fisiche degli aggregati - Parte 5: Determinazione del contenuto d'acqua per essiccazione in forno ventilato
- UNI EN 1097-6, Prove per determinare le proprietà meccaniche e fisiche degli aggregati - Parte 6: Determinazione della massa volumica dei granuli e dell'assorbimento d'acqua
- UNI EN 1744-1 - Prove per determinare le proprietà chimiche degli aggregati - Parte 1: Analisi chimica

Geotessili e geosintetici

- UNI EN 12224 – Geotessili e prodotti affini – Determinazione della resistenza agli agenti atmosferici
- UNI EN 12225 - Geotessili e prodotti affini - Metodo per la determinazione della resistenza microbiologica mediante prova di interramento

- UNI EN ISO 12956 - Geotessili e prodotti affini - Determinazione della dimensione di apertura (opening size) caratteristica.
- UNI EN 13249: Geotessili e prodotti affini - Caratteristiche richieste per l'impiego nella costruzione di strade e di altre aree soggette a traffico (escluse le ferrovie e l'inclusione nelle pavimentazioni bituminose)
- UNI EN 13251: Geotessili e prodotti affini - Caratteristiche richieste per l'impiego nelle costruzioni di terra, nelle fondazioni e nelle strutture di sostegno.
- UNI EN ISO 10319 - Geosintetici - Prova di trazione a banda larga
- UNI EN ISO 10320 - Geosintetici - Identificazione in sito
- UNI EN ISO 11058 - Geotessili e prodotti affini - Determinazione delle caratteristiche di permeabilità all'acqua perpendicolare al piano, senza carico
- UNI EN ISO 12236 – Geosintetici – Prova di punzonamento statico (metodo CBR)
- UNI EN ISO 13433 - Geosintetici - Prova di punzonamento dinamico (prova di caduta del cono)

Leganti idraulici e acqua

- UNI EN 197-1 - Cemento - Parte 1: Composizione, specificazioni e criteri di conformità per cementi comuni
- UNI EN 13282-1 - Leganti idraulici per impieghi stradali - Parte 1: Leganti idraulici per impieghi stradali a indurimento rapido - Composizione, specifiche e criteri di conformità
- UNI EN 459-1 Calci da costruzione - Parte 1: Definizioni, specifiche e criteri di conformità
- UNI EN 459-2 Calci da costruzione - Parte 2: Metodi di prova
- CNR-B.U. n. 36 - Stabilizzazione delle terre con calce
- R.D. n. 2231/1939 "Norme sull'accettazione delle calci".
- UNI EN 1008 - Acqua d'impasto per il calcestruzzo - Specifiche di campionamento, di prova e di valutazione dell'idoneità dell'acqua, incluse le acque di ricupero dei processi dell'industria del calcestruzzo, come acqua d'impasto del calcestruzzo

Miscele non legate o legate con leganti idraulici

- UNI EN 13286-1: Miscele legate o non legate con leganti idraulici - Parte 1: metodi di prova della massa volumetrica e del contenuto di acqua di riferimento di laboratorio - Introduzione, requisiti generali e campionamento
- UNI EN 13286-2: Miscele legate o non legate con leganti idraulici - Parte 2: metodi di prova della massa volumica e del contenuto di acqua di riferimento di laboratorio – Costipamento Proctor
- UNI EN 13286-41, Miscele non legate e legate con leganti idraulici - Parte 41: Metodo di prova per la determinazione della resistenza a compressione di miscele legate con leganti idraulici
- UNI EN 13286-46, Miscele non legate e legate con leganti idraulici – Parte 46: Metodi di prova per la determinazione della costipabilità mediante MCV
- UNI EN 13286-47, Miscele non legate e legate con leganti idraulici - Parte 47: Metodo di prova per la determinazione dell'indice di portanza CBR, dell'indice di portanza immediata e del rigonfiamento

Prove in sito

- CNR BU n. 22 Peso specifico apparente in sito
- CNR B.U. n. 146 -Determinazione dei moduli di deformazione Md e M'd mediante prova di carico a doppio ciclo con piastra circolare

Terre e terreni

- UNI 11531-1 - Costruzione e manutenzione delle opere civili delle infrastrutture - Criteri per l'impiego dei materiali - Parte 1: Terre e miscele di aggregati non legati
- UNI EN 14475 - Esecuzione di lavori geotecnici speciali - Terra rinforzata
- UNI EN ISO 17892-1 - Indagini e prove geotecniche - Prove di laboratorio sui terreni - Parte 1: Determinazione del contenuto in acqua
- UNI EN ISO 17892-12 - Indagini e prove geotecniche - Prove di laboratorio sui terreni - Parte 12: Determinazione dei limiti liquidi e plastici
- UNI EN ISO 14688-1: Indagini e prove geotecniche - Identificazione e classificazione dei terreni - Parte 1: Identificazione e descrizione
- UNI EN ISO 14688-2: Indagini e prove geotecniche - Identificazione e classificazione dei terreni - Parte 2: Principi per una classificazione
- UNI EN 14227-15 – Miscele legate con leganti idraulici – specifiche – Parte 15: Terreno stabilizzato con legante idraulico
- CNR BU n. 69 Prova di costipamento di una terra
- AASHTO T/180: 2004 Moisture-density relations of soil using 4.54 kg (10 lb) rammer and 457 mm (18 inch) drop
- UNI EN 12457-2 - Caratterizzazione dei rifiuti - Lisciviazione - Prova di conformità per la lisciviazione di rifiuti granulari e di fanghi - Parte 2: Prova a singolo stadio, con un rapporto liquido/solido di 10 l/kg, per materiali con particelle di dimensioni minori di 4 mm (con o senza riduzione delle dimensioni).

3.3 Criteri per l'utilizzo dei materiali

Tutti i materiali da impiegare potranno essere messi in opera unicamente a seguito di comprovata conformità ambientale ai sensi della normativa vigente (se necessaria). Tale conformità dovrà essere attestata attraverso i mezzi di prova previsti.

3.3.1 Materiali ammessi

Il rilevato potrà essere realizzato attraverso l'impiego di materiali naturali di primo impiego (terre e aggregati da cava) e di materiali recuperati (o riciclati) o sottoprodotti. Queste ultime due categorie vengono indicate sinteticamente con l'acronimo RRS.

I materiali RRS ammessi sono le terre e rocce da scavo, le terre di recupero, gli aggregati riciclati derivanti da attività di costruzione e demolizione (C&D) e gli aggregati derivanti dal conglomerato bituminoso di recupero.

Per ciò che concerne ai quantitativi dei materiali ammessi, a meno di quanto previsto in progetto, viene lasciata all'Appaltatore la facoltà di proporre alla Direzione Lavori i relativi margini di impiego nel rispetto delle prescrizioni riportate in questo articolo di Capitolato (§ 3.3.2). La Direzione Lavori a suo insindacabile giudizio potrà approvare i quantitativi proposti o richiederne la revisione.

I requisiti di idoneità tecnica per l'utilizzo di *aggregati naturali* vengono riportate nella UNI EN 11531- Prospetti 3a (strato anticapillare) e 3b (corpo del rilevato e sottofondo).

Le *terre e rocce da scavo* possono essere riutilizzate come sottoprodotti o nello stesso sito, ai sensi del DPR 120/2017. La loro gestione ambientale e il riutilizzo avvengono secondo quanto riportato nel Capitolato Ambientale e nel Piano di Gestione Terre.

Le *terre di recupero* si annoverano tra i materiali riciclati una volta applicata la cessazione della qualifica di rifiuto ai sensi dell'art. 184-ter e del DM 127/2024.

I requisiti tecnici per l'utilizzo delle *terre* nei rilevati stradali e autostradali vengono riportati al § 3.3.4 di questo articolo di Capitolato.

Gli *aggregati da C&D* vengono classificati come aggregati riciclati a valle della cessazione della qualifica di rifiuto ai sensi dell'art. 184-ter del D.lgs. 52/2006 e del DM 127/2024. In via tecnica viene adottata la medesima definizione ai sensi della UNI EN 13242.

I requisiti di idoneità tecnica per l'utilizzo di aggregati riciclati vengono riportate nella UNI EN 11531- Prospetti 4a (strato anticapillare) e 4b (corpo del rilevato e sottofondo).

Per quanto riguarda *il conglomerato bituminoso di recupero*, la cessazione della qualifica di rifiuto - con obiettivo di successivo reimpiego in strati di fondazione non legati - può avvenire sia attraverso l'applicazione del DM 69/2018 che del DM 127/2024. In entrambi i casi, a valle dell'avvenuta cessazione della qualifica di rifiuto, l'aggregato viene classificato come riciclato (tale definizione viene mantenuta anche in via tecnica dalla UNI 13242).
Indipendentemente dal DM utilizzato per la cessazione della qualifica di rifiuto, requisiti di idoneità tecnica per l'utilizzo di aggregati riciclati da conglomerato bituminoso di recupero vengono riportate nella UNI EN 11531- Prospetti 4a (strato anticapillare) e 4b (corpo del rilevato e sottofondo).

Le prove di caratterizzazione condotte sia sull'aggregato grosso che sul fine dovranno essere condotte sul conglomerato bituminoso inalterato, ossia senza effettuare alcuna estrazione di bitume (sulla "curva nera"). Si precisa che, quando viene sottoposto alle prove di qualifica previste all'interno di tale norma, l'aggregato derivante dal riciclo di conglomerati bituminoso non deve essere riscaldato oltre 50 °C. Ciò comporta un prolungamento dei tempi di essicazione previsti dalle norme per il raggiungimento della massa costante.

Previo utilizzo, il CB di recupero dovrà essere soggetto a operazioni meccanica di frantumazione, granulazione e vagliatura. In entrambi i casi, è ammesso l'impiego di materiale interamente passante al setaccio 31,5 mm (U 31,5).

Tutte le operazioni/lavorazioni, gli atti amministrativi, le autorizzazioni necessarie per la cessazione di stato di rifiuto e successivo riutilizzo, dell'aggregato derivante da operazioni di costruzione e demolizione e del conglomerato bituminoso di recupero sono ad onere esclusivo dell'Appaltatore.

L'Appaltatore, a suo onere, avrà la facoltà di proporre alla Direzione Lavori l'utilizzo di ulteriori tipologie di materiale di tipo RRS di comprovata idoneità ambientale e tecnica secondo i requisiti riportati in questo articolo di Capitolato. L'idoneità tecnica dovrà essere comprovata da un campo prova eseguito a onere e spese dell'Appaltatore.

La Direzione Lavori a suo insindacabile giudizio potrà approvare o meno l'utilizzo del materiale.

3.3.2 Modalità di impiego dei materiali

L'impiego dei materiali ammessi dovrà avvenire tenendo in considerazione le seguenti prescrizioni.

e) Il materiale naturale di primo impiego potrà essere utilizzato sia in frazione unica (messo in opera in strati realizzati al 100% da materiale vergine), che come frazione da integrazione (messo in opera in strati realizzati con miscele costituite da materiali di diversa origine).
f) Le terre e rocce da scavo (utilizzabili ai sensi del DPR 120/17) e le terre di recupero potranno essere impiegate unicamente in frazione unica, miscelate tra loro, oppure integrate con materiale naturale di primo impiego. La miscelazione tra terre di diversa provenienza è consentita unicamente nel rispetto della conformità alla normativa ambientale vigente. In ogni caso, l'impiego di tali materiali dovrà rispettare quanto previsto nei piani di gestione terre e nei capitolati ambientali
g) Gli aggregati riciclati da C&D potranno essere impiegati sia in frazione unica che miscelati con aggregato naturale di primo impiego o con aggregato riciclato da conglomerato bituminoso di recupero. La miscelazione di aggregati con diversa provenienza è consentita unicamente nel rispetto della conformità alla normativa ambientale vigente. In aggiunta, per quanto riguarda la miscelazione con aggregato riciclato da CB di recupero valgono le prescrizioni riportate al successivo punto (d).
h) Il conglomerato bituminoso di recupero non potrà in alcun caso essere impiegato come frazione unica nella realizzazione di strati. Esso potrà essere unicamente impiegato come frazione di una miscela in percentuale massima complessiva del 40% in peso di quest'ultima. Tale miscela potrà essere composta utilizzando, oltre al CB di recupero, aggregati riciclati da C&D, aggregati naturali, o una combinazione di una o più di tali provenienze nel rispetto dei quantitativi massimi di impiego previsti in progetto. Qualora il CB di recupero venga mescolato con aggregato da C&D già contente materiale bituminoso, il quantitativo complessivo di conglomerato bituminoso nella miscela non potrà in alcun caso superare il 40% del peso della miscela definito secco su secco. La miscelazione tra aggregati di diversa provenienza potrà avvenire unicamente nel rispetto della conformità alla normativa ambientale vigente.

L'Appaltatore dovrà sottoporre alla Direzione Lavori un *method statement,* basato sull'esecuzione di campi prova (come richiesto nel § 3.4.2.1) nel quale descrive le modalità di posa in opera e compattazione degli strati che contengono materia RRS. La Direzione Lavori potrà, a suo insindacabile giudizio, accettare quanto presentato o richiederne una modifica.

3.3.3 Criteri di accettazione dei materiali

I materiali di provenienza esterna dal cantiere o che l'Appaltatore approvvigionerà da terzi dovranno essere qualificati in conformità al Regolamento UE n°305/2011 sui prodotti da costruzione.

Per quanto riguarda la gestione delle terre e rocce da scavo, si rimanda a quanto previsto all'interno del Capitolato Ambientale e al Piano di Gestione Terre. Per ciò che concerne la loro idoneità tecnica, l'Appaltatore dovrà produrre, a suo onere, una relazione tecnica conforme alla UNI EN 13242 corredata da prove di laboratorio nella quale venga documentato il rispetto dei requisiti di questo articolo di Capitolato.

Per quanto riguarda aggregati e terre – da impiegare nel rilevato – derivanti da attività di recupero attivate internamente al cantiere, l'Appaltatore dovrà produrre a suo onere idonea documentazione che ne attesti la conformità ambientale e l'idoneità tecnica ai sensi di quanto previsto in questo articolo di Capitolato (in conformità alla UNI EN 13242 e corredata da prove di laboratorio).

Indipendentemente dalle modalità di impiego (in frazione unica o miscelate), ogni fornitura di materiali in ingresso in cantiere (aggregato o terra naturale, aggregato riciclato da C&D, di aggregato riciclato da CB di recupero, e di terra riciclata) dovrà essere corredata da marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA della UNI EN 13242 con sistema di attestazione di conformità 2+ inclusa di Dichiarazione di Prestazione (DoP).

La certificazione CE e la DoP dovranno essere consegnati alla Direzione Lavori prima dell'inizio all'inizio dei lavori e ad ogni cambio di lotto di materiale. Ad ogni modo, la Direzione Lavori ha la facoltà di richiedere tale documentazione in ogni fase delle lavorazioni.

Tale documentazione dovrà essere consegnata alla Direzione Lavori prima dell'inizio dei lavori e ad ogni cambio di lotto di materiale. Ad ogni modo, la Direzione Lavori ha la facoltà di richiedere tale documentazione in ogni fase delle lavorazioni.

3.3.4 Rilevati stradali e autostradali

3.3.4.1 Strato anticapillare

Lo strato anticapillare dovrà avere uno spessore compreso tra 30 e 50 cm costituito da materiale granulare permeabile protetto da geotessile qualora previsto negli elaborati progettuali o qualora gli strati di rilevato siano costituiti da terre appartenenti ai gruppi A2-6, A2-7.
Lo strato anticapillare sarà composto da aggregati aventi granulometria uniforme con rapporto ($D_{60}/D_{10} \leq 7$), con passante al setaccio da 2 mm non superiore al 15% in peso e con un passante al setaccio 0,063 mm non superiore al 3%, equivalente in sabbia SE non minore del 70%, resistenza alla frammentazione LA non maggiore del 40% e assenza di fenomeni di degradazione SB_{LA}.
Nella realizzazione dello strato anticapillare potranno essere altresì considerati i materiali e le relative prescrizioni riportate al paragrafo 3.3. In ogni caso il materiale utilizzato per lo strato di anticapillare dovrà risultare esente da componenti instabili (gelivi, solubili, ecc.) e da resti vegetali.

3.3.4.2 Corpo del rilevato

Nella formazione del corpo del rilevato devono essere utilizzate, in ordine di priorità, le terre dei gruppi A1, A3 se necessario confinate, A2-4, A2-5 e A4 con indice di gruppo 0.
Possono, in aggiunta a quanto sopra, essere impiegate tal quali terre appartenenti ai gruppi A2-6, A2-7 con indice di gruppo 0, se previsto nel Progetto limitatamente alla parte bassa del rilevato, a distanza di almeno 2 m dal piano di appoggio della sovrastruttura stradale, previa predisposizione, al di sotto, di uno strato anticapillare di spessore non minore di 30 cm. Al posto delle terre appartenenti ai gruppi A2-6, A2-7 con indice di gruppo di 0 possono essere utilizzate tal quali quelle con indice di gruppo maggiore di 0 solo a seguito di verifiche sperimentali o campo prove volte a determinare il grado di densità e la percentuale di umidità secondo cui costipare i rilevati. Quanto sopra allo scopo di contenere entro limiti minimi fenomeni di ritiro e di rigonfiamento dei materiali. In ogni caso lo spessore degli strati sciolti, prima della compattazione, non dovrà superare 30 cm ed il materiale dovrà essere convenientemente disaggregato.
Le terre appartenenti ai gruppi A2-6, A2-7, possono essere utilizzate anche stabilizzate a calce, secondo le modalità di cui al § 3.8, senza la limitazione di impiego nella parte bassa del rilevato.
Per il corpo del rilevato occorre che il materiale impiegato sia tutto passante al setaccio 125 mm e il trattenuto al setaccio 63 mm non deve essere maggiore del 15%.

In ogni caso il rapporto tra il passante al setaccio D_{60} ed il passante al setaccio D_{10} dovrà essere maggiore di 15 mentre nel caso di aggregati del gruppo A3 il rapporto D_{60}/D_{10} dovrà risultare almeno superiore a 7.
Quando l'umidità della terra è tale da non consentire il costipamento necessario a raggiungere l'addensamento e la portata richiesti dal progetto, devono essere messi in atto provvedimenti correttivi per modificare convenientemente il contenuto d'acqua naturale (lasciare asciugare il materiale o bagnarlo) e/o, a seconda dei casi, deve procedersi a trattamento a calce della terra secondo le modalità definite nel § 3.8.
Qualora le prescrizioni dei Capitolati Speciali delle Amministrazioni Locali sanciscano parametri meno prestazionali di quelli indicati nel presente articolo, eventuali deroghe possono essere concesse dalla Direzione Lavori, alla luce delle caratteristiche della viabilità interferita o compensativa, sentito comunque il Parere degli Organi Tecnici delle Amministrazioni interessate.

Nel caso in cui il progetto preveda il ricorso a terreni trattati a calce o cemento per la realizzazione dell'ultimo strato del rilevato dovrà essere condotto un campo prove volto a definire le idonee percentuali di dosaggio di miscelazione di calce e/o cemento e la tecnologia di miscelazione (vedi §3.8).
Nella realizzazione del corpo del rilevato potranno essere altresì considerati i materiali e le relative prescrizioni riportate al paragrafo 3.3.

3.3.4.3 Sottofondo

Il sottofondo dovrà essere costituito, in ordine di priorità, con le terre dei gruppi A1, A2-4 e A2-5, A3 con coefficiente di uniformità (D_{60}/D_{10}) maggiore di 7, purchè:

- Non vi siano granuli di dimensioni > 63 mm;
- Il passante a 0,063 mm sia ≤ 15%;
- L'indice di plasticità sia ≤ 6, meglio se non plastico;
- Il passante al setaccio da 16 mm sia almeno del 50%;
- L'indice di portanza CBR (UNI EN 13286-47) dopo 4 giorni di immersione in acqua sia almeno maggiore del 10% su provini costipati, con umidità ±2% dell'ottimo, al 95% della massa volumica massima all'energia Proctor modificata (UNI EN 13286-2);
- Durante l'immersione il rigonfiamento non ecceda l'1% (UNI EN 13286-47).

Per ottenere migliori proprietà meccaniche si prescrive l'impiego di assortimenti ben graduati (curve granulometriche continue).
Qualora in trincea sia presente roccia compatta o poco fratturata o un terreno classificabile nei gruppi sopra citati, anche se con dimensione massima maggiore di 63 mm e la portanza del sottofondo sia ritenuta adeguata, è sufficiente procedere al solo agguagliamento delle asperità per consentire le lavorazioni per la costruzione della sovrastruttura stradale.
Nella realizzazione del sottofondo potranno essere altresì considerati i materiali e le relative prescrizioni riportate al paragrafo 3.3.

3.3.5 Rilevati con argilla espansa e misto stabilizzato granulometricamente

3.3.5.1 Descrizione e campo di applicazione

L'utilizzo principale dei rilevati con materiali alleggeriti trova applicazione quando i terreni sotto al piano di posa sono carattarezzati da scadenti proprietà meccaniche ad elevata deformabilità in grado di manifestare cedimenti fortemente differiti nel tempo. La notevole riduzione di peso di materiale alleggerito rispetto ad aggregati di cui al § 3.3.2, permette di evitare in parte o totalmente interventi di stabilizzazione del piano di posa del rilevato.
L'aggregato leggero utilizzato deve essere argilla espansa ottenuta mediante un processo termico di "clinkerizzazione" a partire da argille naturali oppure da inerti equivalenti dal punto di vista delle prestazioni di cui al successivo § 3.3.3.2.

3.3.5.2 Argilla espansa

L'argilla espansa utilizzata nei rilevati dovrà possedere marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA della norma europea armonizzata UNI EN 15732 oppure alla UNI EN 13055 con sistema di attestazione di conformità 2+ o superiore e dichiarazione di prestazione DoP.
L'aggregato in opera dovrà risponderà alle caratteristiche seguenti:

f) Designazione (d/D) dell'aggregato: 0/25, tolleranza G_A85
g) massa volumica in mucchio (UNI EN 1097-3) del materiale con la granulometria di cui al precedente punto a) = 390 ± 15% kg/mc;
h) compressibilità e resistenza alla compressione triassiale (UNI EN 1097-11): ≥ 1,5 MPa;
i) assorbimento di acqua a 24 ore (UNI EN 1097-6): ≤ 25 %;
j) resistenza al fuoco: classe A1 (non combustibile).

3.3.5.3 Misto stabilizzato granulometricamente

Il materiale componente i vari strati di misto stabilizzato granulometricamente deve essere appartenente ai gruppi A1-a e A3 con le prescrizioni di cui al § 3.3.2 valide per il sottofondo, per spessore di applicazione genericamente compreso tra 20 e 30 cm secondo le indicazioni progettuali.
Per quanto attiene al contenuto di materiale riciclato si rimanda a quanto prescritto nell'art. 29 del presente CSA.
Per quanto attiene alla marcatura CE si rimanda a quanto disciplinato al §3.3.2.

3.3.5.4 Geotessile non tessuto di separazione

Si rimanda a quanto disciplinato al § 3.3.7.

3.3.5.5 Specifiche di portanza e costipamento

I valori di portanza sul piano di posa della sovrastruttura devono rispettare i limti di cui al § 3.3.12 mentre, per i singoli strati, la verifica della portanza non potrà essere effettuata direttamente sullo strato di argilla espansa ma sugli strati di misto stabilizzato intermedi sempre nel rispetto dei limiti di cui al § 3.3.12.
Non sono previste prescrizioni per il costipamento degli strati di argilla espansa mentre per quelli di misto stabilizzato valgono quelle per l'ultimo strato del rilevato indicate al § 3.3.13

3.3.6 Rilevati con sola argilla espansa

3.3.6.1 Descrizione e campo di applicazione

L'utilizzo principale dei rilevati con materiali alleggeriti trova applicazione quando i terreni sotto al piano di posa sono carattarezzati da scadenti proprietà meccaniche ad elevata deformabilità in grado di manifestare cedimenti fortemente differiti nel tempo. La notevole riduzione di peso di materiale alleggerito rispetto ad aggregati di cui al § 3.3.2, permette di evitare in parte o totalmente interventi di stabilizzazione del piano di posa del rilevato.
L'aggregato leggero utilizzato deve essere argilla espansa ottenuta mediante un processo termico di "clinkerizzazione" a partire da argille naturali oppure da inerti equivalenti dal punto di vista delle prestazioni di cui al successivo § 3.3.4.2.

3.3.6.2 Argilla espansa

L'argilla espansa utilizzata nei rilevati dovrà possedere marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA della norma europea armonizzata UNI EN 15732 oppure alla UNI EN 13055 con sistema di attestazione di conformità 2+ o superiore e dichiarazione di prestazione DoP.
L'aggregato in opera dovrà risponderà alle caratteristiche seguenti:

f) Designazione (d/D) dell'aggregato e tolleranza: sono ammessi le seguenti due tipologie:
- 4/10, G_C 85-15;
- 8/20, G_C 85-15;

g) massa volumica in mucchio (UNI EN 1097-3) del materiale con la granulometria di cui al precedente punto a):
- con fuso 4/10 = 350 ± 15% kg/mc
- con fuso 8/20 = 320 ± 15% kg/mc;

h) compressibilità e resistenza alla compressione triassiale (UNI EN 1097-11):
- con fuso 4/10 = 2 MPa
- con fuso 8/20 = 1 MPa;

i) assorbimento di acqua a 24 ore (UNI EN 1097-6):
- con fuso 4/10 = ≤ 20 %
- con fuso 8/20 = ≤ 25 %;

j) resistenza al fuoco: classe A1 (non combustibile);

3.3.6.3 Ultimo strato

Il materiale componente l'ultimo strato al di sopra del quale viene posizionato il pacchetto di pavimentazione deve essere composto da misto stabilizzato granulometricamente appartenente ai gruppi A1-a e A3 con le prescrizioni di cui al § 3.3.2 valide per il sottofondo, per spessore di applicazione indicativamente pari a 40 cm o secondo le indicazioni progettuali. Per quanto attiene alla marcatura CE si rimanda a quanto disciplinato al § 3.3.2.

3.3.6.4 Geotessile non tessuto di separazione

Si rimanda a quanto disciplinato al § 3.3.7.

3.3.6.5 Specifiche di portanza e costipamento

I valori di portanza sul piano di posa della sovrastruttura devono rispettare i limti di cui al § 3.3.12 mentre non si applica allo strato di argilla espansa.

Non sono previste prescrizioni per il costipamento degli strati di argilla espansa mentre per quelli di misto stabilizzato valgono quelle per l'ultimo strato del rilevato indicate al § 3.3.13

3.3.7 Rilevati/riempimenti in argilla espansa cementata

3.3.7.1 Descrizione e campo di applicazione

Per particolari necessità di rigidezza del rilevato, per problematiche legate al contenimento dello stesso o comunque per specifiche esigenze progettuali è possibile realizzare rilevati con aggregati alleggeriti di argilla espansa cementata oppure da inerti equivalenti dal punto di vista delle prestazioni di cui al successivo § 3.3.5.2.

3.3.7.2 Argilla espansa

L'argilla espansa utilizzata nei rilevati dovrà possedere marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA della norma europea armonizzata UNI EN 15732 oppure alla UNI EN 13055 con sistema di attestazione di conformità 2+ o superiore e dichiarazione di prestazione DoP.
L'aggregato da miscelare con cemento e acqua dovrà risponderà alle caratteristiche seguenti:

f) Designazione (d/D) dell'aggregato e tolleranza: sono ammessi le seguenti due tipologie:
- 4/10, G_C 85-15;
- 8/20, G_C 85-15;

g) massa volumica in mucchio (UNI EN 1097-3) del materiale con la granulometria di cui al precedente punto a):
- con fuso 4/10 = 350 ± 15% kg/mc
- con fuso 8/20 = 320 ± 15% kg/mc;

h) compressibilità e resistenza alla compressione triassiale (UNI EN 1097-11):
- con fuso 4/10 = 2 MPa
- con fuso 8/20 = 1 MPa;

i) assorbimento di acqua a 24 ore (UNI EN 1097-6):
- con fuso 4/10 = ≤ 5 %
- con fuso 8/20 = ≤ 5 %;

j) resistenza al fuoco: classe A1 (non combustibile);

3.3.7.3 Legante

I cementi impiegati dovranno essere qualificati in conformità al Regolamento UE n°305/2011 sui prodotti da costruzione. Ogni fornitura dovrà essere accompagnata dalla marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA della norma europea armonizzata UNI EN 197-1 con sistema di attestazione di conformità 1+. Si prescrive l'uso di cementi a presa lenta e classe di resistenza 32,5N.
Può essere utilizzato, ove siano rispettati tutti i requisiti prestazionali del presente articolo di capitolato, un legante idraulico per strade della classe E4 o superiore con marcatura CE conforme alla UNI EN 13282-1 con sistema di attestazione di conformità 2+.
A titolo indicativo la quantità di cemento deve essere compresa tra 150 e 200 kg/mc per mc di aggregato asciutto.

3.3.7.4 Acqua

Per la produzione delle miscele dovranno essere impiegate i seguenti tipi di acqua conformi alla Norma UNI EN 1008.

Indicativamente il rapporto acqua cemento nelle miscele deve essere compreso tra 0,4 e 0,6.

3.3.7.5 Caratteristiche della miscela

Alla miscela è richiesto il soddisfacimento dei requisiti di seguente elencati:

- Densità (norma CNR 22): 500-600 kg/mc di miscela secca (600-700 kg/mc di miscela umida);
- Resistenza a compressione a 7 giorni:
  - con fuso 4/10 ≥ 2 MPa
  - con fuso 8/20 ≥ 1 MPa
- Classe di consistenza fresco: terra umida/plastica (classe di consistenza di riferimento S1/S2)
- I valori di portanza sul piano di posa della sovrastruttura devono rispettare i limti di cui al § 3.3.12

L'Appaltatore dovrà altresì determinazione il periodo di lavorabilità della miscela alla temperatura massima a cui prevede di stendere e compattare la stessa e comunque non superiore a 35°. Tale periodo deve essere compatibile con il tempo di fine miscelazione all'impianto, trasporto al cantiere e completamento delle lavorazioni di stesa e compattazione.

3.3.7.6 Formazione e confezione della miscela

Le miscele saranno confezionate in impianti automatizzati fissi o mobili, di idonee caratteristiche, mantenuti sempre perfettamente funzionanti in ogni loro parte e dotati di produzione dotati di un controllo di produzione FPC. Gli impianti devono comunque garantire uniformità di produzione ed essere in grado di realizzare miscele del tutto rispondenti a quelle di Progetto. Detti impianti devono essere autorizzati rispetto alla legislazione vigente nel caso di trattamenti che utilizzano rifiuti per la produzione di aggregati artificiali e/o riciclati.

3.3.8 Misto cementato a ridosso di manufatti

A ridosso di murature di manufatti disposti in direzione trasversale al rilevato si dovrà eseguire la stesa di misto cementato per rendere più graduale il passaggio di rigidezza tra rilevato corrente ed opera d'arte.

3.3.8.1 Aggregato

Gli aggregati impiegati dovranno possedere la marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA della norma europea armonizzata UNI EN 13242 con sistema di attestazione di conformità 2+ e dichiarazione di prestazione DoP.
L'aggregato naturale in opera sarà rispondente alle norme CNR BU n° 29 con fuso di tipo A1 di cui alla seguente tabella.

Crivelli e setacci UNI	Passante totale in peso %
Crivello 40	100
Crivello 25	65-100
Crivello 15	45-70
Crivello 10	35-60
Crivello 5	23-45
Setaccio 2	14-30
Setaccio 0,4	6-14
Setaccio 0,18	2-7

Il materiale dovrà iniltre rispettare i seguenti requisiti:

Caratteristica	**Norma di prova**	**Requisito**
Resistenza alla frammentazione	UNI EN 1097-2	LA_{45}
Valutazione del fine, equivalente in sabbia	UNI EN 933-8	SE_{35}
Indice di plasticità	UNI EN ISO 17892-12	Non plastico

Nel rispetto dei requisiti di cui sopra sarà possibile impiegare aggregati di origine riciclata avente le seguenti caratteristiche:

Caratteristica	**Norma di prova**	**Requisito**
Solfato solubile in acido	UNI EN 1744-1	$AS_{0,8}$
Zolfo totale	UNI EN 1744-1	S_1
Solfato idrosolubile	UNI EN 1744-1	$SS_{0,7}$
Contenuto di calcestruzzo, prodotti di calcestruzzo, elementi di muratura di cls, aggregato non legato, pietra naturale, aggregato legato idraulicamente, vetro.	UNI EN 933-11	$Rcug_{70}$
Contenuto di materiali bituminosi	UNI EN 933-11	Ra_{30-}
Contenuto di elementi di muratura di argilla (mattoni e piastrelle), elementi di muratura di silicato di calcio, cls aerato non flottante	UNI EN 933-11	Rb_{10-}

Contenuto di vetro	UNI EN 933-11	Rg_{2-}
Contenuto di materiale flottante	UNI EN 933-11	FL_{5-}
Contenuto di materiale coesivo (argilla e terra), metalli (ferrosi e non ferrosi), legno non flottante, plastica e gomma, malta e gesso	UNI EN 933-11	X_{1-}
Test di cessione	UNI EN 12457-2	Conforme ai valori dell'Allegato n. 3 D.M. 05/02/1998 (vedi § 3.3.2)

3.3.8.2 Legante

I cementi impiegati dovranno essere qualificati in conformità al Regolamento UE n°305/2011 sui prodotti da costruzione. Ogni fornitura dovrà essere accompagnata dalla marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA della norma europea armonizzata UNI EN 197-1 con sistema di attestazione di conformità 1+. Si prescrive l'uso di cementi a presa lenta e classe di resistenza 32,5N. Può essere utilizzato, ove siano rispettati tutti i requisiti prestazionali del presente articolo di capitolato, un legante idraulico per strade della classe E4 o superiore con marcatura CE conforme alla UNI EN 13282-1 con sistema di attestazione di conformità 2+.
E' sconsigliato l'uso di cementi ad elevata resistenza in quanto la loro rapidità di presa non consente di eseguire la stesa ed il costipamento della miscela.

A titolo indicativo la percentuale di cemento deve essere compresa tra il 2,5% e il 5% sul peso degli inerti asciutti e deve essere determinato mediante uno studio di formulazione, effettuato in laboratorio, ai sensi della norma B.U. C.N.R. n. 29.

3.3.8.3 Acqua

Per la produzione delle miscele dovranno essere impiegate i tipi di acqua conformi alla Norma UNI EN 1008.

La quantità di acqua nella miscela deve essere quella corrispondente all'umidità ottima di costipamento con una variazione compresa entro ± 2% del peso della miscela per consentire il raggiungimento delle resistenze richieste.

Il contenuto d'acqua è da determinarsi mediante prova Proctor modificata tenendo conto di quanto necessario per fornire un intervallo lavorabile di umidità compatibile con il costipamento e le prestazioni meccaniche desiderate per la miscela. Nelle usuali condizioni climatiche applicative, le miscele legate devono presentare un tempo di lavorabilità non inferiore a 8 ore.

Indicativamente l'acqua di impasto sarà in ragione del 6% circa del peso dell'inerte secco.

3.3.8.4 Additivi

La miscela può essere integrata mediante additivi quali, a titolo indicativo ma non esaustivo, ritardanti, attivatori, miglioranti di presa e indurimento ecc.., necessari per ottenere tempi di lavorabilità compatibili con le esigenze della posa in opera delle miscele e con le condizioni metereologiche. Gli additivi devono essere marcati CE conformemente alla UNI EN 934-2 con sistema di attestazione della conformità di tipo 2+. Il loro tipo e dosaggio dovrà essere definito in fase di qualifica anche tenendo conto della stagione d'impiego, la quantità totale dovrà rispettare le indicazioni riportate nella documentazione tecnica del fornitore e non deve eccedere il dosaggio massimo raccomandato. Gli additivi dovranno essere aggiunti alla miscela con modalità idonea ad

assicurare la sua uniforme distribuzione durante il periodo di miscelazione. In generale, a parità di caratteristiche tecniche, si dovrà preferire prodotti più sostenibili dal punto di vista ambientale.

3.3.8.5 Caratteristiche della miscela

La miscela dovrà avere le seguenti caratteristiche:

- resistenza alla compressione con provini cilindrici compattati a 7 giorni di stagionatura (secondo la UNI EN 13286-41) non inferiore a 2 MPa e non superiore a 7 MPa, eventualmente con impiego di additivi;
- resistenza a trazione indiretta (determinata secondo la UNI EN 13286-42) non inferiore a 0,2 MPa.
- Portanza e costipamento: vale quanto riportato nei §§ 3.3.13 e 3.3.14

L'Appaltatore dovrà altresì determinazione il periodo di lavorabilità della miscela (UNI EN 13286-45) alla temperatura massima a cui prevede di stendere e compattare la stessa e comunque non superiore a 35°. Tale periodo deve essere compatibile con il tempo di fine miscelazione all'impianto, trasporto al cantiere e completamento delle lavorazioni di stesa e compattazione.

3.3.8.6 Formazione e confezione della miscela

Le miscele saranno confezionate in impianti fissi automatizzati, di idonee caratteristiche, mantenuti sempre perfettamente funzionanti in ogni loro parte e dotati di produzione dotati di un controllo di produzione FPC. Gli impianti devono comunque garantire uniformità di produzione ed essere in grado di realizzare miscele del tutto rispondenti a quelle di Progetto. Detti impianti devono essere autorizzati rispetto alla legislazione vigente nel caso di trattamenti che utilizzano rifiuti per la produzione di aggregati artificiali e/o riciclati.

3.3.9 Geotessile non tessuto di separazione

Il geotessile da stendere sul piano di posa del rilevato (piano di scotico) con funzione di separatore dovrà possedere marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA della norma europea armonizzata UNI EN 13249 con sistema di attestazione di conformità 2+ e dichiarazione di prestazione DoP.

Lo strato di geotessile dovrà essere del tipo nontessuto, in polipropilene o poliestere con resistenza a trazione non inferiore a 19 kN/m, resistenza al punzonamento statico non inferiore a 3 KN e allungamento a rottura non inferiore a 35% in entrambe le direzioni longitudinale e trasversale, la media della somma degli allungamenti $\{$(long.+trasv./2)$\}$ maggiore del 50%. Dovrà inoltre soddisfare i criteri di permeabilità e ritenzione: la porometria del geotessile dovrà essere abbastanza aperta da garantire una permeabilità minima di 60 l/m^{2}s e nel contempo sufficientemente chiusa per evitare fenomeni di dilavamento e erosione; tali condizioni si ottengono con una apertura caratteristica dei pori di compresa nell'intervallo 60÷150 µm.

Inoltre, il geotessile dovrà essere conforme alle norme UNI EN 12225 e 12224, relative rispettivamente ai metodi per la determinazione della resistenza microbiologica e degli agenti atmosferici ad alla norma UNI EN ISO 10722 per la simulazione del danneggiamento durante la posa e per la messa in opera in materiali a grana grossa.

Con riferimento alla UNI EN 13249 occorre prevedere le seguenti durabilità minime in esercizio:

- superiore a 5 anni per opere provvisionali;
- superiore a 25 anni per opere definitive

Si riepilogano di seguito i requisiti richiesti che dovranno risultare in fase di qualifica dalla dichiarazione di DoP o da apposita certificazione rilasciata da laboratorio ufficiale:

Resistenze a trazione MD e CD (UNI EN ISO 10319)	$\geq$ 19 kN/m
Allungamento MD e CD (UNI EN ISO 10319)	$\geq$ 35 (MD e CD) $\geq$ 50 (MD+CD)/2
Resistenze a trazione al 10% di allungamento (UNI EN ISO 10319)	$\geq$ 3 kN/m
Punzonamento statico (UNI EN ISO 12236)	$\geq$ 3 kN
Punzonamento dinamico (UNI EN ISO 13433)	$\leq$ 20 mm
Permeabilità ortogonale al piano (UNI EN ISO 11058)	$\geq$ 60 l/m^{2}s
Diametro di filtrazione(UNI EN ISO 12956)	60÷150 µm

Qualora anche da una sola delle prove di cui sopra risultassero valori non rispondenti a quelli stabiliti, la partita sarà rifiutata e l'Appaltatore dovrà allontanarla immediatamente dal cantiere.
Nel suo conferimento al cantiere, i geotessile dovrà essere identificato indelebilmente secondo le specifiche del § 4 della norma UNI EN ISO 10320.

3.3.10 Geotessile e/o geogriglia con funzione di armatura degli strati di rilevato a grana grossa

Per gli strati di geotessile o geogriglia con funzione di armatura degli strati di rilevato a grana grossa si rimanda a quanto indicato al § 3.3.9 e all'art. 32 di questo capitolato.

3.3.11 Rilevati in terra "Rinforzata" o "Armata"

In generale valgono le prescrizioni di cui al § 3.3.2 valide per il corpo del rilevato, con le seguenti ulteriori regole.
Dovranno essere impiegati solo aggregati naturali di cava o di scavo appartenenti ai gruppi A1, A3, A2-4 e A2-5.
Se previsto a progetto è possibile utilizzare, per il corpo del rilevato, anche l'argilla espansa e misto cementato secondo i contenuti di cui al § 3.3.3.
L'Appaltatore è altresì tenuto a garantire che le proprietà degli aggregati utilizzati siano conformi anche nei confronti di:

- fenomeni di aggressività e danneggiamento degli elementi di rinforzo e dell'eventuale facciata;
- attrito e coesione previsti in Progetto;

secondo quanto riportato in Progetto, in accordo ai dettami della norma UNI EN 14475, "Esecuzione di lavori geotecnici speciali – Terra rinforzata".
Analoghe garanzie dovranno essere fornite per il terreno naturale, nei casi in cui gli elementi di rinforzo siano a contatto con esso, e per l'acqua di falda, qualora essa sia prossima al piano di fondazione e possa quindi venire ad interessare il materiale costituente il rilevato rinforzato.
La massima dimensione delle particelle dell'aggregato utilizzato non dovrà superare il valore indicato in Progetto, definito in funzione dello spessore degli strati di aggregato, della spaziatura degli elementi di rinforzo, delle dimensioni degli eventuali elementi di facciata, della tipologia degli elementi di rinforzo e della necessità di contenere entro limiti minimi il danneggiamento prodotto dalla messa in opera.

Allo scopo di garantire un comportamento omogeneo della terra rinforzata, qualora i materiali di cava o di scavo non mantenessero la prescritta uniformità di caratteristiche granulometriche e chimiche, gli stessi saranno preventivamente stoccati in apposita area al fine di essere opportunamente mescolati.
Qualora venga previsto l'uso di geosintetici, per i materiali impiegati dovranno essere preliminarmente verificate le seguenti condizioni:
- PH compreso tra 3 e 9, per geosintetici costituiti da fibre di PET ancorchè ricoperte
- PH > 3 per geosintetici costituiti da poliolefine (HDPE o PP) e da fibre in PVA-L

Nel caso di impiego di armature metalliche, per i materiali impiegati dovranno essere preliminarmente verificate le seguenti condizioni:
- contenuto in sali;
- solfuri, del tutto assenti;
- solfati, solubili in acqua, minori di 500 mg/kg;
- cloruri, minori di 100 mg/kg;
- pH, compreso tra 5 e 10 (il che preclude l'utilizzo dei terreni trattati a calce e cemento);
- resistività elettrica superiore a 1.000 ohmxcm per opere all'asciutto, superiore a 3.000 ohmxcm per opere immerse in acqua;
- contenuto organico minore dell'1%.

Per i requisiti del sistema di armatura o rinforzo si rimanda a quanto disciplinato all'art 32 di questo capitolato.

3.3.12 Rilevati di precarico e riempimenti

Potranno essere impiegati materiali di qualsiasi natura fatta eccezione, per i riempimenti, per quelli appartenenti ai gruppi A7 e A8. Possono essere utilizzati anche materiali *"leggeri",* adottando i medesimi accorgimenti descritti per la realizzazione dei rilevati.
I materiali provenienti da scavi potranno essere impiegati soltanto se ritenuti idonei dalla Direzione Lavori.
Non è richiesto il conseguimento di una densità minima; il materiale dovrà essere steso in strati regolari di spessore prestabilito e le modalità di posa dovranno essere atte a conseguire la densità uniforme dichiarata nel Progetto, controllata con sistematicità, comunque tale da garantire l'opera nei confronti di fenomeni instabilità ed erosioni.
Resta inteso che ogni fornitura esterna al cantiere dovrà essere accompagnata dalla relativa marcatura CE e DoP.

3.3.13 Materiali per trincee drenanti

Il materiale drenante (aggregato naturale, riciclato o misto) dovrà avere caratteristiche granulometriche tali da assicurare un facile deflusso delle acque attraverso di esso e nello stesso tempo da evitare l'intasamento per effetto del trascinamento degli elementi fini. In particolare dovrà risultare:

$$5 \cdot d_{15} \leq D_{15} \leq 5 \cdot d_{85} \quad (1)$$

essendo
D_{15} = diametro che corrisponde al 15% di passante nelle curve granulometriche del materiale drenante
d_{15} = diametro che corrisponde al 15% di passante nella curva granulometrica della terra da drenare
d_{85} = diametro che corrisponde all'85% di passante nella curva granulometrica della terra da drenare

nel caso in cui lo smaltimento delle acque drenate avvenga per mezzo di tubi forati, tra la granulometria del materiale drenante posto attorno al tubo e la minima dimensione dei fori dei tubi, ovvero degli interstizi fra i tubi, andrà rispettata la seguente relazione:

$$D_{85} \geq 1.5 \cdot d \quad (2)$$

essendo:

D_{85} = diametro che corrisponde all'85% di passante nelle curve granulometriche del materiale drenante

d = diametro dei fori dei tubi o larghezza degli interstizi tra i tubi.

Affinchè siano rispettate sia la (1) che la (2) il materiale drenante sarà disposto a strati con elementi di dimensioni decrescenti a partire dal tubo verso il terreno da drenare.

Resta inteso che ogni fornitura esterna al cantiere dovrà essere accompagnata dalla relativa marcatura CE e DoP.

3.3.14 Portanza del piano di posa del rilevato del corpo del rilevato e del sottofondo

I valori di portanza costituiscono il dato prestazionale. Salvo diverse e più restrittive prescrizioni motivate in sede di progettazione dalla necessità di garantire la stabilità del rilevato, per la determinazione modulo dinamico si adotta la prova con piastra circolare del diametro pari a 30 cm nell'intervallo compreso tra M_{d1} ed M_{d2}; al primo ciclo di carico i valori del modulo Md dovranno risultare non inferiori a:

Piano di posa: 15 MPa: nell'intervallo compreso tra 0,5÷1,5 daN/cm² sul piano di posa del rilevato (piano di scotico) quando posto a 2,00 m da quello della sovrastruttura.

Corpo del rilevato: variabile tra 20 MPa (quota di imposta del rilevat-piano di scotico) e 60 MPa (ultimo strato del rilevato). All'interno del corpo del rilevato il valore del modulo di deformazione MD sono ottenuti variando linearmente con la quota, i valori precedentemente indicati. I valori limiti sono definiti nell'intervallo compreso tra 0,5÷1,5 daN/cm².

Sottofondo: 60 MPa: nell'intervallo compreso tra 1,5÷2,5 daN/cm² sul piano di posa della sovrastruttura in rilevato, in trincea;

Per il misto cementato a ridosso delle opere d'arte il valore del modulo di deformazione Md al 1º ciclo di carico e nell'intervallo compreso tra 0,15 e 0,25 MPa, non deve essere inferiore a 150 MPa per i vari strati di stesa.

Le prescrizioni contenute all'interno del presente articolo di capitolato sono da ritenersi valide per tutte le viabilità autostradali e per le viabilità interferite o compensative destinate ad essere consegnate al termine dei lavori alle amministrzioni locali, ove per queste ultime il progetto non preveda diverse specificazioni.

3.3.15 Costipamento in opera

A rullatura e compattazione eseguita, la massima massa volumica (densità) in sito deve essere confrontata con la massima di cui alla prova AASHTO (American Association of State Highway and

Transportation Officials) nella variante modificata di cui alla norma UNI EN 13286-2 determinata in fase di qualifica e comunque deve essere tale da consentire il raggiungimento dei valori di portanza di cui al § 3.3.12.

Il materiale impiegato per la **bonifica** dovrà avere le seguenti caratteristiche:

- densità almeno pari al 90% di quella massima AASHTO modificata, sul piano di posa dei rilevati;
- densità almeno pari al 95% di quella massima AASHTO modificata, sul piano di posa della soprastruttura in trincea.

Il materiale impiegato per il **rilevato** dovrà avere le seguenti caratteristiche:

- densità pari o superiore al 90% della densità massima AASHTO modificata per tutti gli strati del rilevato eccetto l'ultimo di 30 cm costituente il sottofondo;
- densità pari o superiore al 95% sempre della densità massima AASHTO modificata per l'ultimo strato di 30 cm costituente il sottofondo.

Il materiale impiegato per lo **strato granulare anticapillare** dovrà avere le seguenti caratteristiche:

- densità pari o superiore al 90% della densità massima individuata dalle prove di compattazione AASHTO modificata.

Limitatamente ai materiali a granulometria grossolana, laddove le prove abituali risultino non rappresentative, l'addensamento sarà controllato mediante successive livellazioni del piano di rullatura e la misura della densità in sito sarà fatta prelevando il materiale da un pozzetto che dovrà essere rivestito da apposito telo impermeabile successivamente riempito d'acqua. E' facoltà della D.L. effettuare o delle prove di carico su piastra di diametro 30 cm eseguite su di uno strato di rilevato di spessore 15 cm realizzato sopra l'anticapillare o in alternativa delle prove su piastra di diametro 60 cm eseguita su di uno strato di rilevato di spessore 30 cm realizzato sopra l'anticapillare.

Il materiale impiegato per le **terre armate o rinforzate** dovrà avere le seguenti caratteristiche:

- densità almeno pari al 95% di quella massima AASHTO modificata

Il materiale impiegato **a tergo delle murature in misto cementato** dovrà avere le seguenti caratteristiche:

- densità almeno pari al 95% di quella massima AASHTO modificata

Il materiale **trattato a calce di cui al § 13.8** dovrà avere le seguenti caratteristiche:

- densità almeno pari al 95% di quella massima AASHTO modificata

Per il materiale impiegato **come argilla espansa cementata** non si verifica il costipamento in opera ma la massa volumica del cubetto 15x15 cm in conformità ai requisiti di cui al § 3.3.5.5 e di qualifica.

3.4 Modalità esecutive

In tutte le fasi esecutive, comprese le fasi di preparazione e di sistemazione finale delle aree, per gli aspetti e le problematiche relative a temi ambientali, quali impatti acustici e vibrazionali, emissioni in atmosfera, impatto sulle acque superficiali, sotterranee e sul suolo, impatti sulla componente fauna e vegetazione, si rimanda integralmente a quanto prescritto dalla Normativa Nazionale e Regionale vigente, alle prescrizioni degli Enti preposti alla tutela ambientale, nonché alle condizioni ambientali contenute nelle autorizzazioni ed alle disposizioni del Capitolato Ambientale e Piano di Gestione Terre/Piano di Utilizzo allegati al progetto esecutivo.

3.4.1 Preparazione del piano di posa dei rilevati

3.4.1.1 Scotico, bonifica, gradonature e trincee drenanti

Per la preparazione del piano di posa dei rilevati l'Appaltatore, prima dell'inizio dei lavori dovrà sempre accertarsi del completamento delle operazioni propedeutiche agli scavi (vedi cap. Scavi § 1.1.2 "Bonifica ordigni bellici, sottoservizi ed archeologia" di questo capitolato) anche se eseguite precedentemente all'Appalto o da altre Imprese incaricate direttamente dalla Committente, successivamente, a seguito dell'acquisizione delle necessarie autorizzazioni, procederà al taglio delle piante e all'estirpazione delle ceppaie, radici, arbusti ecc. (diserbamento), al loro sistematico ed immediato allontanamento a deposito autorizzato, rispettando le norme regionali forestali e i regolamenti del verde comunali vigenti in materia e lasciando sul posto, salvaguardandoli dalle lavorazioni, eventuali esemplari indicati in Progetto, nei documenti d'appalto, o dalla Direzione Lavori.
Nello specifico, tenuto conto delle norme suddette, in funzione della casistica del sito è possibile, in particolare, prevedere di intervenire nei modi seguenti:
Sito con semplice copertura erbacea
In questo caso non è necessario allontanare preliminarmente la copertura erbacea, ma è raccomandata la lavorazione superficiale del suolo con attrezzature di tipo agricolo (fresa, aratura superficiale, vangatura), in modo da incorporare e non disperdere il prezioso materiale vegetale.

Sito con copertura erbaceo - arbustiva
È il caso di terreni che presentano copertura erbacea e arbustiva di varia dimensione. In questo caso, esattamente in dipendenza del tipo e densità di copertura, si potrà procedere:

- al taglio e allontanamento della massa vegetale;
- alla triturazione in loco della copertura vegetale con attrezzature agricole del tipo "trincia tutto", tenendo conto di preferire, per quanto possibile, la soluzione di triturazione e incorporamento nel suolo del materiale vegetale, a patto che questo non sia eccessivamente legnoso e che quindi il prodotto triturato risulti grossolano e inidoneo ad essere incorporato nel suolo.

Sito con copertura arborea
In questi casi si dovrà intervenire con il taglio secondo le ordinarie modalità forestali; quindi si opererà al preventivo allontanamento delle ceppaie principali, onde ridurre la presenza di legname in decomposizione nel suolo prelevato.
Sarà di seguito eseguita la totale asportazione del terreno vegetale sottostante l'impronta del rilevato (scotico) per la profondità stabilita in Progetto e/o in accordo con le risultanze delle indagini, secondo le direttive impartite dalla Direzione Lavori e nel rispetto di quanto definito nell'articolo 39 "*opere a verde*" al § 39.2.1 per il "terreno vegetale".

L'Appaltatore provvederà a far sì che il piano di posa dei rilevati sia il più possibile regolare, privo di bruschi avvallamenti e tale da evitare il ristagno di acque piovane, provvedendo al riempimento delle buche effettuate nelle operazioni di estirpamento delle radici delle piante. Tale riempimento dovrà essere effettuato con materiale idoneo (aggregati naturali, riciclati o misti) di caratteristiche simili a quelli di riempimento degli scavi di scotico e di bonifica, messo in opera a strati di conveniente spessore e compattato.
Il piano di posa dei rilevati, costipato mediante rullatura, dovrà essere approvato previa ispezione e controllo da parte della Direzione Lavori secondo le modalità indicate al § 3.5.2; in quella sede la

Direzione Lavori, in accordo con il Progettista, potrà richiedere ulteriori scavi di sbancamento (bonifica) per rimuovere eventuali materiali a grana fine, teneri o torbosi o materiali rimaneggiati/rammolliti per negligenza da parte dell'Appaltatore, ciò al fine di sostituirli con aggregati naturali, riciclati o misti, idonei, messi in opera per strati di conveniente spessore, compattati ed in grado di garantire il raggiungimento delle caratteristiche dei piani di posa di cui al § 3.3.12. In alternativa agli ulteriori scavi di sbancamento la Direzione Lavori potrà ordinare di trattare i terreni di imposta secondo le modalità di cui al § 3.8.
La Direzione Lavori, in relazione alla natura dei terreni sul piano di scotico e di bonifica potrà ordinare l'adozione di provvedimenti atti a prevenire la contaminazione dei materiali di apporto, fra cui la posa di teli geotessili.
Laddove una maggiorazione di scavo sarà da imputarsi ad errori topografici, alla necessità di asportare quei materiali rimaneggiati o rammolliti per negligenza dell'Appaltatore o a bonifiche non preventivamente autorizzate dalla Direzione Lavori, l'Appaltatore eseguirà detti scavi e il relativo riempimento con materiali idonei di caratteristiche simili a quelli di riempimento degli scavi di scotico e di bonifica, a sua cura e spese.

I materiali provenienti dagli scavi dovranno essere caratterizzati dal punto di vista della compatibilità ambientale e geotecnica, a cura e spese dell'Appaltatore, in accordo con la normativa vigente (DLgs 152/2006 e s.m.i.) e secondo anche con quanto riportato all'art. Scavi par. 1.1.6. "Materiali di risulta: riutilizzo e sistemazione a deposito"
Il materiale scavato relativo agli strati di scotico e di bonifica, dovrà essere trasportato a deposito autorizzato o, se idoneo, riutilizzato per opere di riambientalizzazione e/o come terreno vegetale per la finitura delle scarpate e le aree oggetto di opere a verde in generale. Nel caso di riutilizzo come terreno vegetale, occorre che il materiale sia scavato in condizioni di umidità idonee, ossia con "suoli non bagnati", per evitare di degradare la struttura del suolo e quindi alterarne, in senso negativo, il comportamento idrologico (infiltrazione, permeabilità) e altre caratteristiche fisiche con la creazione di strati induriti e compatti inidonei allo sviluppo degli apparati radicali delle piante.
Il quantitativo da reimpiegarsi nella sistemazione a verde delle scarpate e delle aree oggetto di opere a verde in generale sarà accantonato in area e con modalità previste dal Piano di Gestione Terre/Piano di Utilizzo allegati al progetto esecutivo e autorizzate dalla Direzione Lavori, che poi eseguirà il controllo tecnico dell'avvenuto stoccaggio (a riguardo vedere anche quanto previsto nel art. 39 afferente le opere a verde di questo capitolato); il deposito temporaneo di detti materiali dovrà comunque consentire il regolare deflusso delle acque e risultare tale che non si abbiano a verificare condizioni pregiudizievoli per la salute e l'incolumità pubblica. Ogni successiva eventuale ulteriore movimentazione del materiale in questione in altra area, o nel sito finale, andrà autorizzata dalla Direzione Lavori, che poi ne eseguirà il controllo tecnico dell'avvenuto nuovo stoccaggio, o messa in opera finale.
Nei casi in cui fossero riscontrati in fase di scavo livelli di falda a quote superiori a quella del letto dello strato di sottofondo l'Appaltatore progetterà ed eseguirà, previa approvazione della Direzione Lavori, un sistema di trincee drenanti longitudinali e trasversali al corpo stradale di altezza e pendenza adeguate per abbassare il livello di falda e per lo smaltimento delle acque di filtrazione convogliate nel sistema drenante. Il materiale drenante (aggregato naturale, riciclato o misto) dovrà avere caratteristiche di cui al § 3.3.11.
I drenaggi non devono raccogliere l'acqua superficiale per cui saranno chiusi superiormente da uno strato di terreno impermeabile.
Ogni qualvolta i rilevati poggino su declivi con pendenza superiore al 20%, ultimata l'asportazione del terreno vegetale e fatta eccezione per diverse e più restrittive prescrizioni derivanti dalle

specifiche condizioni di stabilità globale del pendio, si dovrà provvedere all'esecuzione di una gradonatura con banche in leggera contropendenza (tra 1% e 2%) e alzate verticali contenute in altezza.
Ogni qualvolta i rilevati poggiano su declivi caratterizzati dalla presenza di acque sotterranee superficiali, il primi strati costituenti il corpo del rilevato verranno realizzati con materiale a grana grossa (aggregato naturale o riciclato o misto) con permeabilità significativamente superiore a quella del terreno naturale, da valutare sulla base di specifiche analisi di filtrazione, ciò al fine di impedire l'imbibizione del corpo del rilevato e assicurarne la stabilità. Gli strati drenanti, se realizzati con materiali di cui al § 3.3.11, potranno avere anche funzione anticapillare.

Quando siano prevedibili cedimenti dei piani di posa dei rilevati superiori a 15 cm, l'Appaltatore sottoporrà alla Direzione Lavori un programma per l'installazione di piastre assestimetriche.
L'Appaltatore dovrà provvedere a reintegrare i maggiori volumi di rilevato per il raggiungimento della quota di Progetto ad avvenuto esaurimento dei cedimenti.

Oltre a quanto sopra, nell'esecuzione dei lavori l'Appaltatore dovrà farsi carico delle prescrizioni e degli oneri di seguito elencati:
- controllo geometrico allo scopo di verificare che gli scavi siano stati eseguiti secondo le pendenze, le dimensioni e le quote di Progetto. I risultati delle verifiche saranno riportati in apposite schede e trasmessi alla Direzione Lavori.
- segnalare l'avvenuta ultimazione degli scavi di scotico e di bonifica per l'eventuale ispezione da parte della Direzione Lavori, prima di procedere a fasi di lavoro successive;
- provvedere alla rimozione di trovanti di qualsiasi natura e dimensione provvedendo altresì alla frantumazione dei materiali non trasportabili e/o non riutilizzabili;
- provvedere al carico, trasporto e scarico del materiale proveniente dagli scavi che si intende riutilizzare, purchè idoneo; è incluso l'onere per il reperimento di idonee aree di stoccaggio, eventualmente indicate dalla Direzione Lavori, nonché per il deposito ordinato e per la ripresa dei materiali per il loro riutilizzo.
- recintare e apporre sistemi di segnaletica diurna e notturna alle aree di lavoro.
- provvedere con qualsiasi sistema (palancole, sbatacchiature, abbassamento provvisorio della falda ecc.) al contenimento delle pareti degli scavi in accordo a quanto previsto nel Progetto e in conformità alle norme di sicurezza.
- adottare tutte le cautele necessarie (indagini preliminari, scavi campione, ecc.) per evitare il danneggiamento di manufatti e servizi interrati esistenti di qualsiasi natura; è inclusa, ove necessario, la temporanea deviazione ed il tempestivo ripristino delle opere danneggiate o temporaneamente messe fuori servizio.
- provvedere ad un adeguato drenaggio per effettuare gli scavi all'asciutto, per evitare accumuli d'acqua nel fondo scavo, fino ad ultimazione delle operazioni di riempimento.

3.4.1.2 Strato anticapillare e strati rinforzati

In relazione alle locali caratteristiche idrogeologiche, nonché alla natura dei materiali costituenti il rilevato, quando previsto in Progetto e/o quando le indagini lo rendessero necessario, al di sopra del piano di scotico sarà eseguita:
- la stesa di uno strato granulare con funzione anticapillare dello spessore compreso tra 30 e 50 cm;

- la stesa di uno strato di geotessile non tessuto con funzione di separazione;
- la stesa di uno o più strati di geotessili (tessuto e/o griglie), con funzione di rinforzanti costituenti il corpo del rilevato.

3.4.1.2.1 Geotessile non tessuto di separazione

Lo strato di geotessile da stendere sul piano di posa del rilevato (piano di scotico) con funzione di separatore dovrà essere del tipo indicato al § 3.3.9 .
I rotoli di geotessile dovranno essere opportunamente protetti durante il periodo di stoccaggio del materiale in accordo alle raccomandazioni del produttore; analogamente il tempo intercorrente tra la stesa del geotessile e la sua copertura con strati costituiti da aggregati dovrà essere inferiore a quello raccomandato dal produttore, comunque non superiore a 24 ore.
Il piano di stesa del geotessile dovrà essere perfettamente regolare, privo di discontinuità o di materiali che possano arrecare danneggiamenti al geotessile; se necessario la stesa sarà realizzata previa messa in opera di materiale sabbioso compattato.
Dovrà essere curata la giunzione dei teli mediante sovrapposizione di almeno 30 cm nei due sensi longitudinale e trasversale.
I teli non dovranno essere in alcun modo esposti al diretto passaggio dei mezzi di cantiere prima della loro totale copertura con materiale da rilevato per uno spessore di almeno 30 cm.

3.4.2 Costruzione del rilevato

3.4.2.1 Stesa dei materiali

L'Appaltatore dovrà adottare l'ordine di stesa previsto in progetto. Per gli strati realizzati con aggregati riciclati, di recupero, artificiali lo spessore e le modalità di stesa dovranno essere definiti in un apposito campo prova, come parte del Method Statement, per garantire il corretto addensamento e il rispetto delle prestazioni finali.
La stesa del materiale dovrà essere eseguita con sistematicità per strati di spessore costante e con modalità e attrezzature atte a evitare segregazione, brusche variazioni granulometriche e del contenuto d'acqua.
Lo spessore allo stato sciolto (prima della compattazione) di ogni singolo strato sarà stabilito in relazione alle caratteristiche degli aggregati, delle modalità di compattazione e delle finalità del rilevato.
Comunque, tale spessore non dovrà risultare superiore ai seguenti limiti:

- 50 cm per rilevati formati con terre appartenenti ai gruppi A1, A2-4, A2-5, A3 o con rocce frantumate;
- 30 cm per rilevati eseguiti con terre appartenenti ai gruppi A2-6, A2-7;
- 40 cm per rilevati formati con aggregati industriali alleggeriti e per rilevati in terra rinforzata.
- Come da Method Statement nel caso di impego di materiali RRS.

Lo spessore dello strato compattato non dovrà superare i due terzi della dimensione delle massime pezzature ammesse per i vari aggregati.
Non è consentito alternare strati del corpo del rilevato con materiale proveniente da fornitori con orgine diversa (naturale, artificiale e riciclata), salvo specifica autorizzazione del Direttore dei Lavori per sopravvenuta definitiva indisponibilità del materiale.

Nel caso di rilevati aventi notevole altezza, dovranno essere realizzate banchine di scarpata della larghezza di 2 m a quota idonea e comunque ad una distanza verticale dal ciglio del rilevato non superiore a 6 m.

Ai fini di garantire che siano raggiunte condizioni di compattazione adeguate anche nella zona di scarpata, sarà onere dell' Appaltatore effettuare la stesa di materiale in eccesso di almeno 30 cm rispetto alla sezione teorica e successiva rimozione e riprofilatura.
Durante le fasi di lavoro si dovrà garantire il rapido deflusso delle acque meteoriche conferendo sagomature aventi pendenza trasversale non inferiore al 2%. In presenza di paramenti di rilevati in terra rinforzata o di muri di sostegno in genere, la pendenza sarà contrapposta ai manufatti. Ciascuno strato potrà essere messo in opera, pena la rimozione, soltanto dopo avere certificato mediante prove di controllo l'idoneità dello strato precedente.

Nel caso di allargamento di un rilevato esistente, previa asportazione dello strato di terreno vegetale, si dovrà con cautela gradonare la scarpata del rilevato esistente, sulla quale verrà addossato il materiale costituente il rilevato di allargo. Tale operazione avverrà per fasi, avendo cura di fare seguire immediatamente ad ogni gradonatura (dell'altezza massima di 50 cm) la stesa del relativo nuovo strato ed il suo costipamento.
Nel caso di interruzione e/o sospensione dei lavori e quando la stesa dello strato di aggregato successivo avvenga oltre 72 ore dalla compattazione dello strato sottostante sarà cura e onere dell'Appaltatore spargere, per l'intera larghezza del rilevato, fitociti, antigerminali e anche taletissici. Inoltre, al fine di evitare fenomeni di trasporto eolico, dovrà essere valutata la possibilità di procedere con l'umidificazione delle aree di lavorazione, nel rispetto dei requisiti tecnici necessari per la formazione del rilevato.
Prima della ripresa del lavoro, il rilevato già eseguito dovrà essere ripulito dalle erbe e dalla vegetazione in genere, praticandovi dei solchi per il collegamento del nuovo strato con quello già messo in opera. Sullo strato già messo in opera dovranno essere ripetuti i controlli di compattazione.
Sarà cura ed onere dell'Appaltatore provvedere alla riprofilatura delle scarpate, delle banchine e dei cigli, nonché alla maggiorazione delle dimensioni di Progetto per tenere conto degli assestamenti delle terre affinchè al momento del collaudo i rilevati siano conformi alle caratteristiche previste in Progetto in termini di altezza e larghezza in sommità.
Si dovrà inoltre garantire la sistematica e tempestiva protezione delle scarpate dall'azione diretta degli agenti atmosferici mediante la stesa di uno strato di terreno vegetale tale da assicurare il pronto attecchimento e sviluppo del manto erboso. Lo spessore minimo dello strato di terreno vegetale sarà di 20 cm, da stendere a cordoli orizzontali, opportunamente costipati, ricavando se necessario gradoni di ancoraggio.
La semina dovrà essere eseguita con semi, se non precisati in Progetto, scelti in relazione al periodo di semina e alle condizioni locali, in modo da ottenere i migliori risultati e realizzata secondo le modalità previste in progetto (Sezioni tipo, Computo Metrico Estimativo, ecc.). La semina dovrà essere ripetuta fino ad ottenere un adeguato ed uniforme inerbimento.
Qualora si dovessero manifestare erosioni di sorta l'Appaltatore dovrà provvedere al restauro delle zone ammalorate a sua cura e spese e secondo le disposizioni impartite di volta in volta dalla Direzione Lavori.
Durante la costruzione dei rilevati si dovrà disporre in permanenza di apposite squadre e mezzi di manutenzione per rimediare ai danni causati dal traffico di cantiere oltre a quelli dovuti alla pioggia e al gelo.

3.4.2.2 Compattazione

La compattazione potrà aver luogo soltanto dopo aver accertato che il contenuto d'acqua delle terre sia prossimo (±1,5% circa) a quello ottimo determinato in fase di qualifica mediante la prova AASHTO Modificata e dovrà essere conforme a quanto indicato al § 3.3.13.
Se tale contenuto d'acqua dovesse risultare superiore, il materiale dovrà essere essiccato per aerazione; se inferiore l'aumento sarà conseguito per umidificazione e con modalità tali da garantire una distribuzione uniforme entro l'intero spessore dello strato.
La compattazione dovrà essere condotta con metodologia atta ad ottenere un addensamento uniforme; a tale scopo i rulli dovranno operare con sistematicità lungo direzioni parallele garantendo una sovrapposizione fra ciascuna passata e quella adiacente pari almeno al 10% della larghezza del rullo.
Per garantire una compattazione uniforme lungo i bordi del rilevato, le scarpate dovranno essere riprofilate, una volta realizzata l'opera, rimuovendo i materiali eccedenti la sagoma.
In presenza di paramenti flessibili e murature laterali, la compattazione a tergo delle opere dovrà essere tale da escludere una riduzione nell'addensamento e nel contempo il danneggiamento delle opere stesse. In particolare si dovrà evitare che grossi rulli vibranti operino entro una distanza inferiore a 1,5 m dai paramenti di terre rinforzate.

Si dovrà inoltre evitare di realizzare rilevati e/o rinterri in corrispondenza di realizzazioni in muratura che non abbiano raggiunto le sufficienti caratteristiche di resistenza. A tergo dei manufatti si useranno mezzi di compattazione leggeri quali piastre vibranti, rulli azionati a mano, provvedendo a garantire i requisiti di deformabilità e densità richiesti anche operando su strati di spessore ridotto.

Nella formazione di tratti di rilevato rimasti in sospeso per la presenza di tombini, canali, cavi, ecc. si dovrà garantire la continuità con la parte realizzata impiegando materiali e livelli di compattazione identici.
La superficie superiore degli strati avrà pendenza tale da garantire lo smaltimento delle acque meteoriche; dovrà essere evitata la formazione di avvallamenti e solchi.

A ridosso di murature di manufatti disposti in direzione trasversale al rilevato, si dovrà eseguire la stesa di misto cementato la cui miscela deve essere conforme a quanto indicato al § 3.3.6. La stesa del misto cementato dovrà essere eseguita per strati di spessore non superiore a 20÷30 cm e, salvo diverse indicazioni progettuali, sarà a forma trapezoidale avente la base inferiore di 2,00 m, quella superiore pari a 2,00 m + 3/2 h e l'altezza h coincidente con quella del rilevato. La stesa non dovrà avvenire con tempo piovoso e con temperature inferiori a 4° centigradi.

Per ulteriori requisiti concernenti condizioni particolari di applicazione del misto cementato, viene fatto riferimento alle norme CNR BU n° 29 e UNI EN 14227-1.

3.4.2.3 Condizioni climatiche avverse

In presenza di gelo o di pioggia persistenti o neve non sarà consentita in linea generale la costruzione dei rilevati, fatto salvo particolari deroghe da parte del Direttore dei Lavori, limitatamente ai materiali meno suscettibili all'azione del gelo e delle acque meteoriche (esempio: pietrame).
Nell'esecuzione dei rilevati con terre ad elevato contenuto della frazione fine (limi e argille) dovranno essere tenuti a disposizione anche dei carrelli pigiatori gommati che consentono di chiudere la superficie dello strato in lavorazione in caso di pioggia. Alla ripresa del lavoro la stessa superficie

dovrà essere convenientemente erpicata provvedendo eventualmente a rimuovere lo strato superficiale rammollito.
In caso di pioggia persistente, l'Appaltatore verifica la corretta funzionalità del sistema di regimazione delle acque e interviene con le opportune mitigazioni per limitare il trasporto solido secondo le disposizioni riportate nel Capitolato Ambientale. In seguito a precipitazioni intense e concentrate, l'Appaltatore dovrà verificare le condizioni del rilevato ed eventualmente ripristinare le condizioni iniziali.

3.4.2.4 Misto cementato a ridosso dei manufatti

Per le modalità di posa del misto cementato a ridosso dei manufatti si rimanda ai contenuti del § 30.3.5 di questo capitolato.

3.4.2.5 Rilevati di prova

L'Appaltatore procederà all'esecuzione di rilevati di prova in tali circostanze:
- quando sono previsti in Progetto; in tale caso verranno rispettate le specifiche di Progetto;
- su ordine della Direzione Lavori, per verificare l'idoneità di materiali diversi da quelli specificati in Progetto o negli articoli del presente Capitolato Speciale, esempio: materiali a pezzatura grossolana (pietrame), materiali a grana fine (appartenenti ai gruppi A2-6 e A2-7) ed a comportamento instabile, etc..

Il rilevato di prova consentirà di verificare le caratteristiche fisico-meccaniche dei materiali messi in opera, le caratteristiche dei mezzi di compattazione (tipo, peso, energie vibranti) e le modalità esecutive più idonee (numero di passate, velocità del rullo, spessore degli strati, ecc.), le procedure di lavoro e di controllo cui attenersi nel corso della formazione dei rilevati.
L'ubicazione del campo prova, le modalità esecutive del rilevato di prova e delle relative prove di controllo saranno stabilite di volta in volta dalla Direzione Lavori; a titolo indicativo si adotteranno le seguenti prescrizioni:
- l'area prescelta per il rilevato di prova dovrà essere caratterizzata da condizioni dei terreni di fondazione (natura e proprietà geotecniche) prossime a quelle dell'area ove verrà realizzato il rilevato autostradale;
- la larghezza del rilevato di prova dovrà risultare almeno pari a tre volte la larghezza del rullo, i materiali saranno stesi in strati di spessore costante (o variabile qualora si voglia individuare lo spessore ottimale) e si provvederà a compattarli con regolarità ed uniformità simulando, durante tutte le fasi di lavoro, le modalità esecutive che poi saranno osservate nel corso dei lavori di costruzione del rilevato autostradale.

In generale per ciascun tipo di materiale e per ciascun tipo di modalità esecutiva si provvederà a mettere in opera almeno 2 o 3 strati successivi; per ogni strato si provvederà ad eseguire le prove di controllo dopo successive passate (ad esempio dopo 4, 6, 8, passate). Le prove di controllo da adottarsi saranno principalmente finalizzate ad individuare nel dettaglio le caratteristiche di densità, deformabilità e i contenuti d'acqua degli aggregati. In taluni casi si potrà ricorrere a prove speciali (ad esempio la prova di carico su piastra previa saturazione del materiale sottostante la piastra, prove geofisiche ecc.) e a prelievo di campioni indisturbati da destinarsi alle prove di laboratorio ponendo particolare attenzione a quei materiali considerati instabili o presunti tali, quali le rocce tenere di origine sedimentaria.
Limitatamente ai materiali a granulometria grossolana, risultando le prove abituali non rappresentative, l'addensamento sarà controllato mediante successive livellazioni del piano di

rullatura e la misura della densità in sito sarà fatta prelevando il materiale da un pozzetto che dovrà essere rivestito da apposito telo impermeabile successivamente riempito d'acqua.
L'Appaltatore sarà tenuto a documentare in apposita relazione tutte le fasi di lavoro, i mezzi e le procedure impiegate. L'approvazione dei materiali nonché delle modalità esecutive spetta esclusivamente alla Direzione Lavori.

3.4.3 Rilevati con materiali alleggeriti

Di seguito sono descritte le modalità più comuni adottate per la loro realizzazione.

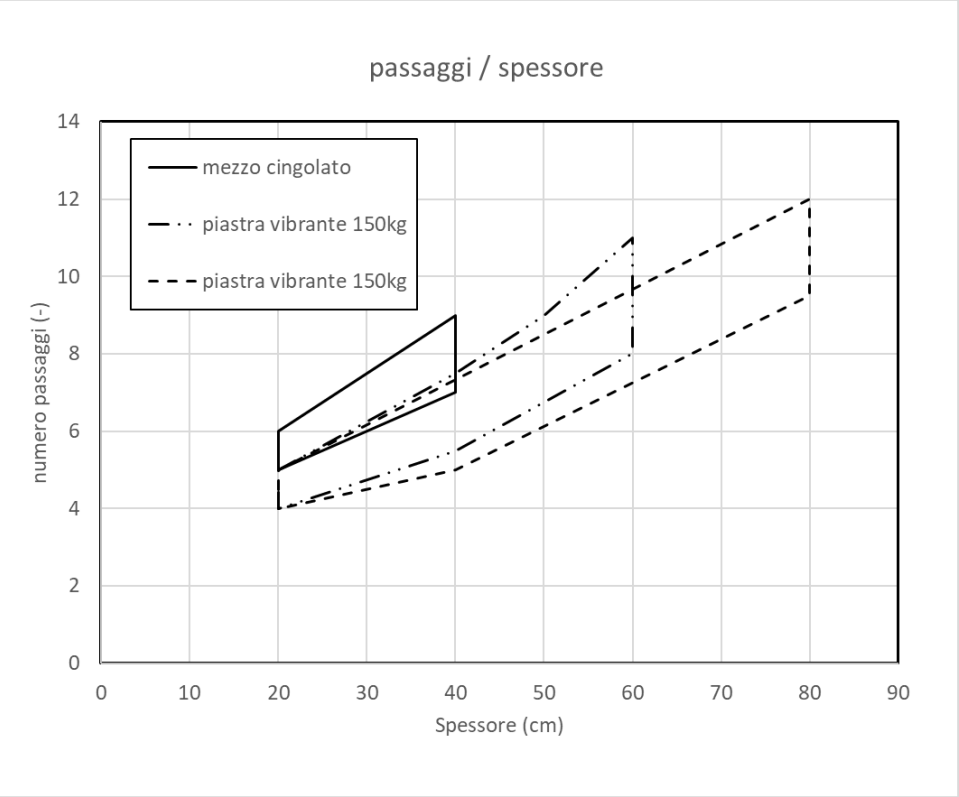
3.4.3.1 Rilevati in argilla espansa e misto stabilizzato granulometricamente

Il metodo più utilizzato per la realizzazione di rilevati "alleggeriti" è quello di alternare strati di argilla espansa e di materiale appartenenti ai gruppi A1-a e A3 con le prescrizioni di cui al § 3.3.3. Lo spessore di ciascuno strato generalmente è variabile tra 40÷80cm e non superiore a 100 cm, secondo le indicazioni progettuali. Lo schema realizzativo, partendo dalla stesa dell'elemento separatore, tessuto non tessuto, si procede con il primo strato di materiale "alleggerito" di spessore secondo le indicazioni progettuali, al di sopra di esso viene interposto un successivo elemento separatore, geotessile di tessuto non tessuto, sul quale viene posato uno spessore (circa 20÷30cm) di misto stabilizzato granulometricamente (materiali appartenenti ai gruppi A1-a e A3), successivamente si procede alla compattazione mediante rullo vibrante. Lo spessore massimo dello strato alleggerito e misto stabilizzato non deve superare i 120 cm. Lo strato sommitale, posto al di sotto del pacchetto di pavimentazione deve avere uno spessore di 40 cm costituito da materiale appartentente ai gruppi A1-a e A3.

I rilevati così realizzati, hanno una densità media del pacchetto compresa tra 600 e 1200 kg/m^3. Qualora siano presenti elementi di contenimento della larghezza del rilevato (geogriglia, bandele metalliche, ecc.) devono essere posti immediatamente al di sopra dello strato misto evitando il contatto con il geotessile.

3.4.3.2 Rilevati in sola argilla espansa

Facendo seguito a particolari esigenze prestazionali (peso medio del riempimento compreso tra 400÷600kg/m^3), il rilevato viene realizzato interamente con materiale *"leggero":* si prevede l'interposizione di un tessuto non tessuto con finalità di elemento separatore tra il terreno naturale e l'argilla; gli ulimi 40 cm in sommità del rielvato sarà costituito da materiale appartenenti ai gruppi A1-a e A3 con le prescrizioni di cui al § 3.3.4.3, al di sopra del quale viene posizionato il pacchetto di pavimentazione.
L'addensamento viene realizzato mediante il passaggio di piastra vibrante o mezzo cingolato (escavatore, pala, dozer, ecc.) direttamente sopra l'argilla espansa. Il numero di passaggi è dipendente dallo spessore degli strati di posa posti in opera in successione e della tipologia del mezzo utilizzato. Nella figura seguente, a titolo indicativo, è indicato il numero di passaggi in funzione dello spessore dello strato e del mezzo.



È possibile compattare il rilevato mediante passaggio del rullo direttamente sopra l'argilla espansa previa posizionamento di una geogriglia protetta da un ulteriore strato di 10cm di argilla espansa e infine passare con il rullo vibrante.
Si tenga in considerazione che il corretto addensamento dell'argilla espansa corrisponde, indicativamente, ad un calo volumetrico pari a circa il 17 %.

3.4.3.3 Rilevati/riempimenti in argilla espansa cementata

Ogni consegna di materiale in cantiere deve essere accompagnata dai documenti di trasporto (DDT) indicanti la composizione del mix che devono essere trasmessi settimanalmente alla Direzione Lavori. L'argilla espansa cementata può essere scaricata direttamente sul luogo previsto dalla betoniera con l'utilizzo di opportuna canala di scarico o pompata ad aria compressa.
La compattazione deve essere fatta con piastra vibrante per strati di spessore compreso tra 30 e 50 cm in continuo fino al raggiungimento della quota prevista in progetto.
La modalità di stesa e compattazione deve essere preventivamente comunicata al Direttore dei Lavori in fase di qualifica per approvazione.
Il transito di cantiere potrà essere ammesso sul rilevato finito a partire dal terzo giorno dopo quello in cui è stata effettuata la stesa e limitatamente ai mezzi gommati. Aperture anticipate vanno correlate alle resistenze raggiunte e previa verifica che il transito non danneggi lo strato. Comunque il tempo di maturazione non potrà essere mai inferiore a 48 h.

3.4.4 Rilevati in terra "Armata" o "Rinforzata"

Gli elementi di rinforzo messi in opera dovranno essere identificati ed ispezionati in dettaglio al fine della dichiarazione di conformità alle caratteristiche richieste che dovrà essere documentata.

I campi prova, da realizzarsi a cura e spese dell'appaltatore sotto la supervisione della D.L., dovranno essere eseguiti prevedendo il ricorso a terreni con caratteristiche granulometriche e di natura e forma degli elementi che costituiscono lo scheletro solido identiche al materiale che si intende utilizzare, impiegando, modalità di stesa e compattazione identiche a quelle di realizzazione dell'opera di sostegno.
Tutte le operazioni di movimentazione e stoccaggio degli elementi di rinforzo dovranno avvenire nel rispetto delle specifiche di Progetto e delle raccomandazioni del fornitore.
Ogni elemento di rinforzo sarà steso su una superficie perfettamente regolare, priva di materiali che possano arrecare danneggiamenti; se necessaria la stesa sarà realizzata previa messa in opera di materiale sabbioso compattato.
La stesa del geosintetico avverrà (se non diversamente indicato in Progetto) perpendicolarmente all' asse del rilevato, senza giunzioni e con risvolto eventualmente indicato nel Progetto; la sovrapposizione in direzione longitudinale sarà quella indicata in Progetto.
Nel caso di elementi di rinforzo caratterizzati da resistenze a trazione differenti nelle varie direzioni la stesa avverrà conformemente all'orientazione specificata in Progetto, e comunque tale da garantire adeguata sovrapposizione degli elementi di rinforzo eventualmente prevedendo strati aggiuntivi con opportuna orientazione.
Al fine di minimizzare le deformazioni necessarie alla mobilitazione della resistenza a trazione, gli elementi di rinforzo saranno stesi sottoponendoli ad un leggero tiro e tenuti in quella posizione prima della messa in opera dello strato di aggregato che avverrà entro il tempo specificato in Progetto, comunque non oltre 24 ore dalla stesa dell'elemento di rinforzo.
Gli elementi di rinforzo non dovranno essere in alcun modo esposti al diretto passaggio dei mezzi di cantiere prima della loro totale copertura con materiale da rilevato per uno spessore di almeno 30 cm.
La sequenza di messa in opera dello strato di aggregato sugli elementi di rinforzo poggianti su terreni a grana fine teneri dovrà avvenire in accordo alle specifiche di Progetto, e comunque in modo tale che non venga procurata la rottura del terreno di fondazione e la formazione di fenomeni di sollevamento ("bow waves") che possono danneggiare gli elementi di rinforzo; tale fenomeno andrà evitato, eventualmente riducendo al minimo lo spessore di aggregato messo in opera per la transitabilità dei mezzi. A tal riguardo la stesa e la compattazione dovranno essere eseguite per strati di spessore non superiore a 25 cm, salvo che in fase di qualifica l'Appaltatore dimostri che spessori superiori non danneggino gli elementi di rinforzo. Il costipamento in opera deve raggiungere i valori di cui al § 3.3.13.
Per i rilevati eseguiti con la tecnica della terra rinforzata e in genere per quelli delimitati da opere di sostegno flessibili (quali gabbioni) sarà tassativo che la stesa avvenga sempre parallelamente al paramento esterno.

3.5 Controlli in corso d'opera

3.5.1 Controlli dell'Appaltatore

Per garantire il rispetto delle prestazioni, la frequenza e la tipologia dei controlli in corso d'opera sono definite in funzione dei materiali impiegati e dei relativi quantitativi, in coerenza con le prescrizioni dei Criteri Ambientali Minimi. L'Appaltatore è tenuto a documentare in apposito report l'esito delle seguenti verifiche da trasmettere alla Direzione Lavori:

- rispondenza dei documenti di trasporto delle forniture all'arrivo in cantiere e la rispondenza delle caratteristiche per lo specifico impiego previsto a progetto e alla qualifica approvata dal Direttore dei Lavori;

- rispondenza dei mezzi d'opera utilizzati e delle modalità di posa (numero di passate, velocità operativa, frequenza) alle specifiche di capitolato e di qualifica;
- della sagoma del rilevato di cui al successivo § 3.6.1.1;
- dei controlli effettuati in corso d'opera di cui ai successivi paragrafi.

3.5.1.1 Controllo della sagoma del rilevato

L'Appaltatore dovrà provvedere, a propria cura e spese, alla verifica topografica della sagoma degli scavi di scotico, bonifica e dei vari strati di stesa del rilevato rispetto alle previsioni progettuali prima di procedere con la posa di ogni strato successivo. Il rilievo dovrà individuare, sia graficamente, sia in una apposita tabella suddivisa per wbs, i volumi di scavo e dei materiali impiegati per la costruzione del rilevato suddivisi per provenienza e tipologia (da scavi interni al cantiere, dai vari fornitori, riciclato, da cava, stabilizzato ecc.).
Dovrà inoltre essere controllato lo spessore dello strato di terreno vegetale, l'eventuale realizzazione di gradoni di ancoraggio e l'uniformità dell'inerbimento.

Il rilievo, ed ogni suo successivo aggiornamento da redigere su base mensile se in presenza di lavorazioni sul rilevato, deve essere trasmesso al Direttore dei Lavori in formato dwg e rispettare i limiti di cui al § 3.6.

3.5.2 Controllo dei valori prestazionali del rilevato

La Direzione Lavori, in contraddittorio e con l'assistenza dell'Appaltatore, eseguirà per ogni tipologia di aggregato o miscela e per ogni fornitore od origine del materiale, una prova a verifica delle caratteristiche indicate, in base alla frequenza di volume (o superficie per il piano di posa) di materiale messo in opera:

Tipo di prova	Rilevati Stradali/Autostradali			Terre Rinforzate ed Armate	Rilevati precarico Riempimenti banche
	Piano di posa dei rilevati (piano di scotico)	Corpo del rilevato (compreso riempimento di bonifica e cementato)	Ultimo strato di spess. 30 cm		
	m^2	m^3	m^3	m^3	m^3
Per tutti i tipi: Classificazione Designazione della miscela Sopravaglio della miscela Contenuto massimo dei fini Granulometria della miscela Massa volumica max - Proctor Mod. *Per sottofondo:* Portanza CBR dopo 4d Rigonfiamento CBR *Per gli aggregati riciclati:* SS - Solfato solubile in acqua Rcug - Contenuto di frammenti di cls … Rg - Contenuto di vetro Ra - Contenuto di materiali bituminosi FL - Contenuto di materiale galleggiante	n/a	10000	10000	10000	10000

Tipo di prova	Rilevati Stradali/Autostradali			Terre Rinforzate ed Armate	Rilevati precarico Riempimenti banche
	Piano di posa dei rilevati (piano di scotico)	Corpo del rilevato (compreso riempimento di bonifica e cementato)	Ultimo strato di spess. 30 cm		
	m²	m³	m³	m³	m³
X_1 – Contenuto di terreno vegetale … Rb – Contenuto di argilla mattoni … AS – Solfato solubile in acido S - Zolfo totale Test di cessione (solo aggregati di origine riciclata) *Per argilla espansa:* massa volumica in mucchio compressibilità e resistenza alla compressione triassiale assorbimento di acqua a 24 ore					
Per gli aggregati naturali e riciclati: Appiattimento dell'aggregato grosso Qualità dei fini Resistenza alla frammentazione Sonnenbrand del basalto Stabilità volumetrica	n/a	20000	20000	20000	20000
Densità in sito CNR 22 (min 1 prelievo al giorno, per ogni strato e wbs) in conformità ai valori di cui al § 3.3.13	n/a	1000	800	1000	1000
Carico su piastra CNR 146/92 (min 1 prelievo al giorno, per ogni strato e wbs) in conformità ai valori di cui al § 3.3.12	1500	1000	800	1000	1000
Per cementato (min 1 prelievo al giorno, per ogni strato e wbs): *a tergo opere:* resistenza a compressione a 7 giorni resistenza a trazione indiretta a 7 giorni *argilla espansa cementata:* resistenza a compressione a 7 giorni (cubetto 15x15) densità secca cubetto consistenza fresco resistenza al fuoco	n/a	1000	n/a	n/a	n/a
Resistività	n/a	n/a	n/a	1000	n/a
pH	n/a	n/a	n/a	1000	n/a
Solfati e cloruri	n/a	n/a	n/a	1000	n/a
Solfuri	n/a	n/a	n/a	1000	n/a

La frequenza delle prove sopra specificate deve ritenersi come minima e dovrà essere infittita in ragione della discontinuità granulometrica dei materiali portati a rilevato, della disomogeneità nelle procedure di compattazione e delle differenti condizioni metereologiche. Le prove aggiuntive che si rendono necessarie per aspetti legati all'organizzazione dell'Appaltatore saranno a suo onere.

Prima che sia messo in opera uno strato successivo, ogni strato di rilevato dovrà essere sottoposto alle prove di piastra e densità per verificare che siano rispettati i requisiti di costipamento minimi richiesti.
Le prove andranno distribuite in modo tale da essere sicuramente rappresentative dei risultati, in relazione alle caratteristiche dei terreni attraversati. La Direzione Lavori potrà richiedere, in presenza di terreni "instabili", l'esecuzione di prove speciali (prove di carico su piastra previa saturazione ecc.).

Le caratteristiche di deformabilità dovranno essere accertate in modo rigoroso e dovranno ritenersi rappresentative, anche a lungo termine, nelle condizioni climatiche e idrogeologiche più sfavorevoli; si fa esplicito riferimento a quei materiali a comportamento "instabile" (collassabili, espansivi, gelivi, etc.) per i quali la determinazione del modulo di deformazione sarà affidata a prove speciali (edometriche, di carico su piastra in condizioni sature ecc.).

3.5.3 Controllo sul geotessile

La Direzione Lavori, in contraddittorio e con l'assistenza dell'Appaltatore dovrà eseguire la campionatura del materiale secondo la Norma UNI EN ISO 9862 con frequenza di un prelievo ogni 20.000 m^2 di prodotto omogeneo fornito e per ogni produttore.
Si effettueranno le prove di verifica dei requisiti di cui alla tabella riportata al § 3.3.7.

3.6 Tolleranze di esecuzione e penali

3.6.1 Sagoma del rilevato

La superficie finita della sagoma del rilevato non dovrà discostarsi da quella di Progetto di +2,5 cm e -1,5 cm. Inoltre non deve essere compromessa la stabilità del complesso rilevato terreno di fondazione e gli assestamenti residui alla consegna dell'opera devono risultare non superiori al 10% dei cedimenti teorici residui attesi.

3.6.2 Prove di piastra e densità

Nel caso le prove di piastra e densità non diano esito conforme, la lavorazione non potrà essere accettata ed il materiale deve essere rilavorato a cura ed onere dell'Appaltatore senza che lo stesso possà altresì aver diritto ad un maggior tempo per l'esecuzione dell'Appalto.

3.7 Documenti di prequalifica e controlli di accettazione

L'Appaltatore deve trasmettere al Direttore dei Lavori per approvazione almeno 15 giorni prima dell'inizio delle attività la documentazione di seguito elencata.
La mancata presentazione della documentazione preliminare comporta la non autorizzazione all'inizio dell'esecuzione dei lavori, né saranno accettate eventuali lavorazioni svolte prima dell'approvazione delle modalità esecutive.

Nello specifico è richiesto un dossier di prequalifica dei materiali che comporranno il rilevato, che contenga:

- La marcatura CE e DoP di tutti gli aggregati, dei materiali costituenti le miscele e del geotessile
- Benestare degli enti competenti ad autorizzare la coltivazione della cava
- L'indicazione del tipo di mezzi utilizzati per il trasporto, la stesa e la compattazione degli aggregati e delle miscele. Nello specifico l'Appaltatore dovrà indicare modalità esecutive di

dettaglio (numero di passate, velocità operativa, frequenza, valori portanza di ogni strato nel rispetto dei contenuti del §3.3.1414) adottate per tipologia di aggregato e miscela e le condizioni climatiche limite di lavoro. Per la corretta gestione degli impatti acustici e vibrazionali derivanti dalla lavorazione, si rimanda alle disposizioni del Capitolato Ambientale. In particolare, si richiama l'obbligo per l'Appaltatore provvedere a un'opportuna campagna informativa della popolazione

- Documentazione che attesti in modo univoco la provenienza dei materiali impiegati.
- Method Statement (o Relazione Illustrativa): L'appaltatore dovrà presentare, per ciascun materiale riciclato o sottoprodotto che intende utilizzare, un documento che ne descriva la provenienza, le caratteristiche tecniche, le modalità e le percentuali di impiego, e le procedure esecutive (inclusa la gestione degli spessori degli strati e le modalità di compattazione), al fine di dimostrare il rispetto dei requisiti prestazionali del progetto del CSA.

Per gli aggregati del rilevato i certificati delle prove di cui alla tabella del § 3.3.2:

- Classificazione
- Designazione della miscela
- Sopravaglio della miscela
- Contenuto massimo dei fini
- Granulometria della miscela
- Appiattimento dell'aggregato grosso
- Qualità dei fini
- Resistenza alla frammentazione
- Massa volumica max. con energia Procotor modificata (eccetto anticapillare)
- Portanza CBR dopo 4d di imbibizione su provini costipati, con umidità ±2% dell'ottimo, al 95% della massa volumica massima all'energia Proctor modificata (solo per sottofondo)
- Rigonfiamento CBR (solo per sottofondo)
- Sonnenbrand del basalto (solo per aggregati per cui è prevista la prova)
- Stabilità volumetrica (solo per aggregati per cui è prevista la prova)
- Solfato solubile in acqua (solo aggregati di origine riciclata)
- Contenuto di frammenti di conglomerati cementizi ecc. (solo aggregati di origine riciclata)
- Contenuto di vetro (solo aggregati di origine riciclata)
- Contenuto di materiali bituminosi (solo aggregati di origine riciclata)
- Contenuto di materiale galleggiante (solo aggregati di origine riciclata)
- Contenuto di terreno vegetale ecc. (solo aggregati di origine riciclata)
- Test di cessione (solo aggregati di origine riciclata)

Per ogni fornitura di granulato di conglomerato bituminoso di cui al § 3.3.2:

- La curva granulometrica ante estrazione (curva nera) rappresentativa della fornitura da utilizzare nella realizzazione del campo prove e per il successivo utilizzo;
- Il quantitativo di bitume presente nel granulato relativo alla fornitura.
- dichiarazione del Lotto di Produzione e relativa Dichiarazione di Conformità (DDC) emessa ai sensi del D.M. 69/2018 all.2

I certificati di Laboratorio non devono avere data antecedente le frequenze riportate nei prospetti C1 e C2 della UNI EN 13242 e, dove queste frequenze non sono indicate nella UNI, il certificato non deve avere data antecedente 6 mesi rispetto alla trasmissione della documentazione al Direttore dei Lavori.

Per gli aggregati alleggeriti i certificati delle prove di cui ai §§ 3.3.3.2, 3.3.4.2, 3.3.5.2:

- Granulometria della miscela
- Massa volumica in mucchio
- Compressibilità e resistenza alla compressione triassiale
- Assorbimento di acqua a 24 ore
- Classe di resistenza al fuoco

Per la miscela in argilla espansa cementata i certificati delle prove di cui al § 3.3.5.5:

- Densità;
- Resistenza a compressione a 7 giorni
- Classe di consistenza fresco
- Determinazione del periodo di lavorabilità della miscela alla temperatura massima a cui l'Appaltatore prevede di stendere e compattare (non superiore a 35°)

Per il misto cementato a ridosso delle opere d'arte i certificati delle prove di cui al § 3.3.6.5:

- Resistenza alla compressione con provini cilindrici compattati a 7 giorni di stagionatura
- Resistenza a trazione indiretta
- La compattezza della miscela alla massima massa volumica a secco Proctor modificata
- Determinazione del periodo di lavorabilità della miscela (UNI EN 13286-45) alla temperatura massima a cui l'Appaltatore prevede di stendere e compattare (non superiore a 35°)

Qualora la Direzione Lavori accerti la non corrispondenza anche ad una sola delle caratteristiche richieste in riferimento ai documenti di qualifica del materiale, questo non potrà essere impiegato nella lavorazione e se la stessa Direzione Lavori riterrà, a suo giudizio, che non possa essere reso idoneo mediante opportuni correttivi da effettuare a cura e spese dell'Appaltatore, non potrà essere accettato in cantiere.

Le prove e i certificati di accettazione iniziale della fase di prequalifica sono da ripetere ad ogni cambio cava, fornitore o tipo di materiale a cura ed onere dell'Appaltatore.

I requisiti d'accettazione saranno inoltre accertati con ulteriori prove a cura della Direzione Lavori sia in cava o dal fornitore preliminarmente all'arrivo in cantiere (controllo non vincolante per l'autorizzazione dei documenti di qualifica), sia in corso d'opera, prelevando il materiale in sito o ancora in cava, prima e dopo avere effettuato il costipamento.

Per comodità di consultazione delle prove di classificazione delle terre e la determinazione del loro gruppo di appartenenza si riporta sotto Tabella 1 di cui al prospetto 1 della norma UNI 11531-1.

Tabella 1: Caratteristiche prestazionali delle terre naturali

Classificazione generale	**Terre ghiaio-argillose Frazione passante al setaccio 0,063 <35%**							**Terre limo-argillose Frazione passante al setaccio 0,063 >35%**					**Torbe e terre organiche palustri**
Gruppo	A1		A3	A2				A4	A5	A6	A7		A8
Sottogruppo	A1-a	A1-b		A2-4	A2-5	A2-6	A2-7				A7-5	A7-6	
Analisi granulometrica Frazione passante al setaccio													
2 UNI EN 933	≤ 50	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
0,4 UNI EN 933	≤ 30	≤ 50	> 50	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
0,063 UNI EN 933	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	> 35	> 35	> 35	> 35	> 35	
Caratteristiche della frazione passante al setaccio 0,4 UNI EN 933													
Limite liquido	--		--	≤ 40	> 40	≤ 40	> 40	≤ 40	> 40	≤ 40	> 40	> 40	
Indice di plasticità	≤ 6		N.P.	≤ 10	≤ 10	> 10	> 10	≤ 10	≤ 10	> 10	> 10 IP≤ LL-30	> 10 IP> LL -30	
Indice di gruppo	0		0	0		≤ 4		≤ 8	≤ 12	≤ 16	≤ 20		
Tipi usuali dei materiali caratteristici costituenti il gruppo	Ghiaia o breccia, ghiaia o breccia sabbiosa, sabbia grossa, pomice, scorie vulcaniche, pozzolane		Sabbia fine	Ghiaia e sabbia limosa o argillosa				Limi poco compressib.	Limi fortemente compressib.	Argille poco compressibili	Argille fortemente compressibili mediamente plastiche	Argille fortemente compressibili fortemente plastiche	Torbe di recente o remota formazione, detriti organici di origine palustre
Qualità portanti quale terreno di sottofondo in assenza di gelo	Da eccellente a buono					Da mediocre a scadente							Da scartare come sottofondo
Azione del gelo sulle qualità portanti del terreno di sottofondo	Nessuna o lieve			Media				Molto elevata		Media	Elevata	Media	
Ritiro o rigonfiamento	Nullo			Nullo o lieve				Lieve o medio		Elevato	Elevato	Molto elevato	
Permeabilità	Elevata			Media o scarsa						Scarsa o nulla			
Identificazione del terreno in sito	Facilmente individuabile a vista		Aspri al tatto incoerenti allo stato asciutto	La maggior parte dei granuli sono individuabili ad occhio nudo Aspri al tatto Una tenacità media o elevata allo stato asciutto indica la presenza di argilla				Reagiscono alle prove di scuotimento* Polverulenti o poco tenaci allo stato asciutto. Non facilmente modellabili allo stato umido		Non reagiscono alla prova di scuotimento* Tenaci allo stato asciutto Facilmente modellabili in bastoncini sottili allo stato umido			Fibrosi di colore bruno o nero Facilmente individuabili a vista

Prova di cantiere che può servire a distinguere i limi e le argille. Si esegue scuotendo nel palmo della mano un campione di terra bagnata e comprimendolo successivamente fra le dita. La terra reagisce alla prova se, dopo lo scuotimento, apparirà sulla superficie un velo lucido di acqua libera, che scomparirà comprimendo il campione fra le dita.

3.8 Trattamenti delle terre con calce o cemento

3.8.1 Descrizione e campo di applicazione

Con trattamento a calce o cemento di una terra si intende la miscelazione della stessa calce, viva o idrata o cemento, in quantità tali da migliorare, attraverso reazioni chimico-fisiche, le sue caratteristiche di lavorabilità e di suscettibilità all'acqua, nonché le sue proprietà meccaniche. La presente norma si riferisce all'utilizzo della tecnica di trattamento a calce o cemento delle terre per:

- la costruzione del corpo dei rilevati (compreso l'ultimo strato di 30 cm);
- il trattamento del terreno naturale al di sotto del piano di scotico;

Nella presente norma si fa riferimento alla sola operazione di mescolazione delle terre/aggregati con legante sul sito di realizzazione del rilevato.

Al fine di evitare eventuali fenomeni di spolvero e trasporto eolico o dilavamento in caso di precipitazioni, il trattamento con legante dovrà avvenire nel rispetto della Procedura di trattamento o stabilizzazione a calce allegata alla relazione sulla gestione delle terre/Piano di Utilizzo e delle disposizioni riportate nel Capitolato Ambientale.

3.8.2 Criteri di accettazione dei materiali

3.8.2.1 Terreni/aggregati naturali

Per quanto riguarda la qualifica dei materiali da trattare a calce o cemento si rimanda integralmente ai precedenti § 3.3 e 3.4.

Potranno essere trattati a calce o cemento terreni naturali in posto o gli aggregati naturali provenienti dagli scavi (di bonifica, di sbancamento e in galleria) o materiali provenienti da esterno naturali o riciclati di cui sia dimostrata, mediante una opportuna serie di analisi di laboratorio, la capacità di dare luogo a quelle trasformazioni chimico-fisiche che conducono al miglioramento delle caratteristiche di lavorabilità e delle proprietà meccaniche.

Indicativamente, sono idonee al trattamento con **calce**:

- le terre/aggregati fini plastiche limose-argillose dei gruppi A6 - A7 con valori dell' indice plastico normalmente compresi fra 10 e 50 o anche superiori
- terre/aggregati appartenenti al gruppo A5, quando di origine vulcanica
- le terre/aggregati appartenenti ai gruppi A2-6 e A2-7, quando contengano una frazione di passante al setaccio 0.4 UNI superiore al 35%;
- le terre/aggregati appartenenti ai gruppi A1, A2-4, A2-5, A3, A4 con indice di gruppo 0 quando le condizioni climatiche avverse, e quindi l'umidità della terra, non consentono di raggiungere la capacità portante prevista in progetto e di eseguire la lavorazione a regola d'arte.

Indicativamente, sono idonee al trattamento con **cemento**:

- le terre di tipo sabbioso, ghiaioso, sabbioso-limoso e/o argilloso, ghiaioso-limoso e/o argilloso e limoso dei gruppi A1, A3, A2-4, A2-5, ed avere indice di plasticità normalmente minore di 15. Sono preferibili i terreni sabbiosi a granulometria continua con una percentuale di passante al setaccio 0,075 mm non superiore al 10-15%. Per sabbie troppo uniformi in genere i risultati sono poco soddisfacenti in quanto vengono utilizzate grosse quantità di cemento
- i materiali friabili o profondamente alterati, purché riconducibili con un adeguato trattamento alle volute funzioni portanti.

In ogni caso:

- la curva granulometrica dovrà rientrare all'interno del fuso riportato nella fig. 1 della norma CNR B.U. 36 di seguito richiamata:

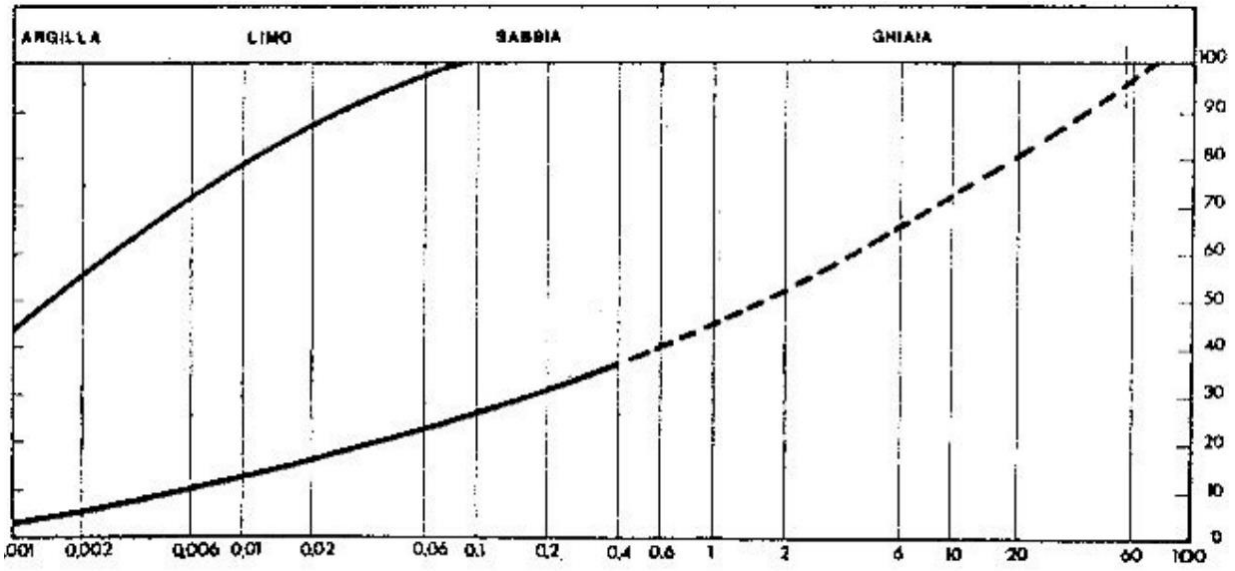


Fig. 1 – Fuso granulometrico delle terre per la stabilizzazione con calce

- Il contenuto di sostanze organiche dovrà essere inferiori al 2%; tale valore potrà essere portato fino al 4% nel caso di trattamento del piano di posa, purché sia dimostrato il raggiungimento dei requisiti di resistenza e deformabilità e durabilità richiesti. Il materiale, se proveniente dagli scavi dovrà essere esente da eventuali residui di lavorazione (blocchi di calcestruzzo spruzzato, elementi di vetroresina, …). In particolare, laddove sia previsto l'impiego di smarino di galleria, l'Appaltatore provvederà a sua cura e spese all'adozione delle più opportune tecnologie di scavo o all'eventuale frantumazione e vagliatura del materiale stesso, al fine di ridurlo ad idonea pezzatura.
- I solfati totali (solfati e solfuri) dovranno essere inferiori al 2% (UNI EN 196-2), fatta eccezione per l'ultimo strato del rilevato dove dovranno essere tassativamente inferiori allo 0.25% al fine di evitare eventuali fenomeni di espansione volumetrica.
- Contenuto d'acqua Wn inferiore a 1.3 Wnopt, essendo quest' ultimo il contenuto d' acqua alla densità ottimale secondo la prova AASHTO mod T/180-57. Qualora il terreno da trattare sia troppo secco, dovrà essere umidificato aggiungendo un'opportuna quantità di acqua con controllo finale su più punti del contenuto Wn raggiunto.

3.8.2.2 Calce

Ogni partita di prodotto dovrà essere accompagnata da un attestato di conformità alla norma UNI EN 459-1 con sistema di attestazione di conformità 2+, in accordo con il regolamento (UE) 305/2011 e Dlgs 106/2017, e secondo il R.D. n.2231/1939 ("Norme sull' accettazione delle calci").
Sono ammessi i due seguenti tipi di calce:
- calce aerea idrata (Ca(OH)2)
- calce area viva macinata (CaO)

I requisiti della calce sono indicati nella tabella seguente:

REQUISITO	CALCE VIVA	CALCE IDRATA
CO2	<5%	-
(CaO+MgO) Totali	>84%	-
Titolo in Idrati	-	>85%
SiO2+Al2O3+Fe2O3+SO3	<5%	<5%
Tenore in MgO	<10%	<8%
Umidità	-	<2%
Acqua legata chimicamente	<2%	-
Reattività all' acqua	> 60° in 25'	
Dimensione massima dei grani	<2 mm	<2 mm
Percentuale passante, in peso	setaccio 0.2mm > 90% setaccio 0.075mm >50%	setaccio 0.075 mm>50%

La calce potrà essere approvvigionata in sacchi o allo stato sfuso. Nel primo caso i sacchi saranno alloggiati in ambienti coperti e al riparo dall'umidità; nel caso di approvvigionamento allo stato sfuso, la calce sarà stoccata in cantiere in appositi silos, con sistema di abbattimento delle polveri, derivanti dallo scarico pneumatico dalle autobotti di approvvigionamento della calce. La quantità di calce disponibile in cantiere dovrà essere sufficiente ad assicurare almeno 2 giorni di piena operatività del cantiere.
Dovrà essere evitata in tutta l'area di lavoro la presenza di calce non reagita.

3.8.2.3 Cemento

Ogni fornitura dovrà essere accompagnata dalla marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA della norma europea armonizzata UNI EN 197-1 con sistema di attestazione di conformità 1+. Si dovrà prediligere l'uso di cementi a presa lenta e classe di resistenza 32,5N.

Nel caso di significativa presenza nei terreni di solfati, entro comunque la massima % ammessa nel § 3.8.2.1, dovranno essere utilizzati leganti resistenti ai solfati (SR).

Può essere utilizzato, ove siano rispettati tutti i requisiti prestazionali del presente articolo di capitolato, un legante idraulico per strade della classe E4 o superiore con marcatura CE conforme alla UNI EN 13282-1 con sistema di attestazione di conformità 2+.

3.8.2.4 Acqua

Per la produzione delle miscele dovranno essere impiegate i tipi di acqua conformi alla Norma UNI EN 1008.
L'acqua da utilizzare per le eventuali correzioni di umidità del terreno naturale dovrà essere dolce, limpida, non inquinata da materie organiche o comunque dannose (oli, acidi, alcali, cloruri, solfati,…) e da qualsiasi altra sostanza nociva alle reazioni terra-calce. La fonte di approvvigionamento sarà indicata alla Direzione Lavori per approvazione.

3.8.2.5 Miscela di terreni/aggregati stabilizzati

Il trattamento a calce o cemento di una terra consiste nella miscelazione intima della stessa con il legante e con acqua in quantità tali da modificare attraverso reazioni chimico-fisiche le sue caratteristiche di lavorabilità e di resistenza meccanica in opera. La risposta dei terreni al trattamento dipende essenzialmente dalla quantità e natura dei minerali argillosi e della silice amorfa in essi contenuta. Dipende, altresì, dalla quantità di legante aggiunta e dalle modalità di lavorazione della miscela.
La percentuale di calce o cemento aggiunta è compresa tipicamente in un intervallo variabile tra l'1,5% ed il 4,0% in peso del terreno da trattare, per cui variabile indicativamente tra i 25 ed i 65 kg/mc (considerando come riferimento un peso del terreno pari a 1600 kg/mc). Il quantitativo di legante steso, considerando uno spessore dello strato da trattare di 0,30 m risulta quindi compreso in un range variabile tra 7 e 20 kg/mq.
La miscela composta da terreni/aggregati stabilizzati dovrà rispondere ai requisiti di portanza del piano di posa e della sovrastruttura stradale indicati al § 3.3.12. Per il grado di costipamento, rullatura e compattazione eseguita, la massima massa volumica (densità) in sito deve essere maggiore o uguale al 95% della massima di cui alla prova AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) nella variante modificata di cui alla norma UNI EN 13286-2 determinata in fase di qualifica.

3.8.3 Prequalifica - studi e prove

L'Appaltatore deve trasmettere al Direttore dei Lavori per approvazione almeno 15 giorni prima dell'inizio delle attività la documentazione di seguito elencata.

- Relazione per la verifica preliminare finalizzata al raggiungimento del miglioramento prefissato delle caratteristiche del terreno, con il minimo impiego di calce o cemento e tale da assicurare nel tempo i requisiti richiesti. Tale relazione è da redigere secondo le indicazioni di cui al § 3.8.3.1
- La marcatura CE e DoP della calce o cemento e i certificati di prova a dimostrazione dei requisiti di cui al § 3.8.2.2 e § 3.8.2.3;
- La fonte di approvvigionamento dell'acqua in conformità al § 3.8.2.4;
- L'indicazione delle fasi operative per la realizzazione del rilevato con trattamento a calce o cemento nel rispetto dei contenuti del Piano di Utilizzo delle Terre e Rocce da Scavo e di eventuali procedure in esso contenuto;
- Il tipo di mezzi utilizzati per lo spargimento del legante, per lo spargimento dell'acqua, per la frantumazione e miscelazione del terreno nonché dei mezzi di compattazione. I mezzi dovranno presentare adeguatezza, completezza e omogeneità di prestazioni / produttività. Poiché l'attrezzatura più specialistica è rappresentata dal Pulvimixer, alla sua produttività dovrebbero essere legate le prestazioni delle restanti attrezzature (Bulldozer spianatore, spandicalce, ruli …). Si prescrivono comunque le seguenti caratteristiche minime.
  Spandicalce:
    - precisione del dosaggio: ± 10%
    - capacità di stesa in grado di consentire la stesa in un'unica passata

- piena efficienza delle bandelle (in materiale plastico) per il contenimento delle polveri all'atto della stesa della calce.

Pulvimixer:

- profondità di lavoro massima: > 40 cm
- n° dei denti/palette > 80% del nominale
- 4 ruote motrici.

Rulli:

- rulli a piede di montone del peso statico > 16 t
- rulli lisci per le operazioni di finitura.

Per la corretta gestione degli impatti acustici e vibrazionali derivanti dalla lavorazione, si rimanda alle disposizioni del Capitolato Ambientale. In particolare, si richiama l'obbligo per l'Appaltatore provvedere a un'opportuna campagna informativa della popolazione

3.8.3.1 Studi e prove per il trattamento a calce dei terreni/aggregati

Per verificare la compatibilità del terreno al trattamento a calce o cemento dovranno essere prelevati dei campioni da sottoporre a prove di laboratorio. Sulla base dei risultati ottenuti su questi campioni dovranno essere definite delle fasce di terreno "omogeneo", inteso come terreno che dovrà essere trattato con il medesimo quantitativo di calce.
Lo studio si articolerà attraverso:
- indagini sui terreni naturali,
- studio delle miscele sperimentali in laboratorio,
- studio delle miscele in sito mediante la realizzazione di campi prova in scala reale

Il programma delle prove di laboratorio e in sito, nonché il Progetto del campo prova, definito nel dettaglio, dovrà essere presentato dall'Appaltatore alla Direzione Lavori per approvazione.
I risultati ottenuti dovranno essere descritti in dettaglio in specifiche relazione illustrative ed approvate dalla Direzione Lavori
Tali studi e relativi oneri saranno a carico dell'Appaltatore.

3.8.3.1.1 Indagini sui terreni naturali

Per ogni tipo di terreno/aggregato da utilizzare per la costruzione del corpo del rilevato, saranno condotte analisi di laboratorio, intese quali prequalifiche dei materiali e - come tali - a carico dell'Appaltatore.
Le prove di laboratorio, da effettuare su ciascun tipo di terreno/aggregato, sono le seguenti:
- contenuto di sostanze organiche,
- tenore in solfati e solfuri,
- analisi granulometrica, inclusa l'analisi per via umida,
- peso specifico dei grani,
- limiti di Atterberg,
- contenuto d'acqua naturale,
- esame difrattometrico per la ricerca dei minerali argillosi,
- esame ottico per la ricerca dei minerali silicei amorfi,
- prova di compattazione prova AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) nella variante modificata di cui alla norma UNI EN 13286-2
- indice cbr immediato (ipi)
- indice cbr con imbibizione, a 96 hr.
- analisi chimico-fisiche dell' acqua di falda: sali disciolti, ph

A giudizio della Direzione Lavori potranno essere richieste anche le seguenti prove aggiuntive, eseguite su campioni preparati al contenuto d' acqua W_{nopt}:
- compressione a espansione laterale libera con misura dei moduli di deformazione
- compressione edometrica
- taglio diretto
- taglio residuo

Nel caso in cui il terreno sia naturale in sito o provenga da scavi di bonifica, sbancamento e in galleria dovranno essere prelevati n. 1 campione ogni volta che il terreno abbia caratteristiche differenti e in ogni caso almeno 1 ogni 1000 mc secondo uno schema a maglie e comunque rappresentativo dell'area da trattare.
Qualora il terreno da trattare provenga da una cava di prestito, dovrà essere prelevato un campione per ogni quantitativo di terreno omogeneo e comunque almeno 1 ogni 2000 mc.
Il terreno da prelevare in cava dovrà essere identificato mediante scavi di pozzetti e/o sondaggi di profondità adeguata per individuare l'omogeneità del fronte di scavo.
I campioni dovranno essere di adeguata dimensione (del peso complessivo di 30-40 kg cadauno)

3.8.3.1.2 Indagini calce o cemento e terreno

I medesimi campioni rappresentativi dei terreni indagati, saranno utilizzati anche per la caratterizzazione fisico – meccanica delle miscele terreno – calce o cemento. Di norma, la percentuale di calce viva o cemento da utilizzare per la miscela sarà pari al 3% in peso (nel caso di calce idrata 4% in peso).
Tali percentuali sono da intendersi riferite al peso del terreno naturale prima del trattamento e del costipamento.
La Direzione Lavori potrà comunque richiedere uno specifico studio per verificare l'opportunità di utilizzare una diversa percentuale di legante.
Tale studio avrà come scopo la definizione di correlazione empiriche che legano il dosaggio in calce o cemento, il contenuto d' acqua del terreno e i parametri che definiscono le caratteristiche del terreno trattato, ovvero:
- l' indice CBR immediato per gli strati di rilevato
- l' indice CBR per gli strati di rilevato
- il modulo elastico di Young in prova di compressione ad espansione laterale libera (modulo al 50% del carico di rottura).

Per la definizione di tali correlazione si richiede la sperimentazione di miscele con tre contenuti di calce o cemento, ciascuna delle quali effettuata con almeno quattro contenuti d' acqua (tra cui quello ottimo).
Le prove di laboratorio da effettuare su ciascun tipo di miscela terreno-legante sono le seguenti:
- analisi granulometrica, inclusa l'analisi per via umida
- limiti di Atterberg
- contenuto d' acqua
- prova di compattazione aashto mod. t/180-57
- indice cbr immediato
- indice cbr per tempi di maturazione pari a 96 hr, a 7 e a 28 giorni.
- indice cbr con imbibizione, a 96 hr, per tempi di maturazione pari a 96 hr, a 7 e a 28 giorni.

A giudizio della Direzione Lavori potranno essere richieste anche le seguenti prove aggiuntive, eseguite su campioni preparati al contenuto d' acqua W_{nopt} del terreno trattato:
- compressione edometrica
- taglio diretto
- taglio residuo

Anche tali prove saranno eseguite a differenti tempi di maturazione (96 hr, 7 e 28 giorni).
In fase di indagine sono richieste anche le analisi chimico-fisiche dell' acqua utilizzata nella preparazione degli impasti.

3.8.3.1.3 Campi prova

Ultimato lo studio delle miscele sperimentali e prima dell'inizio delle attività di costruzione dei rilevati, e per ogni diverso tipo di materiale, L'Appaltatore dovrà provvedere alla realizzazione di un campo prova.
Finalità del campo prova sono:

- verificare in scala reale i dati ottenuti in laboratorio
- il controllo delle attrezzature, di miscelazione e compattazione
- la definizione delle fasi e metodi delle lavorazioni, con particolare riferimento all'apporto di calce o cemento (eventualmente anche in più fasi, ad es. una prima passata all'1% e una seconda al 2%),
- schemi di miscelatura (n° di passate del Pulvimixer ottimali necessari ad ottenere la granulometria prevista) e rullatura (n° di passate del rullo), in relazione alle attrezzature adottate dall'Appaltatore stesso.
- la definizione delle modalità di controllo e dei limiti di accettabilità dei tenori di umidità dei terreni posti in opera e delle miscele terreno – calce o cemento, prima della rullatura finale.

L'ubicazione di ciascun rilevato, le sue modalità esecutive, l'ampiezza ed il grado di approfondimento delle indagini di laboratorio e le prove di controllo in sito saranno stabilite dalla Direzione Lavori, in base ai risultati delle indagini e degli studi specialistici di Progetto di cui ai punti precedenti, nonché all'entità e importanza dell'opera.
In linea generale, quando è previsto il trattamento con legante delle terre del piano di posa dei rilevati e della soprastruttura per le sedi in trincea, dovrà essere realizzato un campo prova per ogni zona omogenea di terreno naturale di lunghezza utile di 30 m e larghezza tale pari a 6-8 volte la larghezza dello spandi-calce/rullo e di spessore pari a quanto previsto in Progetto per il rilevato vero e proprio.
Quando è previsto il trattamento con legante delle terre da impiegare per la realizzazione degli strati del corpo dei rilevati, dovranno essere realizzati almeno tre strati per un altezza totale di 0.9 m costituito da materiale omogeneo. La dimensione utili in sommità dovranno essere pari a 50 m di lunghezza e larghezza pari a 6-8 volte la larghezza dello spandi-calce/rullo.
L'area prescelta per la prova dovrà essere perfettamente livellata, con pendenza superiore al 5‰ (cinque per mille), e compattata in modo tale da garantire un piano di imposta uniforme e stabile per gli strati terreno–calce o cemento successivamente posti in opera. Il campo prova dovrà essere realizzato secondo le stesse modalità di esecuzione del rilevato.
Dovranno essere messi in opera tipi diversi di compattazione scelti in funzione del terreno da compattare; indicativamente saranno provati 2-4 passate del Pulvi-mixer e due-quattro schemi di rullatura.
Dovranno essere sperimentate almeno 2 miscele tra quelle ritenute idonee dallo studio di laboratorio.
Per la realizzazione del campo prova, sia per il piano di posa sia per gli strati del corpo del rilevato dovranno essere effettuate le operazioni che seguono:

9. dovrà essere tarata la spanditrice di calce o cemento come riportato al punto per il controllo del dosaggio.
10. prima della stesa della calce dovrà essere controllato il contenuto d'acqua del terreno e confrontato con quello utilizzato nello studio delle miscele.
11. dopo la miscelazione dovrà essere di nuovo controllato il valore del contenuto d'acqua e verranno eseguiti i prelievi (da 1 a 3 campioni di 30-40 kg cadauno) per l'esecuzione di prove di classificazione, prove Proctor e CBR e prove geotecniche indicate al § 3.8.3.1.2.

12. la miscela dovrà essere poi compattata secondo schemi di rullatura prefissati.
13. in sommità dello strato finale dovrà essere determinato il modulo di deformazione, con piastra da 30 cm. Le misure dovranno essere effettuate almeno al tempo 0 (cioè subito dopo la compattazione), a 3gg, e a 7gg - 28 gg su almeno 3 punti appartenenti ad una porzione di rilevato omogenea sia per la miscela che per le modalità di compattazione.
14. agli stessi tempi delle prove di carico su piastra, dovranno inoltre essere misurati i valori del CBR in situ, delle densità in situ e del contenuto d'acqua, da eseguirsi su porzioni di terreno in vicinanza dei punti di misura del modulo.
15. le stesse prove di carico su piastra e CBR dovranno essere eseguite dopo imbibimento.
16. dovrà essere controllato lo spessore dello strato finito (rilevati) o controllato la profondità del trattamento (piano di posa).

Il Progetto del campo prova, definito nel dettaglio, dovrà essere presentato dall'Appaltatore alla Direzione Lavori per approvazione.

I risultati ottenuti dovranno confermare quelli dello studio. Nel caso nel quale i requisiti minimi, previsti in Progetto, non venissero raggiunti, dovranno essere modificati i metodi di compattazione e/o le miscele terra/calce fino ad ottenere i requisiti minimi richiesti; in caso contrario si dovrà scartare il prodotto sperimentato.

La miscela ottimale scaturirà dai risultati delle analisi effettuate in laboratorio e da quelli ottenuti nel campo prova e, in ogni caso, dovrà essere approvata dalla Direzione Lavori.

3.8.4 Modalità esecutive

3.8.4.1 Prescrizioni generali

Il trattamento a calce o cemento del terreno non dovrà essere effettuato in caso di temperature inferiori al suolo di 2°C e nel caso nel quale ci sia presenza di acqua o venute di acqua sul piano dove viene steso il terreno da trattare; per i casi di pioggia e in presenza di vento forte, si rimanda a quanto previsto nel Capitolato Ambientale e nella Procedura di trattamento o stabilizzazione a calce allegata al Piano di Gestione Terre/Piano di Utilizzo.
Nel caso che il terreno sia saturo fino al p.c., prima di procedere al trattamento con calce o cemento del piano di posa del rilevato, si dovrà obbligatoriamente provvedere ad abbassare il livello d'acqua e a mantenerlo tale per un tempo, sufficiente a non inficiare l'esito del trattamento.

3.8.4.2 Stesa del terreno naturale

Nel caso di strati di rilevato, la stesa del terreno/aggregato naturale dovrà essere preceduta dalla preparazione della superficie dello strato precedente mediante erpicatura. Lo spessore del materiale steso che dovrà risultare omogeneo tra qualli di cui al § 3.8.2.1 e approvato dal DL, dopo una prima livellazione, dovrà risultare non superiore a quello dei risultati del campo prove. In genere lo spessore è compreso tra 30/50 cm e il massimo lavorabile dipende dalla macchina utilizzata. Indicativamente, lo spessore del materiale steso, da controllare con dime, sarà pari a quello finale previsto, aumentato del 15-20%. Terminata l'operazione di stesa, si procederà alla determinazione dell'umidità naturale che non si dovrà discostare dal campo di valori ottimali definiti a seguito dei risultati delle analisi di laboratorio e del campo prove. Nel caso in cui l'umidità naturale risulti in eccesso, si provvederà ad erpicare ed arieggiare il materiale per favorire l'evaporazione; nel caso di umidità naturale insufficiente, l'Appaltatore provvederà ad umidificare il terreno mediante aspersione d'acqua con autobotte.
Con frequenza giornaliera l'Appaltatore controllerà l'umidità della miscela, che dovrà rientrare nei limiti stabiliti a seguito dei risultati del campo prove e delle analisi di laboratorio. Quando necessario, durante o dopo la miscelazione, si irrorerà il terreno trattato fino a rientrare nei limiti suddetti.

3.8.4.3 Stesa della calce o cemento

Come previsto nel Capitolato Ambientale e nella procedura di stabilizzazione a calce o cemento allegata al Piano di Gestione Terre/Piano di Utilizzo, al fine di scongiurare dispersione di calce in atmosfera, è prevista la simultaneità delle operazioni di spandimento e successiva miscelazione con il terreno, evitando di superare i 15 minuti di latenza.

La stesa del legante sarà effettuata mediante impiego di apposita attrezzatura (spandicalce) a controllo volumetrico o gravimetrico capace di assicurare un dosaggio costante sia in senso trasversale che longitudinale.

La velocità dello spandicalce non dovrà essere superiore a 4 km/hr per cui la fase di stesa legante non supera mai i 15 minuti complessivi considerando generalmente che la macchina spandicalce è in grado di immagazzinare circa 80q di calce o cemento.

Al termine delle operazioni di stesa del legante si verificherà visivamente l'omogeneità della stesa e l'assenza di eventuali zone non trattate. Il controllo della quantità distribuita, nella misura a metro quadrato tale da raggiungere la percentuale in peso prevista in sede di Progetto della miscela, sarà effettuato con frequenza indicata al § 3.8.5.3, posizionando un telo quadrato con superficie 1 mq sul terreno prima del passaggio della macchina spandicalce e pesando poi il legante su di esso depositato a passaggio avvenuto. La quantità di legante distribuita non dovrà risultare inferiore a quella di Progetto.

3.8.4.4 Miscelazione

La miscelazione sarà ottenuta eseguendo il numero di passate di Pulvimixer stabilito a seguito dei risultati del campo prove, e comunque il numero di passaggi e la velocità di avanzamento della macchina dovranno essere tali da raggiungere condizioni omogenee di trattamento. In genere con si può avere:

- Un primo passaggio, tale da permettere il miscelamento terra-calce o cemento per tutto lo spessore dello strato in lavorazione. La velocità di avanzamento della macchina dipende dallo spessore del terreno da trattare, si può comunque stimare un tempo complessivo della singola fase di miscelazione compreso tra 10 e 30 minuti;
- Un secondo, avente l'obiettivo di riduzione granulometrica del materiale lavorato per tutto lo spessore di lavorazione;
- Un terzo passaggio per realizzare una ulteriore riduzione granulometrica del materiale per tutto lo spessore di lavorazione.

La seconda e la terza passata consentono di raggiungere una intima miscelazione del materiale terroso con il legante, aumentando quindi la superficie di contatto dei due materiali e l'efficacia della reazione di stabilizzazione.

I giunti longitudinali ottenuti dalla lavorazione su stese contigue devono risultare sovrapposti per almeno 15 cm; inoltre nella stessa giornata lavorativa devono essere completati tratti di tracciato per tutta la loro larghezza prevista dal Progetto.
Nei giunti di lavoro trasversali, perpendicolari all'asse del tracciato, la miscela già costipata va ripresa in tutte quelle zone nelle quali il contenuto di legante, lo spessore, o il grado di compattazione risultino inadeguati e/o disomogenei.
Le riprese dovranno essere eseguite all'inizio della successiva giornata lavorativa, nello strato indurito, in modo da presentare superficie verticale, per evitare la possibilità che si manifestino successive fessurazioni.

Nel caso di trattamento su più strati i giunti longitudinali e trasversali dovranno essere opportunamente sfalsati ed inoltre è necessario che lo strato superiore venga miscelato con uno spessore tale da garantire un'ammorsamento di qualche cm nello strato sottostante dando precedenza alle modalità eventualmente richiamte nei documenti progettuali.

3.8.4.5 Compattazione

Il tipo, le caratteristiche e il numero dei mezzi di compattazione, nonché il dettaglio delle modalità esecutive (numero di passate, velocità operativa, frequenza), dovranno essere fissate a seguito delle indagini sul campo prove e sottoposte alla preventiva approvazione della Direzione Lavori.
Per la corretta gestione degli impatti acustici e vibrazionali derivanti dalla lavorazione, si rimanda alle disposizioni del Capitolato Ambientale. In particolare, si richiama l'obbligo per l'Appaltatore provvedere a un'opportuna campagna informativa della popolazione. Prima dell'inizio delle operazioni di rullatura si procederà alla regolarizzazione della superficie dello strato, mediante motolivellatore (graeder).
La compattazione dovrà essere condotta con metodologie atte ad ottenere un addensamento uniforme; a tale scopo i rulli dovranno operare con sistematicità lungo direzioni parallele garantendo una sovrapposizione fra ciascuna passata e quella adiacente pari almeno al 10% della larghezza del rullo. La velocità massima del rullo sarà di 4 km/h. Nel caso di stabilizzazione con calce idrata o cemento, lo strato di terra trattata dovrà essere compattato immediatamente dopo la miscelazione.
Nel caso di trattamento con calce viva, la compattazione dovrà essere eseguita dopo il completamento della reazione esotermica di spegnimento della calce, avendo verificato che il contenuto d'acqua sia quello atteso.
La completa idratazione della calce viva richiede un tempo variabile in funzione della temperatura e umidità del suolo; per temperature superiori ai 3°C, 1 - 3 ore di maturazione della miscela sono sufficienti.
Nella costruzione dei rilevati occorrerà procedere a fronte chiuso, completando in giornata le operazioni di miscelazione e compattazione e sovrapponendo il primo strato di terreno naturale che sarà trattato il giorno successivo, a sua volta leggermente compattato, per minimizzare la carbonatazione e proteggere gli strati sottostanti in maturazione. Qualora le condizioni climatiche siano tali che gli strati lavorati possano subire dannosi effetti di essiccamento/umidificazione, si procederà alla protezione dei medesimi con uno dei seguenti metodi:
- manto di protezione di bitume liquido BL350-700 (BU CNR n.7) in ragione di 1.0 kg/mq.
- emulsione bituminosa a lenta rottura del tipo EL55 (BU CNR n.3) in ragione di 1.8 kg/mq.

Tale protezione dovrà essere rimossa con cura alla ripresa delle lavorazioni.

3.8.5 Prove di controllo

L'Appaltatore, oltre a quanto già indicato al § 3.5.1 è tenuto a documentare in apposito report l'esito delle seguenti verifiche da trasmettere alla Direzione Lavori:
- La quantità di legante a m^3, il volume di rilevato/piano di posa trattato per l'implementazione nel rilievo di cui al § 3.5.1.1
- Le prove indicate al § 3.8.5.2 e i relativi esiti
- Le prove indicate al § 3.8.5.3 e gli esiti delle prove immediate

3.8.5.1 Legante

Il legante dovrà provenire da fornitori qualificati ed approvati da Committente. Le caratteristiche della calce o cemento, dovranno essere certificate a cura dalla DL ogni 250 ton di prodotto consegnato.

3.8.5.2 Terreno naturale da trattare

Oltre a quanto indicato al § 3.8.2.1 l'Appaltatore deve, a sua cura e spese verificare ogni giorno prima dell'inizio delle attività di miscelazione, il contenuto d'acqua del terreno da trattare ed in funzione di questa verifica deve tarare la spanditrice secondo i contenuti della qualifica ed eseguire una verifica di tale taratura. Se le condizioni meteo dovessero essere tali da alterare il contenuto d'acqua del terreno le operazioni suddette devono essere ripetute durante il corso della giornata lavorativa.
Nel caso di utilizzo di spanditrici che producano un diagramma dello spandimento, il controllo dovrà essere effettuato solo durante la fase di taratura della macchina.

3.8.5.3 Terreno miscelato prima e dopo miscelazione

Sul terreno miscelato sono da eseguire, a carico della DL in contraddittorio e con l'assistenza dell'Appaltatore, le seguenti prove:

Tipo di prova	Rilevati Stradali/Autostradali		
	Piano di posa dei rilevati (piano di scotico)	Corpo del rilevato (compreso riempimento di bonifica)	Ultimo strato di spess. 30 cm
	m^3	m^3	m^3
Terreno miscelato prima della stesa: -Granulometria della miscela (la componente limo-argillosa deve passare per il 75% al setaccio da 25 mm) -indice cbr immediato -indice cbr con imbibizione, a 96 hr	8000	8000	8000
Terreno miscelato dopo la compattazione: - Densità in sito CNR 22 (min 1 prelievo al giorno, per ogni strato e wbs) - Carico su piastra CNR 146/92 (min 1 prelievo al giorno, per ogni strato e wbs) - contenuto d'acqua Wn - quantità di calce (secondo § 3.8.4.3)	1000	1000	800

La frequenza delle prove di seguito specificata deve ritenersi come minima e dovrà essere infittita in ragione della discontinuità granulometrica dei materiali portati a rilevato, della variabilità nelle procedure di compattazione e delle differenti condizioni meteoreoligiche.
Prima che sia messo in opera uno strato successivo, ogni strato di rilevato dovrà essere sottoposto alle prove di piastra e densità per verificare che siano rispettati i requisiti di costipamento minimi richiesti.
Le prove andranno distribuite in modo tale da essere sicuramente rappresentative dei risultati, in relazione alle caratteristiche dei terreni attraversati.

Art. 4 Palancole tipo Larssen

4.1 Definizione e campo di applicazione

I palancolati sono paratie in palancole unite a formare una parete continua che, se richiesto a progetto, dovrà essere a completa tenuta d'acqua. I palancolati sono utilizzati per il sostegno provvisionale a contorno e a difesa degli scavi per fondazione. Le palancole devono avere le caratteristiche previste in Progetto riguardo il materiale costituente, il tipo di profilo, l'altezza, il momento di inerzia, il momento di resistenza elastico, in modo da avere la sufficiente robustezza per resistere alle azioni a cui sono sottoposte e alla spinta delle terre e non lascino filtrare acqua dalle pareti quando richiesto.
I singoli elementi di palancola più utilizzati sono quelli di forma in pianta ad U aperta (tipo Larssen) e a Z (tipo Frodingham). I palancolati possono essere formati sia dal mutuo incastro di elementi dello stesso tipo, sia composti dalla combinazione due tipi di palancole ove un tipo svolge la funzione di guida e collegamento orizzontale mentre l'altro profilo svolge la funzione d'inerzia del palancolato. Per usi particolari possono essere previste anche palancole tubolari o a cassone.
Le palancole devono essere realizzate in acciaio laminate a caldo secondo la norma UNI EN 10248-1 o a freddo secondo la norma UNI EN 10249-1.

4.2 Normative di riferimento

- Norma EN 12063: "Esecuzione di lavori geotecnica speciali – Palancolate"
- Norma UNI EN 10248-1: "Palancole laminate a caldo di acciai non legati – Condizioni tecniche di fornitura"
- Norma UNI EN 10248-2: "Palancole laminate a caldo di acciai non legati – Tolleranze dimensionali e di forma"
- Norma UNI EN 10249-1: "Palancole profilate a freddo di acciai non legati – Condizioni tecniche di fornitura"
- Norma UNI EN 10249-2: "Palancole profilate a freddo di acciai non legati – Tolleranze dimensionali e di forma"
- Norma EN 10219-1: "Profilati cavi saldati formati a freddo per impieghi strutturali di acciai non legati e a grano fine - Parte 1: Condizioni tecniche di fornitura"
- Norma EN 10219-2: "Profilati cavi saldati formati a freddo per impieghi strutturali - Parte 2: Tolleranze, dimensioni e caratteristiche del profilo"
- Norma UNI EN 16228-5: Attrezzature per perforazione e fondazioni - Parte 5: Attrezzature per pareti a diaframma
- Norma UNI EN ISO 15609 - 1: "Specificazione e qualificazione delle procedure di saldatura per materiali metallici - Specificazione della procedura di saldatura - Parte 1: Saldatura ad arco "
- Norma UNI EN ISO 9692:2013: Saldatura e procedimenti connessi - Tipologie di preparazione dei giunti - Parte 1: Saldatura manuale ad arco con elettrodi rivestiti, saldatura ad arco con elettrodo fusibile sotto protezione di gas, saldatura a gas, saldatura TIG e saldatura mediante fascio degli acciai

4.3 Criteri di accettazione

4.3.1 Soggezioni geotecniche e geoidrologiche ed ambientali generali

L'installazione di palancole presuppone da parte dell'Appaltatore la conoscenza, oltre che delle prescrizioni di Progetto circa le caratteristiche degli elementi, anche delle informazioni inerenti il terreno da attraversare.
In particolare l'Appaltatore dovrà valutare con attenzione i seguenti particolari aspetti:

- presenza di strati di materiale duro o roccia, di massi rocciosi, che possono causa di difficoltà di attraversamento e richiedono l' uso di utensili speciali,
- chimica dei materiali da attraversare e dell'acqua di falda, con presenza di componenti che possono avere effetti negativi sui materiali utilizzati.

Dove sono previste condizioni di stretta interferenza con strutture confinanti alla zona di costruzione, l'Appaltatore deve operarsi per conoscerne lo stato in essere. In particolare, esiste l'obbligo per l'Appaltatore di verificare l'ubicazione di eventuale opere di presidio interrate dando luogo alla preparazione dei piani di lavoro e realizzazione delle opere in condizioni di sicurezza, al fine di evitare possibili inconvenienti a cose o persone.
I sottoservizi, sottostrutture, tubazioni e cavi elettrici, eventualmente presenti nel volume di terreno interessato dagli scavi, dovranno essere preventivamente censiti, individuati e deviati in modo da evitare che risultino danneggiati, o provochino danni, a seguito delle lavorazioni.
Per gli aspetti e le problematiche esecutive relative a temi ambientali, quali presenza d'inquinanti nel terreno, si rimanda integralmente a quanto prescritto dalla Normativa Nazionale e Regionale vigente e alle prescrizioni degli Enti preposti alla tutela ambientale.
Inoltre durante le lavorazioni dovrà essere posta attenzione a:

- lavorazioni in adiacenza a strade aperte al traffico o edifici abitati che dovranno essere eseguite con tutte le segnalazioni e le precauzioni idonee ad evitare danni a persone o cose;
- lavorazioni in adiacenza di linee ferroviarie;
- lavorazioni in adiacenza a linee elettriche aeree in esercizio, che dovranno svolgersi nel rispetto delle distanze prescritte;
- disturbi alle persone provocati dalle vibrazioni e dai rumori causati dall'infissione delle palancole (norme UNI9614 e ISO 2631);
- danni che l'installazione delle palancole può arrecare alle opere vicine a causa delle vibrazioni, degli spostamenti orizzontali e/o verticali del terreno, provocati durante l'infissione (norme UNI9916 e ISO4866).

Durante l'infissione delle palancole, la Direzione Lavori potrà richiedere misure vibrazionali di controllo per accertare che l'installazione delle palancole infisse non danneggi le proprietà vicine.
Qualora nel corso delle misure vibrazionali fossero superati i limiti di accettabilità previsti dalle norme, l'Appaltatore dovrà sottoporre all'approvazione della Direzione Lavori i provvedimenti che intende adottare.

4.3.2 Prove tecnologiche preliminari

Qualora sia prevista l' installazione di palancole in prossimità di strutture sensibili, prima di dare inizio ai lavori, dovrà essere verificata dall'Appaltatore la compatibilità della metodologia esecutiva proposta mediante la messa in opera di un adeguato numero di elementi non inferiore al 2% del numero totale previsto, con l'obiettivo di escludere potenziali danni alle preesistenze.
Tale fase preliminare dovrà essere eseguita alla presenza della Direzione Lavori cui spetta l'approvazione delle modalità esecutive da adottarsi.
Durante tali prove dovranno essere previste misure vibrazionali sulle strutture interessate a carico dell'Appaltatore.
Qualora l'Appaltatore proponga di variare nel corso dei lavori la metodologia esecutiva sperimentata ed approvata inizialmente, si dovrà dar corso alle prove tecnologiche sopradescritte.

4.3.3 Materiali

I profilati devono essere in acciaio conformi alle norme UNI EN 10248-1, UNI EN 10248-2, UNI EN 10249-1, UNI EN 10249-2.

Nel caso siano utilizzati sezioni tubolari esse dovranno essere conformi alle norme UNI EN10219-1 e UNI EN10219-2.
I giunti speciali saldati dovranno essere conformi alle norme UNI EN 10248-1, UNI EN 10248-2.
Qualora sia richiesta la impermeabilità del giunto di accoppiamento, l'Appaltatore dovrà fornire tutti i dettagli tecnici relativi al sigillante utilizzato. In particolare dovrà dimostrare che il materiale utilizzato non viene danneggiato nella fase di accoppiamento degli elementi sia che non è affetto da deteriomento a lungo termine, precisandone eventualmente i valori garantiti di durata.

Per i materiali, essendo i palancolati opere di natura provvisionale, non si richiedono protezioni anticorrosione. Tuttavia, visto che da prassi le palancole sono una fornitura a noleggio, devono presentarsi in perfetto stato di conservazione, senza ammaccature e senza ruggine.

Per le norme UNI EN 10219-1 e 10219-2 è necessario allegare anche la marcatura CE e relativa DoP con sistema di attestazione della conformità di tipo 2+.
Le partite di materiale approvvigionato ove non è disponibile la marcatura CE e relativa DoP dovranno essere accompagnate da certificati emessi da un laboratorio di cui all'articolo 59 del DPR 380/2001 a dimostrazione delle seguenti proprietà:

- snervamento fy, rottura ft, allungamento secondo la norma UNI EN ISO 6892-1;
- resilienza su provetta Charpy secondo la norma UNI EN ISO 148-1;
- analisi chimica secondo UNI EN 10315, UNI EN ISO 15350 o al CR 10320.

4.3.4 Attrezzature

L'attrezzatura d'infissione e di estrazione deve avere caratteristiche conformi allo scopo di assicurare il raggiungimento della profondità d'infissione richiesta in funzione del profilo stratigrafico e della possibilità di dovere estrarre gli elementi non definitivi.
Le attrezzature impiegate dovranno essere conformi alle norme UNI EN16228-5.
L'installazione dell'elemento potrà avvenire per battitura, vibrazione o per un combinazione dei due sistemi.
Nel caso di battitura, l'Appaltatore dovrà fornire tutte le informazioni concernenti il sistema di infissione che intende utilizzare:

- marca e tipo di battipalo;
- principio di funzionamento del battipalo;
- energia massima di un colpo e relativa possibilità di regolazione;
- numero dei colpi al minuto e relativa possibilità di regolazione;
- efficienza del battipalo;
- caratteristiche del cuscino (materiale, diametro, altezza), la sua costante elastica e il suo coefficiente di restituzione;
- peso della cuffia;
- peso degli eventuali adattatori;
- peso del battipalo.

Nel caso di infissione per vibrazione, l'Appaltatore dovrà fornire tutte le informazioni concernenti il sistema di vibrazione che intende utilizzare:

- peso della morsa vibrante;
- ampiezza e frequenza del vibratore.

La forza centrifuga e l'ampiezza del vibratore dovranno essere scelte in funzione della sezione della palancola, del terreno e delle condizione al contorno quali la presenza di strutture. In prossimità di strutture sensibili, e' obbligatorio l'impiego di vibratori ad alte frequenza (> 2000 vpm o 33 Hz) e dotati di sistemi anti-risonanti per la fase di avvio e di arresto delle masse eccentriche.

Inoltre i criteri di battitura e gli elementi che ne influenzano il processo dovranno essere definiti in modo che non si generino nelle palancole tensioni superiori a quelle ammissibili. L'Appaltatore dovrà dimostrare tale presupposto con i metodi di calcolo noti nella letteratura tecnica (equazione dell'onda d'urto). Qualora le condizioni del sito fossero tali da render incerta la valutazione, per via teorica, delle sollecitazioni indotte, la Direzione Lavori, nell'ambito delle prove tecnologiche preliminari, potrà richiedere che le prove di battitura siano eseguite in presenza di dispositivi di monitoraggio dinamico. Le misure dinamiche sulle palancole in fase di battitura verranno eseguite, secondo le modalità descritte nella norma ASTM 0-4945, durante l'intera fase di battitura di tutte le palancole del campo prova. Durante la battitura dovranno essere sempre verificate che lo sforzo di trazione/compressione, nell' acciaio sia $\leq$ 0.9 x Fyk, ove: Fyk = resistenza caratteristica a snervamento dell' acciaio.

4.3.5 Saldature

Quando previste le saldature degli acciai dovranno avvenire con uno dei procedimenti all'arco elettrico codificati secondo la norma UNI EN ISO 4063. È ammesso l'uso di procedimenti diversi purché sostenuti da adeguata documentazione teorica e sperimentale. I saldatori nei procedimenti semiautomatici e manuali dovranno essere qualificati secondo la norma UNI EN ISO 9606-1 da parte di un Ente terzo.
Tutti i procedimenti di saldatura dovranno essere specificati mediante WPS (Welding Procedure Specification) secondo la norma UNI EN ISO 15609-1.

4.4 Documenti di prequalifica

L'Appaltatore deve trasmettere al Direttore dei Lavori per approvazione almeno 15 giorni prima dell'inizio delle attività, la documentazione di seguito elencata.

La mancata presentazione della documentazione preliminare comporta la non autorizzazione all'inizio dell'esecuzione dei lavori, né saranno accettate eventuali lavorazioni svolte prima dell'approvazione delle modalità esecutive.

Per gli interventi in oggetto si richiede la presentazione da parte dell'Appaltatore di una apposita "Procedura di lavoro", prevista all'art. CG.01.01 della sezione "Condizioni Generali" del presente Capitolato Speciale nel rispetto dei contenuti di cui al successivo § 4.5 Modalità esecutive. L'Appaltatore, deve altresì trasmettere alla Direzione Lavori per approvazione, un dossier di qualifica contenente:

- Marcatura CE, DoP ove disponibili e scheda tecnica e disegno di ogni tipologia di palancola con l'indicazione di tutti i dettagli geometrici, meccanici e fisici;
- Laddove per gli elementi non sia disponibile la marcatura CE e relativa DoP occorre fornire i certificati di controllo delle prove indicate al § 4.3.3 eseguite da un Laboratorio di cui all'articolo 59 del DPR 380/2001 a dimostrazione della conformità dei requisiti richiesti in progetto;
- una pianta della palancolata con la posizione planimetrica di tutti gli elementi;
- un programma cronologico di infissione elaborato in modo da minimizzare gli effetti negativi dell'infissione stessa sulle opere vicine;
- La qualifica degli operatori che eseguono eventuali operazioni di saldatura in opera secondo la norma UNI EN ISO 9606-1;
- Le specifiche delle saldature che si intende realizzare in opera WPS secondo la norma UNI EN ISO 15609-1.

I requisiti d'accettazione potranno inoltre essere accertati con ulteriori prove a cura della Direzione Lavori sia in fase di prequalifica presso il fornitore (controllo non vincolante per l'autorizzazione), sia in corso d'opera, prelevando il materiale in sito o ancora presso il fornitore, prima e dopo avere effettuato le lavorazioni.

4.5 Modalità esecutive

4.5.1 Preparazione del piano di lavoro

Il piano di lavoro dovrà avere le caratteristiche di portanza e capacità drenante, in modo tale da garantire le condizione di sicurezza per la movimentazione e per le operazione a cui sono adibite le attrezzature utilizzate per le lavorazioni in oggetto.
Per palancolati in alveo in presenza di battente d'acqua fluente, l'Appaltatore predisporrà la fondazione di un piano di lavoro a quota sufficientemente elevata rispetto a quella dell'acqua per renderlo transitabile ai mezzi semoventi portanti le attrezzature di infissione o di perforazione e relativi accessori e di tutte le altre attrezzature di cantiere

4.5.2 Tracciamento

Prima di iniziare l'infissione si dovrà, a cura e spese dell'Appaltatore, indicare sul terreno la posizione del palancolato coerentemente con quanto previsto nelle planimetrie di tracciamento.

4.5.3 Movimentazione e saldature

Durante la fase di messa in opera, l'Appaltatore dovrà adottare tutti i provvedimenti necessari per garantire i requisiti di verticalità, complanarità e di mutuo incastro degli elementi costitutivi.
Lo stoccaggio e la movimentazione delle palancole in cantiere dovrà avvenire mediante l'utilizzo di speciali utensili quali pinze di aggancio appropriati distanziatori e selle di appoggio, in modo tale da non provocare danneggiamenti e distorsioni dei profili metallici e dei giunti di accoppiamento.
In caso in cui le palancole siano composte da più parti saldate, le saldature di due elementi adiacenti dovranno essere sfalsate di almeno mezzo metro.

4.5.4 Infissione

Le palancole dovranno essere infisse con l'ausilio di uno scavo guida d'invito, di dimensioni adeguate. Nel caso di palancole con gargami a maschio femmina, la palancola dovrebbe essere infissa con il maschio nella direzione dell'avanzamento.
L'Appaltatore è tenuto ad eseguire a suo esclusivo onere e spesa, tutte le opere sostitutive e/o complementari che a giudizio della Direzione Lavori si rendessero necessarie per ovviare all'esecuzione di elementi in posizione e/o con dimensioni non conformi alle tolleranze stabilite al § 4.7, comprese palancole aggiuntive ed opere di collegamento.
Durante la fase d'infissione, L'Appaltatore potrà, previa approvazione della Direzione Lavori delle modalità utilizzate, ricorrere a delle iniezioni di acqua in pressione per facilitare il superamento di livelli granulari addensati.
In caso di qualsiasi anomalia rilevata nel corso dell'infissione e comunque nel caso di mancato raggiungimento della prevista quota finale, sia nel caso di infissione per battitura che per vibrazione, l'Appaltatore dovrà dare immediata informazione alla Direzione Lavori e concordare con la stessa gli interventi da eseguire. Previa verifica della congruità progettuale dell'opera, è possibile limitare l'infissione a quote superiori, provvedendo al taglio della parte di palancola eccedente rispetto alla quota di testa prevista in progetto.

4.5.5 Estrazione delle palancole

Al completamento della funzione di sostegno per cui il palancolato è stato realizzato, e comunque dopo l'autorizzazione del Direttore dei Lavori, gli elementi devono essere estratti tenendo in considerazione le deformazioni verticali e orizzontali del terreno circostante e le eventuali creazioni di vie di collegamento tra livelli di falda che prima non erano in comunicazione. In particolare, i terreni coerenti possono aderire alle facce delle palancole creando di conseguenza vuoti nel terreno quando le stesse vengono estratte.
In sabbie e limi sciolti, le vibrazioni e i vuoti potrebbero causare spostamenti del terreno in grado di danneggiare le opere circostanti. Tali spostamenti del terreno e i possibili legami tra regimi di acqua freatica possono essere evitati iniettando nei vuoti boiacca di cemento contemporaneamente all'estrazione.

4.6 Prove e controlli

4.6.1 Prove a carico dell'Appaltatore

L'Appaltatore è tenuto ad eseguire i seguenti controlli da trasmettere in apposito report alla Direzione Lavori al termine dell'esecuzione di ogni palancolato:

- identificazione degli elementi anche a mezzo della misura della geometria;
- data di infissione;
- caratteristiche del sistema di infissione;
- controllo della corretta esecuzione del fissaggio dei singoli elementi
- controllo della corretta applicazione della procedura in funzione della saldatura da eseguire
- misura della profondità raggiunta nel rispetto della tolleranza ammessa;
- verifica della posizione planimetria nel rispetto della tolleranza ammessa;
- verifica della verticalità nel rispetto della tolleranza ammessa;
- rifiuti di eventuale ribattitura;
- controllo dell'assenza di danni alle strutture limitrofe;
- controllo visivo di tutte le saldature e controllo a ultrasuoni ove eventualmente richiesto ad insindacabile giudizione del Direttore dei Lavori.

4.6.2 Prove a carico della Direzione Lavori

I prelievi per i seguenti controlli di accettazione in cantiere devono essere eseguiti, in contraddittorio e con l'assistenza dell'Appaltatore.
Per gli elementi metallici costituenti le palancole sono da eseguire 3 prove ogni 90 tonnellate con un minimo di tre prove per la verifica delle seguenti caratteristiche:

- snervamento fy, rottura ft, allungamento secondo la norma UNI EN ISO 6892-1;
- resilienza su provetta Charpy secondo la norma UNI EN ISO 148-1;
- analisi chimica secondo UNI EN 10315, UNI EN ISO 15350 o al CR 10320.

4.7 Tolleranze

Saranno accettate le seguenti tolleranze sull'assetto geometrico delle palancole:

- sulla posizione planimetria in testa $\pm$ 5 cm
- deviazione rispetto alla verticale: < $\pm$ 2%;
- quota testa : ± 5 cm
- profondità : ± 25 cm

Art. 5 Diaframmi in cemento armato

5.1 Definizione e campi di applicazione

Si definiscono diaframmi in c.a. opere con funzione di sostegno, di fondazione, di difesa di fondazioni di opere preesistenti o da costruire, di difese fluviali, traverse in alveo ecc., realizzate da piano campagna ed ottenute gettando il conglomerato cementizio entro cavi di forma planimetrica allungata realizzati nel terreno, di norma in presenza di fanghi bentonitici. Lo scavo ed il getto sono di solito eseguiti per elementi singoli (pannelli).
Tali strutture devono rispondere alle prescrizioni progettuali delle NTC2018 e della relativa Circolare Applicativa.
I diaframmi possono costituire opere di sostegno, sia autoportanti che vincolate da puntelli o tiranti ancorati nel terreno; essi possono essere costituiti da elementi accostati, oppure staccati uno dall'altro per limitare l'ostacolo al deflusso della falda, oppure con giunti a tenuta idraulica, in modo da impedire qualunque filtrazione attraverso la parete.
In relazione alla tenuta idraulica dei diaframmi, si osserva che si definiscono "giunti a tenuta", elementi in cui la presenza d' acqua si manifesta esclusivamente sotto forma di "trasudazione" ed umidità nella zona di contatto fra panelli adiacenti. Non sono quindi ammesse condizioni di trafilamento d'acqua o formazione di veri e propri fenomeni di circolazione idrica fra monte e valle della paratia, sia nella parte esposta, sia nella parte immorsata nel terreno.
Può essere prevista l'eventuale rifinitura della faccia a vista; la stuccatura e stilatura dei giunti con malta cementizia; la formazione di fori di drenaggio e convogliamento,nel numero e nella posizione prescritta.
Lo scavo dei diaframmi può avvenire con fango a riposo mediante l'impiego di benna mordente per la disgregazione, la rimozione e l'evacuazione del materiale di risulta, avendo il fango la sola funzione di sostegno delle pareti di scavo.
In alternativa, lo scavo può essere eseguito con fango in movimento mediante idrofresa che realizza un taglio verticale continuo nel terreno, in un'unica passata, eliminando i detriti di scavo per via idraulica con circolazione rovescia del fluido di perforazione.

5.2 Norme di Riferimento

- D.M. Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 17 gennaio 2018 "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni"
- Circolare 21 gennaio 2019, n.7 C.S.LL.PP. Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018
- Norma UNI – EN 1538: "Esecuzione di lavori geotecnica speciali – Diaframmi"

5.3 Criteri di accettazione

5.3.1 Soggezioni geotecniche, geoidrologiche ed ambientali

L'esecuzione dei diaframmi presuppone da parte dell'Appaltatore la conoscenza, oltre che delle prescrizioni di Progetto circa la geometria dei diaframmi e la distribuzione dell'armatura, anche delle informazioni inerenti il terreno e la roccia da attraversare (condizioni stratigrafiche, idrogeologiche).
In particolare l'Appaltatore dovrà valutare con attenzione i seguenti particolari aspetti:
- presenza di strati altamente permeabili (D10>4 mm), o cavità che possono essere causa di perdita improvvisa del fluido di stabilizzazione,
- presenza di terreni coesivi soffici che possono essere causa di instabilità dello scavo,
- presenza di strati di materiale duro o roccia, di massi rocciosi, che possono essere causa di difficoltà di attraversamento e richiedono l' uso di utensili speciali,

- presenza di livelli piezometrici artesiani,
- chimica dei materiali da attraversare e dell' acqua di falda, con presenza di componenti che possono avere effetti negativi sui materiali utilizzati nelle varie fasi di costruzione del diaframma

Dove sono previste condizioni di stretta interferenza con strutture confinanti alla zona di costruzione, l'Appaltatore deve operarsi per conoscere lo stato in essere. In particolare dovranno essere eseguite anticipatamente tutte le opere di presidio dei terreni interrati dando luogo alla preparazione dei piani di lavoro tali da garantire la corretta esecuzione dei diaframmi in condizioni di sicurezza, al fine di evitare possibili inconvenienti a cose o persone.

I sottoservizi, sottostrutture tubazioni e cavi elettrici, eventualmente presenti nel volume di terreno interessato dagli scavi, dovranno essere preventivamente individuati e deviati in modo da evitare che risultino danneggiati, o provochino danni, a seguito delle lavorazioni. E' obbligo dell'Appaltatore la verifica e la collaborazione con il Committente alla risoluzione del problema ai sensi della normativa vigente.

In presenza di terreni superficiali instabili (per esempio zone di riporto) o nelle zone di bonifica preventiva dalle strutture interrate esistenti demolite, dovranno essere realizzate tutte le azioni preventive a protezione del tratto di scavo instabile

Per gli aspetti e le problematiche esecutive relative a temi ambientali, quali presenza d'inquinanti nel terreno o restrizioni nella destinazione dei materiali di risulta, si rimanda integralmente a quanto prescritto dalla Normativa Nazionale e Regionale vigente e alle prescrizioni degli Enti preposti alla tutela ambientale.

Inoltre durante le lavorazioni dovrà essere posta attenzione a:

- presenza di detriti provenienti dagli scavi e inquinati dai fanghi di perforazione che dovranno essere asportati dall'area di lavoro e trasportati nelle apposite discariche;
- rumori o vibrazioni causati dalle attrezzature operanti che dovranno essere contenuti entro i limiti tollerati dalla legislazione vigente (norme UNI9614 e ISO 2631 per il disturbo alle persone; UNI9916 e ISO4866 per il danneggiamento a edifici circostanti, sottoservizi e strutture in genere);
- lavorazioni in adiacenza a strade aperte al traffico o edifici abitati che dovranno essere eseguite con tutte le segnalazioni e le precauzioni idonee ad evitare danni a persone o cose;
- lavorazioni in adiacenza a linee elettriche aeree in esercizio, che dovranno svolgersi nel rispetto delle distanze prescritte.
- lavorazioni in adiacenza a linee ferroviarie.

La tecnica di perforazione sarà basata di norma sull'impiego di fanghi bentonitici o eventualmente con fanghi polimerici biodegradabili secondo quanto disciplinato al seguente § 5.3.2, tenendo in opportuna considerazione le prescrizioni indicate dagli Enti aventi giurisdizione legislativa in materia di salvaguardia delle acque di falda.

Nel caso di terreni uniformemente argillosi e per profondità non eccedenti i limiti indicati successivamente, la perforazione potrà essere eseguita "a secco", quindi in assenza di fluido stabilizzante, sempreché le condizioni permettano di escludere la presenza di eccessivi fenomeni deformativi o di instabilità del cavo.

Durante la perforazione occorrerà tener conto dell'esigenza di non peggiorare le caratteristiche meccaniche del terreno circostante il diaframma; dovranno quindi essere minimizzati:

- il rammollimento degli strati coesivi;
- la diminuzione di densità relativa degli strati incoerenti;
- la diminuzione delle tensioni orizzontali efficaci proprie dello stato naturale;
- la riduzione dell'aderenza diaframma-terreno da un improprio impiego dei fanghi.

5.3.2 Fanghi per la realizzazione dei diaframmi

Con la finalità di garantire il sostegno e la stabilità delle pareti dello scavo, durante l'esecuzione dei diaframmi/pali l'Esecutrice dovrà, se previsto dal Progetto oppure se si rendesse necessario a seguito delle evidenze delle prove tecnologiche (§5.3.1), utilizzare fluidi di supporto ottenuti miscelando, fino ad avere una soluzione finemente dispersa, i seguenti componenti:

- acqua;
- bentonite in polvere, fanghi polimerici o fanghi polimerici biodegradabili
- additivi eventuali (disperdenti, sali tampone, ecc.).

L'Appaltatore dovrà presentare alla DL uno studio preliminare in cui siano dettagliatamente specificate le caratteristiche dei materiali da utilizzare, i corretti dosaggi e le metodologie di utilizzo. Le sospensioni devono soddisfare i requisiti di accettazione previsti nella norma EN 1538 e EN 1536. Resta inteso che l'utilizzo di fanghi deve tenere conto delle prescrizioni ambientali previste nel progetto o richieste dagli Enti coinvolti nel singolo progetto.

5.3.2.1 Normative di Riferimento

- API American Petroleum Institute – Spec 13 A Specification for Oil-Well Drilling Fluid Materials
- API American Petroleum Institute – Spec RP 13 B Standard Procedure for Field Testing drilling Fluids

5.3.2.2 Materiali

Viene lasciata all'Appaltatore la facoltà di scelta del prodotto in funzione della metodologia di scavo e delle attrezzature disponibili. La scelta del tipo di fango, avverrà anche in funzione delle caratteristiche chimico-fisiche del terreno di scavo e dell'acqua di falda. Per fango polimerico biodegradabile si intende un fluido di perforazione ad alta viscosità che muta spontaneamente le proprie caratteristiche nel tempo, riassumendo dopo pochi giorni le caratteristiche di viscosità proprie dell'acqua. Per la produzione dei fanghi biodegradabili si utilizzeranno di norma prodotti a base di polisaccaridi vegetali, biopolimeri. Si sconsiglia l'impiego dei poliacrilammidi di sintesi se non per casi particolari. Si riportano nella seguente tabella 1 i parametri caratteristici di riferimento di una bentonite da utilizzare nella preparazione di un fango di stabilizzazione:

residui al passante di 63μm	< 4%
tenore di umidità:	< 15%
Limite di liquidità:	> 300
viscosità 1500÷1000 MARSH della sospensione al 6% in acqua distillata:	> 40s
decantazione della sospensione al 6% in 24 h:	< 2%
Acqua "libera" separata per pressofiltrazione di 450 cm³ della sospensione al 6% in 30 min alla pressione di 0,7 MPa:	< 18 cm³
pH dell'acqua filtrata:	> 7 < 9
spessore del pannello di fango "cake" sul filtro della filtro pressa:	2,5 mm

Tabella 1

5.3.3 Prove preliminari

5.3.3.1 Prove tecnologiche

L'Appaltatore può, a sua cura e spese, eseguire, prima di dare corso ai lavori, un adeguato numero di "diaframmi di prova delle tecnologie esecutive" a dimostrazione dell'efficacia e adeguatezza dei macchinari e delle attrezzature scelti, nonché la funzionalità delle modalità operative.

Il Direttore dei Lavori, visti i documenti di qualifica e le peculiarità del contesto stratigrafico, a suo insindacabile giudizio può disporne la realizzazione sempre a cura ed onere dell'Appaltatore. In ogni

caso l'Appaltatore resta responsabile dell'efficacia dei propri mezzi anche in mancanza della realizzazione di detti pali prova.
I diaframmi di prova dovranno essere eseguiti alla presenza della Direzione Lavori in aree rappresentative dal punto di vista geotecnico e idrogeologico, prossime a quelle dei diaframmi di progetto. Il numero dei diaframmi di prova dovrà essere non minore dello 0,5% del numero dei diaframmi di progetto, con un minimo di due.
In ogni caso dovranno essere seguite le prescrizioni della Direzione Lavori, cui spetta l'approvazione delle modalità esecutive.
Qualora l'Appaltatore proponga durante il corso dei lavori di variare le modalità esecutive già inizialmente sperimentate ed approvate, egli dovrà ripetere le prove tecnologiche sopra descritte ed ottenere nuovamente l'approvazione da parte della Direzione Lavori.
I "pannelli prova" dovranno essere tutti attrezzati con tubi idonei per l'esecuzione di prove soniche; nel caso in cui sia previsto il contatto fisico tra tutti i pannelli, le prove dovranno interessare anche il giunto. Le gabbie di armatura dovranno essere attrezzate con tubi inclinometrici, per la verifica della loro verticalità. Le scanalature dei tubi inclinometrici dovranno essere parallele agli assi principali del pannello. La lettura inclinometrica dovrà essere eseguita sulle 4 guide con sonda biassiale e prima di queste dovranno essere eseguite le opportune misure di spiralatura.
Ciò premesso, va inteso che le prove tecnologiche sono totalmente a carico dell' Appaltatore.

5.3.3.2 Prove di progetto

Nel caso di diaframmi aventi funzione portante verticale, il Direttore dei Lavori, sentito il progettista, potrà disporre l'esecuzione di ulteriori "prove di progetto" su "diaframmi pilota" appositamente realizzati per la determinazione della capacità resistente, in analogia a quanto previsto per i pali di fondazione dal D.M. 17/01/2018 (cap.6.4.3.7.1).
Le prove di progetto devono essere spinte fino a valori del carico assiale tali da portare a rottura il complesso diaframma-terreno, o comunque tali da consentire di ricavare significativi diagrammi dei cedimenti della testa del diaframma in funzione dei carichi e dei tempi.
In ogni caso l'Appaltatore dovrà seguire le indicazioni fornite dalla Direzione Lavori.
Gli oneri per l'esecuzione delle prove di progetto ordinate dalla Direzione Lavori verranno compensate all'Appaltatore.

5.3.4 Attrezzatura

Il tipo, la potenza e la capacità operativa delle attrezzature dovranno in ogni caso essere adeguate alle condizioni stratigrafiche, alle caratteristiche e dimensioni dei diaframmi da eseguire nei tempi previsti. Marcature disposte ad intervalli regolari (1m-2m) sugli organi di manovra degli utensili di scavo dovranno consentire il rapido apprezzamento della profondità alla quale gli utensili stanno operando. La verticalità delle aste di guida rigide dovrà essere controllata da un indicatore a pendolo disposto sulle stesse.
L'attrezzatura di scavo dovrà essere dotata di opportuni sistemi meccanici e/o elettronici per il controllo e la registrazione della profondità di scavo.
Per la verifica e la registrazione della deviazione dello scavo sono richiesti inclinometri biassiali montati sull'utensile di scavo o su apposito testimone calato nello scavo ultimato o, in alternativa, mediante sistemi basati sul metodo di "eco-scandaglio" delle pareti del foro.
Nel caso sia utilizzata l'idrofresa, sull'attrezzatura deve essere sempre previsto un sistema di correzione attivo della deviazione di scavo in direzione longitudinale e trasversale, con relativo monitoraggio e registrazione in tempo reale dell'effettiva geometria. Qualora L' Appaltatore lo ritenga necessario, lo stesso tipo modalità di correzione potrà essere previsto anche per attrezzature di scavo con Benne mordente, mediante appositi sistemi meccanici montati sul corpo dell'utensile.

5.3.5 Armature metalliche

Le armature metalliche dovranno essere realizzate in conformità alle indicazioni di Progetto e qualificate e controllate rispetto alle prescrizioni di cui all'art. 24 del presente Capitolato Speciale e delle NTC2018.

5.3.6 Calcestruzzo

Il calcestruzzo impiegato per la realizzazione dei diaframmi dovrà essere conforme alle indicazioni di Progetto e qualificato, gettato e controllato rispetto alle prescrizioni di cui all'art. 20 del presente Capitolato Speciale e delle NTC2018.

5.4 Documenti di prequalifica

L'Appaltatore deve trasmettere al Direttore dei Lavori per approvazione almeno 15 giorni prima dell'inizio delle attività, la documentazione di seguito elencata.

La mancata presentazione della documentazione preliminare comporta la non autorizzazione all'inizio dell'esecuzione dei lavori, né saranno accettate eventuali lavorazioni svolte prima dell'approvazione delle modalità esecutive.

Per gli interventi in oggetto si richiede la presentazione da parte dell'Appaltatore di una apposita "Procedura di lavoro", prevista all'art. CG.01.01 della sezione "Condizioni Generali" del presente Capitolato Speciale nel rispetto dei contenuti di cui al successivo § 4.5 Modalità esecutive. L'Appaltatore, deve altresì trasmettere alla Direzione Lavori per approvazione, un dossier di qualifica contenente:

- L'esito delle prove tecnologiche e di progetto secondo i contenuti del § 5.3.1.1 e 5.3.1.2 qualora eseguite;
- una planimetria riportante la posizione di tutti gli elementi di paratia/fondazione, (con indicazione di quelli da attrezzare con una specifica strumentazione di prova), contrassegnati da un numero progressivo indicativo di ciascun elemento; le date ed il programma delle prove dovranno essere altresì comunicati alla Direzione Lavori con almeno 3 giorni di anticipo sulle date di inizio;
- il programma di esecuzione dei pannelli, nel quale sia indicata la successione cronologica prevista per tutti gli elementi di paratia/fondazione;
- tutte le caratteristiche delle attrezzature, gli utensili e le modalità di scavo previste (a secco e/o in presenza di fluido di stabilizzazione), in modo da assicurare il raggiungimento delle profondità di progetto, l'attraversamento di strati di terreno lapidei o cementati, l'eventuale ammorsamento nel sub-strato roccioso, la rimozione di massi di scogliere, trovanti o altro che possa ostacolare la costruzione.
- Il pantentino degli operatori per perforatori che saranno impegnati nelle lavorazioni;
- Lo studio preliminare dei fanghi secondo i contenuti del § 5.3.2
- Le caratteristiche geometriche costruttive degli eventuali giunti;
- Le schede di qualificazione dei prodotti utilizzati.

Inoltre l'Appaltatore deve aver concluso positivamente l'iter di qualifica dei materiali utilizzati per la realizzazione dei diaframmi e nello specifico del conglomerato cementizio secondo i contenuti dell'art. 20 e dell'armatura secondo l'art. 24 di questo capitolato.

I requisiti d'accettazione potranno inoltre essere accertati con ulteriori prove a cura della Direzione Lavori sia in fase di prequalifica presso il fornitore (controllo non vincolante per l'autorizzazione), sia

in corso d'opera, prelevando il materiale in sito o ancora presso il fornitore, prima e dopo avere effettuato le lavorazioni.

5.5 Modalità esecutive

Nell'esecuzione dei diaframmi l'Appaltatore deve adottare tutti gli accorgimenti necessari a realizzare l'opera conformemente ai requisiti progettuali, soprattutto per quanto attiene il rispetto della verticalità, la complanarità e l'impermeabilità dei giunti.
Rispetto a quanto proposto dall'Appaltatore, 'ordine di realizzazione dei singoli pannelli potrà essere variato a giudizio della Direzione Lavori, senza che perciò l'Appaltatore abbia diritto ad alcuno speciale compenso.
L'Appaltatore è tenuto ad eseguire a suo esclusivo onere e spesa tutte le opere sostitutive e/o complementari che a giudizio della Direzione Lavori si rendessero necessarie per garantire piena funzionalità al diaframma in caso di esecuzione non conforme alle tolleranze stabilite al § 5.7.
Lo scavo di un pannello non deve essere iniziato prima che il calcestruzzo del pannello o dei pannelli adiacenti abbia raggiunto una resistenza sufficiente ad impedire eventuali danneggiamenti ai pannelli limitrofi realizzati.
Nel caso in cui in fase di completamento della perforazione fosse accertata l'impossibilità di eseguire rapidamente il getto (sosta notturna, mancato trasporto del calcestruzzo, problematiche realizzative), sarà necessario interrompere la perforazione alcuni metri prima ed ultimarla solo nell'imminenza del getto;

5.5.1 Preparazione del piano di lavoro

L'Appaltatore dovrà predisporre, lungo il tracciato planimetrico del diaframma, due cordoli guida, paralleli e contrapposti, in conglomerato cementizio armato (l'armatura dei cordoli guida deve essere "continua") gettati esternamente contro terra, delle dimensioni non inferiori a 30 cm di spessore e 100 cm di profondità dal piano di lavoro, distanti tra loro dello spessore del diaframma aumentato di 4÷6 cm, allo scopo di definire la posizione degli utensili di scavo, di assicurare un riferimento stabile per il posizionamento delle armature e di evitare il franamento del terreno nella fascia di oscillazione del livello del fango.
Nella esecuzione dei cordoli guida occorre posizionare con estrema precisione i casseri di getto, in modo da determinare la coincidenza, nel limite delle tolleranze consentite, tra la linea mediana degli stessi cordoli e la posizione dell'asse dei diaframmi.
La parte superiore dei cordoli guida deve essere orizzontale e caratterizzata dalla stessa elevazione su entrambi i lati.
In corrispondenza dei cordoli devono essere adeguatamente contrassegnati, con chiodi e/o strisce di vernice, gli estremi di ciascun pannello di diaframma da eseguire. Nel caso in cui si faccia ricorso a perforazioni con benna mordente, occorrerà contrassegnare, con simbolismo e cromatismo opportuni per diversificarlo dagli estremi, anche il centro del pannello.
La posizione degli estremi e del centro dei pannelli devono essere definite topograficamente.
Qualora lungo il tracciato del diaframma venga accertata la presenza di manufatti, canalizzazioni, tubazioni, sarà necessario approfondire i cordoli stessi al disotto degli ostacoli o in alternativa potrà essere eseguita una bonifica del terreno interessato. Quest'ultimo dovrà essere sostituito con calcestruzzo magro o misto stabilizzato, fino alla quota interessata dai lavori di risanamento.
La testa dei cordoli guida e della piattaforma di lavoro dovranno essere poste ad 1.5 m sopra la quota di massima fluttuazione del livello di falda, tenendo in conto degli eventuali fenomeni di artesianesimo.

Nel caso in cui, per il livello di falda non si possa rispettare tale franco, l'Appaltatore dovrà utilizzare fanghi di supporto di opportune caratteristiche che garantiscano lo stesso livello di sicurezza, presentando alla DIREZIONE LAVORI una specifica relazione tecnica.
Durante le operazioni di scavo, i cordoli guida dovranno essere reciprocamente puntellati.
Per diaframmi in alveo in presenza di battente d'acqua fluente, l'Appaltatore predisporrà la fondazione di un piano di lavoro a quota sufficientemente elevata rispetto a quella dell'acqua per renderlo transitabile ai mezzi semoventi portanti le attrezzature di infissione o di perforazione e relativi accessori e di tutte le altre attrezzature di cantiere.

5.5.2 Perforazione

5.5.2.1 Perforazione a secco

Può esser effettuata esclusivamente nei terreni coesivi di media o elevata consistenza (coesione non drenata > 0,03 MPa) non fessurati, esenti da intercalazioni incoerenti e non interessati da falde che possano causare ingresso di acqua nel foro con trascinamento di materiale e franamenti; essendo le massime profondità raggiungibili in funzione della coesione non drenata del terreno, dovrà essere rispettata la seguente condizione:

$L \leq 3\ cu / \gamma$

dove «L» è la profondità massima raggiungibile dai pannelli espressa in metri e «Cu» è la coesione non drenata, γ è il peso totale del terreno.

5.5.2.2 Perforazione in presenza di fluido di stabilizzazione

Il fluido di stabilizzazione dovrà essere preparato, trattato e controllato seguendo le modalità descritte nel § 5.3.2.
La perforazione sarà eseguita mediante benna mordente o idrofresa in presenza di fango stabilizzante.
Nel caso si utilizzi come attrezzatura di perforazione la benna mordente, il corpo dell'utensile dovrà lasciare uno spazio tra esso e la parete del foro di ampiezza sufficiente ad evitare "effetti pistone" allorché l'utensile è sollevato.
Le benne dovranno avere conformazione tale da non lasciare sul fondo del foro detriti smossi o zone di terreno rimaneggiato.
La benna mordente sarà provvista delle aperture per la fuoriuscita del fango all'atto dell'estrazione.
La parte superiore della benna sarà dotata di una dima o carter (con lunghezza > di 1 m) avente le stesse dimensioni della massima apertura della benna stessa.
Durante la perforazione dei pannelli occorre utilizzare adeguata strumentazione per tenere controllata la verticalità, la profondità di scavo, le rotazioni e tutte le deviazioni rispetto alla configurazione di progetto; tutti i parametri registrati e riportati in apposita modulistica, devono essere consegnati alla Direzione Lavori.
Qualora si registri un superamento della deviazione ammessa sulla verticalità (si veda il § Tolleranze Geometriche), occorrerà intraprendere tutte le azioni necessarie per il recupero della verticalità.
Nell'idrofresa, i detriti, sono rimossi e disgregati dalle due ruote fresanti in movimento rotativo sincrono opposto e, in sospensione nel fluido di perforazione, sono convogliati ad una stazione di trattamento dei fanghi, mediante una pompa installata all'interno del corpo fresante.
In presenza di perforazioni con idrofresa, nelle prime fasi di scavo potrà essere previsto l'utilizzo della benna mordente, almeno fino al raggiungimento della profondità necessaria per il funzionamento della pompa di circolazione del fango incorporata nell'idrofresa.

Dovranno essere costantemente registrate la velocità di avanzamento ed il valore della coppia delle frese; le registrazioni, riportate in apposita modulistica, dovranno essere consegnate alla Direzione Lavori.
Con entrambe le attrezzature di scavo, il livello del fango nel foro dovrà essere in ogni caso più alto della massima quota piezometrica delle falde presenti nel terreno lungo la perforazione.
Il franco dovrà risultare di norma non inferiore a 1,00 m e all'atto dell'estrazione dell'utensile dal foro non dovrà essere minore di 0,70 e comunque, il livello del fango non dovrà scendere al disotto del piano di imposta dei cordoli guida. A tale scopo si potrà disporre di una sufficiente polmone all' interno dei cordoli guida stessi.
Nel caso di utilizzo di idrofresa, si dovrà comunque prevedere che i primi metri dello scavo siano condotti con benna mordente / braccio rovescio almeno fino al raggiungimento della profondità necessaria per avere una colonna di fluido d' innesco della pompa di aspirazione del fango incorporata nell'idrofresa.
Ciascun tratto di diaframma sarà eseguito in due fasi: si procederà dapprima alla perforazione ed al getto di elementi alterni (primari) e si completerà il tratto in seconda fase, con l'esecuzione degli elementi di chiusura (secondari) ad avvenuta presa del conglomerato cementizio di quelli eseguiti in prima fase.
Con l'uso della benna mordente, nello scavo dei pannelli adiacenti (pannelli secondari) si dovrà avere cura di pulire, mediante opportuni raschiatori, le superfici laterali dei pannelli primari. I raschiatori dovranno essere utilizzati a fine perforazione, fissandoli rigidamente sull'utensile di scavo;
Nel proporre diverse lunghezze di scavo rispetto a quanto indicato nel Progetto, Appaltatore dovrà tener conto delle esigenze costruttive dell'opera, della natura del terreno, della profondità di scavo, della sicurezza delle opere adiacenti.
Nei casi in cui è comprovata la stabilità dello scavo (mediante analisi numeriche, esperienze eseguite o prove preliminari) può essere ammessa l'esecuzione di elementi multipli gettati in un'unica fase.
L'impianto di preparazione e stoccaggio dei fanghi di stabilizzazione, dovrà essere dimensionato in modo tale da assicurare una quantità di fango disponibile non inferiore al volume totale del pannello di maggiori dimensioni previste nel Progetto, in modo da garantire una sufficiente alimentazione in caso di perdita improvvisa del fango all'interno dello scavo.
Qualora non fosse possibile ripristinare il livello con opportuni volumi di fango, l'Appaltatore dovrà sempre prevedere di riempire lo scavo con materiale stabile e riscavabile (magrone o similare).
Al termine della perforazione si dovrà procedere alla pulizia dei detriti rimasti sul fondo e alla parziale o totale sostituzione totale del fango presente nel pannello al fine di riportarlo alle caratteristiche richieste per l'esecuzione del getto, come indicato all' articolo specifico. I controlli del fango prima del getto dovranno essere eseguiti a più livelli (con la quota più profonda a 50 cm dal fondo).
Le operazioni dovranno essere programmate e condotte in modo da evitare interazioni pregiudizievoli alla buona riuscita del lavoro tra elementi in corso di esecuzione o appena ultimati.
Qualora si accertasse l'impossibilità di fare eseguire immediatamente il getto all'ultimazione della perforazione (per sosta notturna, difficoltà di approvvigionamento del conglomerato cementizio o qualunque altro motivo), si dovrà interrompere la perforazione almeno un metro sopra alla profondità finale prevista e riprenderla successivamente, in modo da ultimarla nell'imminenza del getto.
Il materiale di risulta dovrà essere sistematicamente smaltito, secondo la legislazione vigente.

5.5.2.3 Attraversamento di trovanti e/o formazioni rocciose

Nel caso di benna mordente, in presenza nel terreno di trovanti lapidei, non estraibili con i normali metodi di estrazione, o di strati rocciosi o cementati e per conseguire un'adeguata immorsatura del

diaframma nei substrati rocciosi di base si farà ricorso all'impiego di scalpelli frangiroccia azionati a percussione, di peso e forma adeguati.
L'uso di queste attrezzature dovrà essere frequentemente alternato a quello della benna o del secchione, che hanno il compito di estrarre dal foro i materiali di risulta.
In alternativa l'Appaltatore potrà anche prevedere una serie di fori preliminari di alleggerimento eseguiti a rotazione con altre attrezzature di perforazione, in anticipo sullo scavo con benna mordente.
Nel caso dell'idrofresa, essa consente l'attraversamento di terreni di qualsiasi tipo e dei materiali lapidei in forma di strati o banchi omogenei.
La rimozione di eventuali trovanti isolati potrà avvenire per distruzione degli stessi o per rimozione con benna mordente, in funzione delle dimensioni e della natura dei materiali.

5.5.3 Formazione dei giunti

Nei casi in cui sia richiesta l'impermeabilità del diaframma o la collaborazione statica tra gli elementi che lo compongono, i giunti tra gli elementi dovranno essere opportunamente conformati.
A tale scopo prima del getto degli elementi primari, si poseranno ai due estremi del pannello da gettare e per tutta la profondità due casseforme metalliche a sezione circolare (o di diversa sezione opportunamente sagomata ed approvata dalla Direzione Lavori).
A presa iniziata, si provvederà ad estrarre le casseforme mediante un'opportuna attrezzatura oleodinamica, ripetendo l'operazione in tempi successivi qualora le dimensioni dell'elemento comportino durate del getto notevoli e quindi tempi di presa scaglionati per le diverse fasce di profondità di ciascun elemento. A presa ultimata per tutto il pannello si provvederà all'estrazione completa delle casseforme.
In alternativa, le casseforme potranno essere rimosse a presa avvenuta, per strappo laterale da effettuarsi durante lo scavo del pannello secondario.
La superficie esterna delle casseforme dovrà essere continua, liscia, priva di incrostazioni ed all'occorrenza spalmata di un prodotto disarmante, in modo da permettere l'esecuzione agevole delle operazioni sopra indicate, senza danni per il getto.
Nello scavo dei pannelli secondari) si dovrà aver cura di pulire la sagoma lasciata dal tubo-spalla, mediante opportuni raschiatori montati sull'utensile di scavo
In funzione delle prescrizioni di Progetto, per una migliore garanzia di tenuta idraulica del giunto, in aggiunta alla particolare sagomatura fornita dalla cassaforma può essere richiesto l'impiego di "water-stop" in materiale plastico (HDPE o PVC), inserito permanentemente e trasversalmente al giunto di due pannelli adiacenti per tutta o parziale profondità.
Qualora sia utilizzata l'idrofresa è possibile realizzare i giunti senza l'impiego di casseratura metallica, provvedendo ad alesare i pannelli primari già gettati. Per la formazione del giunto fresato la dimensione della lingua di terreno non scavato tra due pannelli primari adiacenti dovrà essere minore della dimensione del corpo fresante. In questo modo si assicura, con il pannello secondario intermedio, un'adeguata sovrapposizione che tenga conto delle deviazioni durante lo scavo. In presenza di scavi sotto falda la sovrapposizione teorica deve essere $\geq 0.7\%$ della profondità di scavo dei pannelli con un minimo di 10 cm.

5.5.4 Armature metalliche

Le armature metalliche verticali saranno costituite da barre ad aderenza migliorata; verranno pre-assemblate fuori opera in «gabbie»; i collegamenti saranno ottenuti con doppia legatura in filo di ferro, mediante punti di saldatura elettrica.
Le armature trasversali saranno costituite da riquadri o staffe a più braccia, con ampio spazio libero centrale per il passaggio del tubo di getto; esse saranno di norma esterne alle armature verticali. Al

fine di irrigidire le gabbie d'armatura dovranno essere predisposti i necessari ferri diagonali, ad Ω, di irrigidimento.
In casi particolari possono essere previsti opportuni telai di movimentazione per il sollevamento e trasporto delle gabbie in sicurezza ed in assenza di deformazioni.
L'impiego di profilati metallici è consentito, purché la configurazione delle armature sia tale da assicurare il completo piazzamento del fango stabilizzante e che durante il getto si garantisca un continuo immorsamento degli elementi metallici nel calcestruzzo. Tale condizione dovrà essere verificata preventivamente con prove in scala reale che dimostrino, dopo il getto la totale assenza di sacche di fango di perforazione misto a terreno intrappolate nel calcestruzzo in prossimità delle superfici di contatto con l' acciaio.
In caso di gabbie composte da più elementi verticali, la giunzione verrà realizzata con sovrapposizione o manicotti.
Le gabbie di armatura saranno dotate di opportuni distanziatori non metallici atti a garantire la centratura dell'armatura ed un copriferro netto minimo rispetto alla parete di scavo di 75 mm.
Si richiede l'adozione di rotelle cilindriche in conglomerato cementizio (diametro 12÷15 cm, larghezza > 6 cm) con perno in tondino metallico fissato a due ferri verticali contigui. I centratori saranno posti a gruppi di 3÷4 regolarmente distribuiti sul periodo e con spaziatura verticale di 3,0÷4,0 m.
Per le armature verticali si ammette:
- l' uso di ferri raggruppati;
- la distribuzione su doppio strato purchè la distanza fra i ferri sia almeno due volte il diametro massimo degli inerti.

Le gabbie di armatura dovranno essere perfettamente pulite ed esenti da ruggine, messe in opera prima dell'inizio del getto mantenute in posto sostenendole dall'alto, evitando in ogni caso di appoggiarle sul conglomerato cementizio già in opera o sul fondo del cavo.
La distanza minima fra il fondo dello scavo e la gabbia di armatura dovrà essere pari a 200 mm.
Qualora sia prevista la tirantatura del diaframma (paratie), occorre verificare che siano posizionati dei tubi guida solidarizzati all'armatura con adeguata legatura, aventi diametro maggiore della perforazione necessaria per la posa in opera del tirante, passanti in tutto lo spessore del pannello medesimo. Le relative cassette, nelle quali posizionare le piastre di ripartizione del tirante, dovranno essere predisposte con l'inclinazione prevista dal progetto.
A discrezione della Direzione Lavori, potranno essere misurate le coordinate planimetriche di almeno due spigoli contrapposti dell'armatura, al fine di verificarne la corretta posizione prevista progettualmente.

5.5.5 Posa in opera del calcestruzzo

Il conglomerato cementizio sarà posto in opera a caduta o mediante pompa, impiegando un tubo di convogliamento costituito da elementi di opportuna lunghezza. Nel primo caso, il tubo dovrà avere un diametro minimo di 20 cm÷25 cm; nel secondo caso, un diametro minimo di 15 cm e comunque non inferiore a 6 volte il diametro massimo degli inerti.
L'interno dei tubi sarà pulito, privo di irregolarità e strozzature.
Le giunzioni tra sezione e sezione dei tubi dovranno garantire la perfetta tenuta idraulica (con filettatura o innesto con guarnizione).
Nel metodo a caduta, il tubo sarà provvisto, all'estremità superiore, di una tramoggia di carico avente una capacità di almeno 0.5-0.6 m^3, e mantenuto sospeso da un mezzo di sollevamento.
Prima di installare il tubo getto sarà eseguita una ulteriore misura del fondo foro; qualora lo spessore del deposito superi i 20 cm si provvederà all'estrazione della gabbia d'armatura ed alle operazioni di pulizia.

Il tubo di convogliamento sarà posto in opera arrestando il suo piede a 30 cm dal fondo della perforazione; al fine di evitare azioni di contaminazione/dilavamento del primo calcestruzzo gettato, prima di iniziare il getto si disporrà entro il tubo, in prossimità del suo raccordo con la tramoggia, un tappo formato da una palla di malta plastica oppure da uno strato di 30 cm di spessore di vermiculite granulare o da palline di polistirolo galleggianti sul liquido, oppure ancora da un pallone di plastica. Per diaframmi perforati a secco non occorre alcun tappo alla sommità di separazione.
All'inizio del getto si dovrà disporre di un volume di conglomerato cementizio pari a quello del tubo getto di almeno 3÷4 m di diaframma.
Durante il getto il tubo convogliatore sarà opportunamente manovrato per un'ampiezza di 20÷30 cm, in modo da favorire l'uscita e la risalita del calcestruzzo.
Previa verifica del livello raggiunto, utilizzando uno scandaglio metallico a fondo piatto, il tubo di convogliamento sarà accorciato per tratti successivi nel corso del getto, sempre conservando un'immersione minima nel calcestruzzo di 2.5 m.
Il getto dovrà essere alimentato con una cadenza effettiva, inclusi tutti i tempi morti, non inferiore a 25 m³/h e, in ogni caso, dovrà essere considerato un rifornimento che, in funzione del volume del pannello, garantisce una velocità di risalita minima del getto di 3m/h, con un interruzione mai superiore ai 20 minuti.
Il getto di un pannello dovrà comunque essere completato in un tempo tale che il calcestruzzo rimanga sempre lavorabile. In presenza di pannelli di lunghezza superiore a 4 m, devono essere previsti due o più tubi getto secondo le seguenti prescrizioni:

- distanza fra i tubi < 3 m,
- distanza di ogni tubo getto dall' estremità più vicina del pannello < 2m.

In questo caso i tubi dovranno essere alimentati in modo sincrono per assicurare la risalita uniforme del calcestruzzo.
Per nessuna ragione il getto dovrà venire sospeso prima del totale riempimento del pannello. Il getto proseguirà fino a che il calcestruzzo non contaminato di fango avrà raggiunto il livello prescritto di Progetto. Il conglomerato cementizio dovrà essere confezionato e trasportato con un ritmo tale da consentire di completare il getto di ciascun elemento di diaframma senza soluzione di continuità e nel più breve tempo possibile. La centrale di confezionamento dovrà quindi consentire l'erogazione nell'unità di tempo di volumi di conglomerato cementizio almeno doppi di quelli teorici richiesti, secondo le prescrizioni di cui sopra.
All'atto dell'esecuzione del getto dovrà essere controllata la regolarità dell'assorbimento del calcestruzzo, misurando le profondità raggiunte nell'elemento in corso di getto, ogni 6-8 m^3 di calcestruzzo immesso.

5.5.6 Lavori Complementari

È obbligo assoluto che la scapitozzatura delle teste dei diaframmi sia eseguita sino alla completa eliminazione di tutti i tratti in cui le caratteristiche del diaframma non rispondono a quelle previste da Progetto.
In tal caso è onere dell'Appaltatore procedere al ripristino del diaframma sino alla quota di sottoplinto o alla quota testa diaframma di Progetto.
Nel caso che, durante l'eventuale scopertura del paramento in vista del diaframma, si riscontrassero difetti di esecuzione (quali soluzioni di continuità nel conglomerato, non perfetta tenuta dei giunti di collegamento, sbulbature fuori sagome media ecc.), sarà onere dell'Appaltatore adottare a sua cura e spese i provvedimenti che saranno necessari a giudizio insindacabile della Direzione Lavori.
In particolare per i giunti, eventuali interventi di riparazione mediante iniezioni cementizie, iniezioni con resine speciali o jet-grouting a tergo, dovranno essere proposti dall'Appaltatore, a cui saranno addebitati i maggiori oneri eventualmente derivanti.

5.6 Prove e controlli

5.6.1 Prove a carico dell'Appaltatore

L'Appaltatore è tenuto ad eseguire i seguenti controlli da trasmettere in apposito report alla Direzione Lavori al termine dell'esecuzione di ogni wbs. Ogni elemento di diaframma dovrà comportare la registrazione su apposita scheda dei seguenti dati:

- Verifica della corretta esecuzione del tracciamento, della preparazione del piano di posa e dei cordoni guida (corree);
- identificazione del pannello;
- data e ora di inizio/fine perforazione e di inizio/fine getto;
- risultati dei controlli eseguiti sul fango eventualmente usato per la perforazione;
- profondità effettiva raggiunta dalla perforazione;
- successione stratigrafica dei terreni attraversati;
- diagramma di deviazione dall'asse teorico verticale nelle due direzioni (ove richiesto);
- profondità del fondo cavo prima della posa del tubo getto;
- assorbimento totale effettivo del conglomerato cementizio e volume teorico dell'elemento diaframma;
- «profilo di getto» su tutti i pannelli. Ogni 10 elementi ed ogni qualvolta la Direzione Lavori lo richieda, il rilievo dose per dose (dose = autobetoniera) del livello del conglomerato cementizio entro il foro in corso di getto, in modo da poter ricostruire l'andamento dello spessore medio effettivo lungo il diaframma (profilo di getto); s'impiegherà allo scopo uno scandaglio a base piatta;
- L'esito del controllo sui fanghi di cui al seguente § 5.6.1.1.

5.6.1.1 Controlli sui fanghi

Per il controllo della qualità del fango si eseguiranno, a cura e spese dell'Appaltatore a mezzo di Laboratorio di cantiere, determinazioni sistematiche delle seguenti caratteristiche i cui certificati o report devono essere trasmessi alla Direzione Lavori:

a) peso di volume;
b) viscosità MARSH;
c) contenuto in sabbia;

ripetendo le misure con la frequenza e le modalità di prelievo sotto indicate.

Fanghi freschi maturati (determinazione delle caratteristiche a e b):

- prelievo nella vasca di maturazione con frequenza quotidiana, per ogni impianto di preparazione fanghi.

Fanghi in uso, nel corso della escavazione (determinazione della caratteristica a):

- prelievo entro il cavo, mediante campionatore, alla profondità sovrastante di 50 cm quella raggiunta dall'escavazione al momento del prelievo, con frequenza di un prelievo per ogni elemento (palo) al termine dell'attraversamento degli strati più sabbiosi o al termine delle operazioni di scavo

Fanghi prima dell'inizio del getto del conglomerato cementizio (determinazione delle caratteristiche a e c):

- prelievo mediante campionatore, alla profondità di 80 cm sopra il fondo dello scavo con frequenza di prelievo per ogni elemento da eseguire dopo che le armature metalliche ed il tubo di convogliamento sono già stati posti in opera.

In assenza di condizioni particolarmente sfavorevoli la sospensione deve garantire il rispetto delle caratteristiche riportate nella tabella seguente.

PROPRIETA'	STADI		
	Fanghi freschi maturati	Fanghi in uso, nel corso della escavazione	Fanghi prima dell'inizio del getto del conglomerato cementizio
Densità in g/ml	< 1,10	<1.25	<1.15
Valore Marsh in sec	da 32 a 50	da 32 a 60	da 32 a 50
Contenuto in sabbia in %	n.a.*	n.a.*	<4
Strato di fango dovuto alla filtrazione (filtercake) in mm	<3	<6	n.a*

* n.a.: non applicabile

In condizioni stratigrafiche e idrogeologiche avverse caratterizzate, per esempio, da terreni ad alta permeabilità, dalla presenza di cavità, da flussi idrici abbondanti o da alti livelli piezometrici, è possibile derogare ai valori limite riportati nella tabella precedente, purché venga sottoposta alla Direzione Lavori per approvazione una relazione tecnica contenente le caratteristiche della sospensione che si intende utilizzare.

La Direzione lavori potrà richiedere ulteriori controlli delle caratteristiche dei fanghi impiegati, in particolare nella fase iniziale di messa a punto delle lavorazioni.
Inoltre, per i fanghi polimerici biodegradabili dovrà essere eseguita la prova di decadimento all'avvio dell'impianto.
L'Appaltatore dovrà disporre in cantiere di una adeguata attrezzatura di laboratorio per il controllo del peso specifico o di volume, della viscosità, del contenuto in sabbia, del pH, dell'acqua libera, e dello spessore del "cake"; mentre per la constatazione delle seguenti caratteristiche:

- residui al setaccio n. 38 della serie UNI n.2331 - 2332;
- tenore di umidità;
- limite di liquidità;
- decantazione della sospensione al 6%.

5.6.2 Prove a carico della Direzione Lavori

I prelievi per i seguenti controlli di accettazione in cantiere devono essere eseguiti, in contraddittorio e con l'assistenza dell'Appaltatore.

5.6.2.1 Controlli delle stratigrafie

La Direzione Lavori controllerà in fase di esecuzione del perforo la rispondenza delle stratigrafie di Progetto con quelle effettive.
In presenza di eventuali discordanze o nel caso che alla base del diaframma si rinvenga un terreno più compressibile e/o molto meno resistente del previsto, o comunque altre anomalie, la Direzione Lavori ne darà notizia al Progettista, il quale procederà al riesame delle condizioni progettuali provvedendo alle opportune modifiche.

5.6.2.2 Controlli non distruttivi

Scopo dei controlli non distruttivi è quello di verificare le caratteristiche geometriche e meccaniche degli elementi di diaframma non compromettendone l'integrità strutturale. A tale scopo è richiesta, o può essere richiesta, l'esecuzione dei seguenti controlli.

5.6.2.2.1 Prove geofisiche

Esse sono eseguite mediante emissione di impulsi direttamente lungo il fusto entro tubi metallici precedentemente predisposti ed annegati nel getto.
Il numero dei controlli sarà di volta in volta stabilito dalla Direzione Lavori anche in relazione all'importanza dell'opera, alle caratteristiche geotecniche e idrogeologiche dei terreni di fondazione e alle anomalie riscontrate durante l'esecuzione dei diaframmi.
Almeno il 50% dei pannelli dovranno essere attrezzati con i tubi metallici estesi a tutta la profondità dell'elemento, entro cui potranno scorrere le sonde di emissione e ricezione. I tubi metallici saranno solidarizzati alla gabbia di armatura, resi paralleli tra loro e protetti dall'ingresso di materiale.
I tubi saranno disposti a coppie contrapposte lungo i lati maggiori del pannello, in numero comunque non inferiore a quattro (vertici del pannello), rispettando una distanza massima fra i tubi di 2.50 m o comunque in funzione delle capacità dei sensori emittenti e riceventi.
Le prove d'integrità verranno eseguite non prima di 28 giorni dal termine delle operazioni di getto. La Direzione Lavori potrà richiedere la ripetizione delle prove con un tempo di maturazione anche superiore.
I percorsi di misura verranno eseguiti per tutte le combinazioni possibili di allineamento fra i tubi presenti nel pannello.
Le prove dovranno essere eseguite alternando entro i fori le posizioni delle sonde trasmittente e ricevente.
Gli elementi di diaframma da sottoporre a controllo mediante prove geofisiche saranno prescelti dalla Direzione Lavori su almeno il 20% del numero totale dei pannelli con un minimo di 4.

5.6.2.2.2 Carotaggio continuo meccanico

Il carotaggio si eseguirà in corrispondenza di quegli elementi di diaframma ove si fossero manifestate inosservanze rispetto al presente Capitolato Speciale di Appalto e alle disposizioni della Direzione Lavori.
Il carotaggio dovrà essere eseguito con utensili e attrezzature tali da garantire la verticalità del foro e consentire il prelievo continuo, allo stato indisturbato, del conglomerato e se richiesto del sedime di imposta.
Allo scopo saranno impiegati doppi carotieri provvisti di corona diamantata aventi diametro interno minimo non inferiore a 1.2 volte il diametro massimo degli inerti e comunque non inferiore a 60 mm.
Nel corso della perforazione dovranno essere rilevate le caratteristiche macroscopiche del conglomerato e le discontinuità eventualmente presenti, indicando in dettaglio la posizione e il tipo delle fratture, le percentuali di carotaggio, le quote raggiunte con ogni singola manovra di avanzamento.
All'interno del foro potranno essere richiesta la predispostone e l' esecuzione di prove di permeabilità o la predisposizione di tubazione per l' esecuzione di carotaggi sonici.
Su alcuni spezzoni di carota saranno eseguite prove di laboratorio atte a definire le caratteristiche fisiche, meccaniche e chimiche. Al termine del carotaggio si provvederà a riempire il foro mediante boiacca di cemento immessa dal fondo foro.

5.6.2.2.3 Scavi attorno al fusto del diaframma

Saranno richiesti dalla Direzione Lavori, ogni qualvolta si nutrano dubbi sulla verticalità e regolarità della sezione nell'ambito dei primi 4,0 - 5,0 m di diaframma.
Il fusto del diaframma dovrà essere messo a nudo e pulito con un violento getto d'acqua e reso accessibile all'ispezione visiva.

Successivamente si provvederà a riempire lo scavo con materiali e modalità di costipamento tali da garantire il ripristino della situazione primitiva.
Tali operazioni saranno eseguite in corrispondenza di quegli elementi del diaframma ove si fossero manifestate inosservanze rispetto al presente Capitolato Speciale di Appalto e alle disposizioni della Direzione Lavori.

5.6.2.3 Controlli sulle armature e sul calcestruzzo

Per la frequenza e il tipo di controlli sulle armature e sul calcestruzzo si rimanda ai contenuti dei rispettivi capitoli 24 e 20 di questo capitolato speciale.

5.6.3 Prove di carico per i soli elementi di diaframma con funzione portante verticale

Nel caso di diaframmi aventi funzione portante verticale ci si comporterà in analogia a quanto previsto per i pali di fondazione. Pertanto, in ottemperanza al DM17/01/2018 (cap. 6.4.3.7.2), sui diaframmi devono essere eseguite prove di carico statiche di verifica per controllarne principalmente la corretta esecuzione e il comportamento sotto le azioni di progetto. Tali prove devono pertanto essere spinte ad un carico assiale pari a 1,5 volte l'azione di progetto utilizzata per le verifiche SLE.
Il numero e l'ubicazione delle prove di verifica devono essere stabiliti in base all'importanza dell'opera e al grado di omogeneità del terreno di fondazione; in ogni caso il numero di prove non deve essere inferiore al 2% del totale del numero degli elementi, con un minimo di due.
La scelta dei diaframmi di prova è di competenza della Direzione Lavori che dovrà tenere in conto la necessità di testare, per quanto possibile, tutte le diverse situazioni del sottosuolo.
Al momento della prova il calcestruzzo del diaframma dovrà avere almeno ventotto giorni di stagionatura.
Il programma esecutivo della prova, sia per quanto riguarda lo schema di applicazione del carico (numero degli step e tempi di mantenimento a carico assiale costante, numero e caratteristiche dei cicli di carico-scarico, …), sia per quanto riguarda la lettura dei cedimenti (frequenza delle letture, criteri per individuare l'avvenuta stabilizzazione del cedimento, …), dovrà di norma essere conforme alle raccomandazioni contenute nell'art. 6 di questo Capitolato speciale afferenti i Pali, fatte salve differenti e più ristrettive prescrizioni fornite dalla Direzione Lavori in ragione delle specifiche condizioni stratigrafiche e natura dei terreni.
Il carico sarà applicato mediante un martinetto, contrastato mediante un'adeguata zavorra o elementi di reazione, il cui manometro (o cella di carico) dovrà essere corredato da un certificato di taratura con data non anteriore ad un mese.
Le misure dei cedimenti dovranno essere rilevate mediante quattro micrometri centesimali, interposti tra la testa dell'elemento di diaframma e una struttura porta micrometri solidale al terreno in punti sufficientemente distanti dall'elemento di prova e dal sistema di contrasto, così da evitare l'influenza delle operazioni di carico e scarico.
I supporti di tale struttura devono distare non meno di 3,0 m dall'elemento di diaframma di prova e non meno di 3 volte lo spessore dell'elemento di prova, e non meno di 2,0 m dall'impronta della zavorra o da elementi di diaframma di reazione. La struttura portamicrometri dovrà essere protetta da vibrazioni e urti accidentali e schermata dai raggi solari per minimizzare le deformazioni di natura termica.
Di ciascuna prova dovrà essere redatto apposito verbale, controfirmato dalle parti, nel quale saranno riportati tra l'altro: data e ora di ogni variazione di carico, entità del carico, le letture ai micrometri e il diagramma di carichi-cedimenti. Al verbale saranno allegati i certificati di taratura del manometro (o cella di carico).

In taluni casi la Direzione Lavori potrà richiedere l'esecuzione di prove di carico orizzontali; date le peculiarità di tale tipologia di prova, le modalità esecutive e il programma di carico dovranno essere di volta in volta stabilite dalla Direzione Lavori e riportate sul verbale di prova.

5.7 Tolleranze geometriche

I diaframmi dovranno essere realizzati nella posizione e con le dimensioni definite nel Progetto, adottando le seguenti tolleranze ammissibili, salvo più rigorose limitazioni indicate negli elaborati progettuali:

Diaframmi aventi funzione di opera di sostegno agli scavi

- Posizione planimetrica dell'asse longitudinale rispetto al teorico $\leq$ 20 mm valutato a testa diaframma.
- Verticalità assoluta $\leq$ 0.8% lungo qualsiasi direttrice verticale; con l'idrofresa si riduce il limite si riduce a $\leq$ 0.5%.

  Nel caso di diaframmi a tenuta idraulica dovrà essere garantita una tolleranza pari al valore minimo fra i due seguenti valori:
  0.5% o S/(6L) (S = Spessore; L = profondità del diaframma).
  L'Appaltatore dovrà verificarne la verticalità rispettando la seguente procedura:
  - controllo sui primi 10 m di profondità;
  - controllo progressivo del gradiente di deviazione con applicazione della tolleranza suddetta metro per metro, per il restante tratto di pannello in profondità;

- Quota testa diaframma: $\pm$ 40 mm rispetto al teorico
- Eventuali protuberanze non dovranno eccedere di 50 mm rispetto al piano medio interno della paratia.

Elementi singoli aventi funzione di fondazione profonda

- Posizione planimetrica $\pm$ 50 mm rispetto al teorico nelle due direzioni ortogonali
- Verticalità assoluta $\leq$ 2% in entrambe le direzioni e lungo qualsiasi direttrice verticale; con idrofresa si riduce il limite si riduce a $\leq$ 0.8%.
- Quota testa diaframma: $\pm$ 40 mm rispetto al teorico

In generale, per entrambi i casi, valgono inoltre i seguenti criteri costruttivi:

- le tolleranze ΔS sullo spessore, verificate in base ai volumi di conglomerato cementizio assorbito, sono le seguenti:
  - per ciascun elemento, in base al suo assorbimento globale: $-0{,}01S < \Delta S < 0{,}1S$
  - per ciascuna sezione degli elementi sottoposti a misure dell'assorbimento dose per dose (dose = autobetoniera): $-0{,}01S < \Delta S < 0{,}01S$
- la profondità "L" dovrà risultare conforme al Progetto ±150 mm.
- la posizione di eventuali inserti,elementi di collegamento strutturali (manicotti, fazzoletti saldati: $\pm$ 75 mm rispetto al quota teorica verticale)
- tolleranza verticale sulla posizione della gabbia: $\pm$ 50 mm rispetto al quota teorica verticale.

Art. 6 Pali di fondazione

6.1 Generalità

Il presente articolo si applica a tutte le opere fondazionali e opere di sostegno definitive e provvisionali costituite da pali e micropali.
I pali sono distinti, con riferimento alle loro dimensioni, in micropali, pali di medio e grande diametro.
Nel presente documento si utilizza la seguente classificazione:

- micropali D < 300 mm
- pali di medio diametro: 300 mm ≤ D ≤ 600 mm
- pali di grande diametro: D > 600 mm

Si precisa che per le modalità di gestione dei materiali di risulta, derivanti dalla realizzazione delle opere di cui alla presente sezione in qualità di sottoprodotti e/o in qualità di rifiuti, si rimanda ai documenti specialistici di riferimento (progetto e documenti contrattuali) nonché a quanto disciplinato dalla normativa ambientale vigente (D.lgs. 152/06 e s.m.i., D.P.R. 13 giugno 2017, n.120, D.M. 05/02/98 e s.m.i., D.M. 27/09/2010 aggiornato con il D.M. 24/06/2015, etc.).
In base alle modalità realizzative, si distinguono:

- Pali infissi gettati in opera: pali realizzati riempiendo con calcestruzzo lo spazio interno vuoto di un elemento metallico di forma tubolare, la cui penetrazione nel terreno avviene mediante battitura o per vibrazione, senza asportazione del terreno medesimo.
  I pali infissi gettati in opera si distinguono in:
  - pali con rivestimento definitivo in lamiera d'acciaio, corrugata o liscia, chiusi alla base con un fondello d'acciaio. I pali vengono realizzati infiggendo per battitura il rivestimento tubolare. Dopo l'infissione e la eventuale ispezione interna del rivestimento, il palo viene completato riempiendo il cavo del rivestimento con calcestruzzo armato o non armato;
  - pali realizzati tramite infissione nel terreno di un tubo-forma estraibile, in genere chiuso alla base da un fondello a perdere. Terminata l'infissione, il palo viene armato con gabbia in acciaio e completato con getto di calcestruzzo, con o senza la formazione di un bulbo espanso di base. Durante il getto, il tubo-forma viene estratto dal terreno.
- Pali infissi prefabbricati: pali realizzati mediante battitura di manufatti, senza asportazione di terreno, ed eventualmente con l'ausilio di un getto d'acqua in pressione che fuoriesce dalla punta attraverso un foro centrale longitudinale. A seconda che i pali siano prefabbricati in stabilimento od in cantiere, saranno adottate le seguenti tipologie costruttive:
  - pali prefabbricati in stabilimento: in calcestruzzo centrifugato ed eventualmente precompresso, di norma a sezione circolare, di forma cilindrica, tronco-conica o cilindro-tronco-conica;
  - pali prefabbricati in cantiere: in calcestruzzo vibrato, di norma a sezione quadrata.
- Pali trivellati: I pali trivellati sono costruiti in opera, eseguendo il getto di calcestruzzo all'interno di un foro, dopo l'introduzione di una gabbia di armatura, quando prevista. Si differenziano essenzialmente per i metodi di perforazione, sostegno delle pareti e getto del calcestruzzo:
  - Pali trivellati tradizionali: Si definiscono pali trivellati tradizionali quelli ottenuti per asportazione del terreno e sua sostituzione con calcestruzzo armato. Durante la perforazione la stabilità dello scavo può essere garantita con l'ausilio di fanghi stabilizzanti ovvero tramite l'infissione di un rivestimento metallico provvisorio.

- Pali trivellati ad elica continua: Si definiscono pali trivellati ad elica continua i pali realizzati mediante infissione per roto-traslazione di una trivella ad elica continua e successivo getto di calcestruzzo, fatto risalire dalla base del palo attraverso il tubo convogliatore interno all'anima dell'elica, con portate e pressioni controllate. L'estrazione dell'elica avviene contemporaneamente alla immissione del calcestruzzo. L'eventuale gabbia di armatura viene posta in opera una volta completato il getto di calcestruzzo.
- Pali a totale spostamento di terreno: essi sfruttano una particolare metodologia di esecuzione del palo di fondazione in cui l'avanzamento dell'utensile comprime il terreno lateralmente riducendo notevolmente il materiale di risulta della perforazione.

- Micropali a iniezione ad alta pressione multipla selettiva: micropali realizzati attrezzando perforazioni di piccolo diametro, armatati con tubi metallici dotati di valvole di non ritorno, connessi al terreno circostante mediante iniezioni cementizie eseguite a pressione e volumi controllati.
- Micropali a semplice cementazione: micropali realizzati inserendo entro una perforazione di piccolo diametro un'armatura metallica e solidarizzati mediante il getto di una malta o di una miscela cementizia.

6.1.1 Documentazione di riferimento

I pali saranno realizzati in accordo alle norme di legge, istruzioni, raccomandazioni e normative tecniche applicabili, nonché a tutte quelle indicate nel presente documento e negli articoli di Capitolato richiamati nel testo.
In ogni caso viene considerata valida l'edizione della norma vigente al momento del ritiro dei documenti di gara, nonché l'eventuale aggiornamento intercorso a valle di questo purché concordato tra le parti; in caso di discordanza tra diverse norme, vale l'interpretazione più favorevole alla Committente.

6.1.1.1 Normativa nazionale

- D.M. Infrastrutture 17 gennaio 2018 "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni"
- Circolare 21 gennaio 2019, n.7 C.S.LL.PP. Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018

6.1.1.2 Raccomandazioni

- UNI EN 1990:2006 "Eurocodice - Criteri generali di progettazione strutturale"
- UNI EN 1997-2:2007 "Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica - Parte 2: Indagini e prove nel sottosuolo
- UNI EN 1536: "Esecuzione di lavori geotecnici speciali – Pali trivellati"
- UNI EN 10025-1: "Prodotti laminati a caldo di acciai per impieghi strutturali - Parte 1: Condizioni tecniche generali di fornitura"
- UNI EN 10025-2: "Prodotti laminati a caldo di acciai per impieghi strutturali - Parte 2: Condizioni tecniche di fornitura di acciai non legati per impieghi strutturali"
- UNI EN 10080: "Acciaio d'armatura per calcestruzzo - Acciaio d'armatura saldabile – Generalità"
- UNI EN 10210-1: "Profilati cavi finiti a caldo di acciai non legati e a grano fine per impieghi strutturali - Parte 1: Condizioni tecniche di fornitura"

- UNI EN 10210-2: "Profilati cavi finiti a caldo di acciai non legati e a grano fine per impieghi strutturali - Parte 2: Tolleranze, dimensioni e caratteristiche del profilo"
- UNI EN 10219-1: "Profilati cavi saldati formati a freddo per impieghi strutturali di acciai non legati e a grano fine - Parte 1: Condizioni tecniche di fornitura"
- UNI EN 10219-2: "Profilati cavi saldati formati a freddo per impieghi strutturali di acciai non legati e a grano fine – Parte 2: Tolleranze, dimensioni e caratteristiche del profilo"
- UNI EN 12699: "Esecuzione di lavori geotecnici speciali – Pali eseguiti con spostamento del terreno"
- UNI EN 12794: "Prodotti prefabbricati di calcestruzzo - Pali da fondazione"
- UNI EN 14199: "Esecuzione di lavori geotecnici speciali – Micropali"
- UNI EN 16228 Attrezzature per perforazioni e fondazioni – Sicurezza
- UNI EN 10034 Travi ad I e H di acciaio per impieghi strutturali. Tolleranze dimensionali e di forma.
- UNI EN 10255 Tubi di acciaio non legato adatti alla saldatura e alla filettatura - Condizioni tecniche di fornitura
- ASTM D4945 Standard test method for high-strain dynamic testing of piles.
- UNI EN 197-1 Cemento - Parte 1: Composizione, specificazioni e criteri di conformità per cementi comuni
- UNI EN 206 Calcestruzzo: Specificazione, prestazione, produzione e conformità

6.1.2 Soggezioni geotecniche e idrogeologiche ed ambientali generali

L'esecuzione dei pali presuppone da parte dell'Appaltatore la conoscenza, oltre che delle prescrizioni di Progetto circa le caratteristiche degli elementi, anche delle informazioni inerenti il contesto stratigrafico e le condizioni idrogeologiche del sottosuolo interessato dalla realizzazione dei pali.

In particolare l'Appaltatore dovrà valutare con attenzione i seguenti particolari aspetti:

- presenza di strati altamente permeabili (D10>4 mm),
- presenza di terreni coesivi soffici che possono essere causa di instabilità dello scavo,
- presenza di strati di materiale duro o roccia, di massi rocciosi, che possono essere causa di difficoltà di attraversamento e richiedono l'uso di utensili speciali,
- presenza di livelli piezometrici artesiani,
- chimica dei materiali da attraversare e dell'acqua di falda, con presenza di componenti che possono avere effetti negativi sui materiali utilizzati nelle varie fasi di costruzione del palo.

Dove sono previste condizioni di stretta interferenza con strutture confinanti alla zona di costruzione, si presuppone da parte dell'Appaltatore la conoscenza dello stato in essere. In particolare, esiste l'obbligo per l'Appaltatore di verifica e collaborazione nella realizzazione di tutte le opere di presidio dando luogo alla preparazione dei piani di lavoro tali da garantire la corretta esecuzione dei lavori in condizioni di sicurezza, al fine di evitare possibili danni a cose o persone.

I sottoservizi, sottostrutture tubazioni e cavi elettrici, eventualmente presenti nel volume di terreno interessato dagli scavi, dovranno essere preventivamente individuati e deviati in modo da evitare che risultino danneggiati, o provochino danni, a seguito delle lavorazioni ovvero durante le stesse.

In presenza di terreni superficiali instabili (per esempio zone di riporto) o nelle zone di risanamento preventivo dalle strutture interrate esistenti demolite, dovranno essere realizzate tutte le azioni preventive per la protezione del tratto di scavo instabile.

In tutte le fasi esecutive, comprese le fasi di preparazione e di sistemazione finale dell'area, per gli aspetti e le problematiche relative a temi ambientali, quali impatti acustici e vibrazionali, emissioni in atmosfera, impatto sulle acque superficiali, sotterranee e sul suolo, impatti sulla componente fauna e vegetazione, si rimanda integralmente a quanto prescritto dalla Normativa Nazionale e Regionale vigente, alle prescrizioni degli Enti preposti alla tutela ambientale, nonché alle condizioni ambientali contenute nelle autorizzazioni ed alle disposizioni del Capitolato Ambientale e Piano di Gestione Terre/Piano di Utilizzo allegati al progetto esecutivo.
Inoltre durante le lavorazioni dovrà essere posta attenzione a:

- lavorazioni in adiacenza a strade aperte al traffico o edifici abitati che dovranno essere eseguite con tutte le segnalazioni e le precauzioni idonee ad evitare danni a persone o cose;
- lavorazioni in adiacenza a linee elettriche aeree in esercizio, che dovranno svolgersi nel rispetto delle distanze prescritte.
- lavorazioni in adiacenza di linee ferroviarie.

6.1.3 Dossier di prequalifica

L'Appaltatore almeno 15 giorni prima di eseguire qualsiasi lavorazione, deve trasmettere alla Direzione Lavori per approvazione, un dossier di prequalifica contenete:

- La relazione tecnico esecutiva dei contenuti di cui al § 6.1.3.1;
- Il patentino degli operatori per perforatori piccolo-grande diametro che saranno impegnati nelle lavorazioni.
- Pianta della palificata di cui ai § 6.2.5, 6.3.4, 6.4.4

Inoltre l'Appaltatore deve aver concluso positivamente l'iter di qualifica dei materiali utilizzati per la realizzazione dei pali e nello specifico del conglomerato cementizio secondo i contenuti dell'art. 20 di questo capitolato e dell'armatura secondo l'art. 24.

6.1.3.1 Contenuti della relazione tecnico esecutiva dei pali

La relazione tecnico-esecutiva deve contenere l'elenco e la descrizione delle caratteristiche tecniche delle attrezzature, delle apparecchiature, e delle macchine operatrici che si intendono utilizzare nella realizzazione dei pali, con indicate nel dettaglio le modalità di esecuzione in funzione della tecnologia adottata, tenendo conto delle risultanze delle indagini geognostiche, delle prove in situ e del cronoprogramma di progetto:
A titolo esemplificativo e non esaustivo, nella relazione tecnico-esecutiva dovranno essere indicati, a seconda del tipo di realizzazione, anche le seguenti caratteristiche:
pali infissi (impiego di battipalo):

- energia massima di un colpo;
- peso del battipalo;
- n. di colpi al minuto;
- efficienza del battipalo;
- caratteristiche del "cuscino" (materiale, dimensioni, proprietà elastiche)
- caratteristiche della "cuffia"
- caratteristiche degli eventuali adattatori;

per i pali trivellati:

- caratteristiche, potenza, coppia e forza di trazione delle macchine operatrici;
- specifiche tecniche delle attrezzature di perforazione;

- specifiche tecniche delle attrezzature di perforazione da adottare nel caso di trovanti lapidei o attraversamento di situazioni stratigrafiche che prevedono presenza di roccia;
- necessità di interventi per sostenere le pareti del foro (fanghi bentonici, polimeri, lamierino metallico, ecc. ecc.)
- programma con indicazione della cronologia esecutiva ed una stima delle produzioni attese;
- programma di prove tecnologiche e/o su pali di progetto;

6.1.4 Prove preliminari

6.1.4.1 Prove tecnologiche

L'Appaltatore può, a sua cura e spese, eseguire, prima di dare corso ai lavori, un adeguato numero di "pali di prova delle tecnologie esecutive" a dimostrazione dell'efficacia e adeguatezza dei macchinari e delle attrezzature scelti. Il Direttore dei Lavori, visti i documenti di qualifica e le peculiarità del contesto stratigrafico, a suo insindacabile giudizio può disporne la realizzazione sempre a cura ed onere dell'Appaltatore. In ogni caso l'Appaltatore resta responsabile dell'efficacia dei propri mezzi anche in mancanza della realizzazione di detti pali prova.
I pali di prova dovranno essere eseguiti alla presenza della Direzione Lavori in aree rappresentative dal punto di vista stratigrafico e idrogeologico, prossime a quelle dei pali di progetto.
In ogni caso dovranno essere seguite le prescrizioni della Direzione Lavori, cui spetta l'approvazione delle modalità esecutive.
Qualora l'Appaltatore proponga durante il corso dei lavori di variare le modalità esecutive già inizialmente sperimentate ed approvate, se richiesto dalla Direzione Lavori, dovrà ripetere le prove tecnologiche sopra descritte ed ottenere nuovamente l'approvazione.
Ciò premesso, va inteso che le prove tecnologiche sono totalmente a carico dell'Appaltatore.

6.1.4.2 Prove di progetto

La Direzione Lavori, sentito il Progettista, potrà disporre l'esecuzione di "prove di progetto" su "pali pilota" appositamente realizzati per la determinazione della resistenza del singolo palo nei confronti dei carichi assiali, ai sensi del D.M. 17/01/2018 (cap.6.4.3.7.1) a carico della Committente.
I "pali pilota" devono essere identici, per geometria e tecnologia esecutiva, a quelli da realizzare e ad essi sufficientemente vicini, vale a dire in zone adeguatamente rappresentative dal punto di vista stratigrafico e idrogeologico. Se si esegue una sola prova di progetto, questa deve essere ubicata dove le condizioni del terreno sono più sfavorevoli.
L'intervallo di tempo intercorrente tra la costruzione del palo pilota e l'inizio della prova di carico deve essere sufficiente a garantire che il materiale di cui è costituito il palo sviluppi la resistenza richiesta e che le pressioni interstiziali nel terreno si riportino ai valori iniziali.
Le prove di progetto potranno essere:

- prove di carico statico
- prove dinamiche ad alto livello di deformazione

Le prove di carico statico devono essere spinte fino a valori del carico assiale tali da portare a rottura il complesso palo-terreno, o comunque tali da consentire di ricavare significativi diagrammi dei cedimenti della testa del palo in funzione dei carichi e dei tempi, in modo da poter stimare la resistenza del palo (carico limite).
Il sistema di contrasto deve essere dimensionato per consentire un valore del carico di prova non inferiore a 2,5 volte l'azione di progetto utilizzata per le verifiche agli SLE.
La resistenza del complesso palo-terreno è assunta pari al valore del carico applicato corrispondente ad un cedimento della testa pari al 10% del diametro nel caso di pali di piccolo e medio diametro (d < 80 cm), non inferiori al 5% del diametro nel caso di pali di grande diametro (d≥80 cm)

Per i pali di grande diametro si può ricorrere a prove statiche eseguite su pali aventi la stessa lunghezza dei pali da realizzare, ma diametro inferiore, purché tali prove siano adeguatamente motivate ed interpretate al fine di fornire indicazioni utili per i pali da realizzare. In ogni caso, la riduzione del diametro non può essere superiore al 50% e tale da restituire un palo ancora di grande diametro (d>80 cm); il palo di prova deve essere opportunamente strumentato per consentire il rilievo separato delle curve di mobilitazione della resistenza laterale e della resistenza alla base. In ogni caso l'Appaltatore dovrà seguire le indicazioni fornite dalla Direzione Lavori.
Gli oneri per l'esecuzione delle prove di progetto ordinate dalla Direzione Lavori verranno compensate all'Appaltatore.

6.1.5 Preparazione del piano di lavoro

Il piano di lavoro dovrà avere adeguate caratteristiche di portanza e capacità drenante, in modo tale da garantire le condizioni di sicurezza per la movimentazione e per le operazioni a cui sono adibite le attrezzature utilizzate per le lavorazioni in oggetto.
Se richiesto dalla Direzione Lavori, l'Appaltatore dovrà produrre le verifiche delle condizioni di stabilità delle macchine operatrici che andranno eseguite prendendo a riferimento la parametrizzazione geotecnica di progetto, il peso delle macchine operatrici e le condizioni più sfavorevoli di lavoro.
Per pali in alveo in presenza di battente d'acqua fluente, l'Appaltatore predisporrà la fondazione di un piano di lavoro a quota sufficientemente elevata rispetto a quella dell'acqua per renderlo transitabile ai mezzi semoventi portanti le attrezzature di infissione o di perforazione e relativi accessori e di tutte le altre attrezzature di cantiere.

6.2 Pali infissi prefabbricati

6.2.1 Definizione

Appartengono a questa categoria i pali infissi, prefabbricati in c.a. o c.a.p. o in acciaio, costituiti da elementi a sezione circolare o poligonale, variabile o non, pieni o cavi internamente, di norma di forma cilindrica o tronco conica.
A seconda che i pali siano prefabbricati in stabilimento od in cantiere, saranno adottate le seguenti tipologie costruttive:

- pali prefabbricati in stabilimento: in calcestruzzo centrifugato ed eventualmente precompresso, di norma a sezione circolare, di forma cilindrica, tronco-conica o cilindro-tronco-conica.
- pali prefabbricati in cantiere: in calcestruzzo vibrato, di norma a sezione quadrata.

6.2.2 Soggezioni geotecniche e ambientali specifiche

L'adozione dei pali infissi prefabbricati è condizionata da una serie di fattori ambientali e geotecnici; quelli che meritano particolare attenzione sono:

- disturbi alle persone provocati dalle vibrazioni e dai rumori causati dall'infissione dei pali (norme UNI 9614 e ISO 2631);
- danni che l'installazione dei pali può arrecare alle opere vicine a causa delle vibrazioni, degli spostamenti orizzontali e/o verticali del terreno, provocati durante l'infissione (norme UNI 9916 e ISO 4866)
- danni che l'infissione dei pali può causare ai pali adiacenti;
- condizioni stratigrafiche del sottosuolo interessate dall'infissione dei pali.

Durante l'infissione dei pali prova la Direzione Lavori potrà richiedere misure vibrazionali di controllo per accertare che l'installazione dei pali infissi non danneggi le proprietà vicine.

Qualora nel corso delle misure vibrazionali fossero superati i limiti di accettabilità previsti dalle norme, l'Appaltatore dovrà sottoporre all'approvazione della Direzione Lavori i provvedimenti che intende adottare. È altresì richiesta la presentazione di un programma di lavori in cui sia dettagliatamente esplicitata la successione cronologica di installazione di ciascun palo, anche al fine di fornire adeguata informazione al territorio.

6.2.3 Caratteristiche dei materiali

I pali in c.a. saranno realizzati fuori opera con conglomerato cementizio avente caratteristiche individuate dal progettista in merito a:

- diametro massimo degli aggregati;
- valore per la classe di resistenza del calcestruzzo indurito;
- valore per la di classe di consistenza del calcestruzzo fresco;
- classe di esposizione.

La prequalifica, la qualifica e i controlli delle miscele cementizie dei pali devono essere conformi a quanto indicato nell'art. 20 di questo capitolato e costruiti in accordo con la Norma UNI EN 12794 e dovranno raggiungere caratteristiche di resistenza alla compressione e all'urto tali da permetterne l'infissione nelle condizioni stratigrafiche del sito senza lesioni e rotture. Nel caso di palificate da realizzare in ambienti aggressivi, qualora non previsto dal progetto, dovranno essere adottati opportuni accorgimenti, tra i quali la definizione di un idoneo mix-design del cls e/o l'incremento del copriferro; altri accorgimenti, quali ad esempio vernici protettive, rivestimenti autoprotetti per proteggere la superficie esterna del palo, dovranno essere sottoposti all'approvazione preliminare della Direzione Lavori.
Le armature metalliche dovranno soddisfare le prescrizioni dell'art. 24 di questo capitolato, tenendo conto delle sollecitazioni cui i pali saranno sottoposti durante il trasporto, il sollevamento e le successive fasi di infissione e di esercizio. L'estremità inferiore del palo sarà protetta e rinforzata da piastre o puntazze metalliche la cui configurazione dipenderà dalla natura e dalle caratteristiche dei terreni del sottosuolo. A titolo d'esempio, nei terreni non particolarmente compatti, la puntazza metallica sarà formata da un cono di lamiera con angolo al vertice di 60°, resa solidale al fusto del palo tramite spezzoni di tondino saldati alla puntazza ed annegati nel calcestruzzo. In presenza di terreni particolarmente compatti e presenza di livelli rocciosi, l'Appaltatore dovrà prevedere un rinforzo appropriato per la puntazza, tipo un massello di ghisa o sostituita con uno spezzone di profilato metallico tipo HEA o similare.
In caso di infissione per battitura la testa del palo dovrà essere opportunamente conformata ed eventualmente rinforzata con elementi metallici in grado di ripartire uniformemente nel calcestruzzo le tensioni dovute all' impatto.
È preferibile l'utilizzo di pali non giuntati, qualora il palo avesse una lunghezza superiore a 12 m, è ammesso il ricorso alla giunzione di elementi di palo attigui.
Se non diversamente previsto nella documentazione progettuale, il giunto deve essere costituito da un anello di acciaio con armatura longitudinale, solidale con ciascuno degli spezzoni di palo da unire; gli anelli devono essere saldati fra loro e protetti con vernici bituminose o epossidiche.
Le giunzioni di collegamento dovranno garantire le condizioni di continuità strutturale e in grado di assicurare un livello di durabilità equivalente.

Tali attributi dovranno essere supportati, oltre che da opportuna documentazione tecnica di calcolo, da prove sperimentali in scala reale eseguite presso laboratori certificati e approvati dalla Direzione Lavori.

Ogni partita di pali dovrà essere accompagnata da un attestato di conformità, in accordo con il regolamento (UE) 305/2011 e Dlgs 106/2017, attestante la resistenza caratteristica del conglomerato cementizio impiegato, la distribuzione delle armature, la data di getto. La Direzione Lavori ha la facoltà di fare eseguire prove di controllo della geometria del fusto e delle armature e delle caratteristiche di resistenza dei materiali impiegati.
Per quanto riguarda i pali in acciaio, il materiale utilizzato dovrà rispondere ai criteri specificati nel presente Capitolato Speciale.
L'acciaio dovrà essere saldabile, non legato a grano fine in conformità con le norme UNI EN 10210.
Non dovranno essere utilizzati tubi spiralati.
Per un tubo formato da più elementi le eventuali saldature longitudinali dovranno essere sfalsate di 90°, inoltre tutte le saldature circonferenziali dovranno essere controllate e certificate mediante:

- ispezione visive,
- controlli radiografici (raggi X o gamma), in accordo con le norme UNI EN 17638 e UNI EN ISO 23278:2015
- controlli mediante liquidi penetranti- filtranti, in accordo con le norme UNI EN ISO 23277:2015.

Per le saldature valgono comunque le prescrizioni elencate nella norma UNI EN 15609, UNI EN ISO 5817 e UNI EN ISO 9692, riassunte nella seguente tabella:

SALDATURA						CONTROLLI		
Tipo di giunzione	Tipo di saldatura	Preparazione giunzione	Tipo di elettrodo	Tipo di processo (EN ISO 4063)	Saldatura	Classe di accettazione difetti	Tipo di test	Estensione
giunto di testa-A	UNI EN ISO 9692	UNI EN ISO 9692	EN499	111 114 12 131 135 136	UNI EN 15609	D	osservazione	100%
Giunto di sovrapposizione-A	UNI EN ISO 9692	UNI EN ISO 9692				D	osservazione	100%
giunto di testa- B	UNI EN ISO 9692	UNI EN ISO 9692				D	osservazione	100%
giunto di sovrapposizione-B	UNI EN ISO 9692	UNI EN ISO 9692				D	osservazione	100%
A) per giunzioni strutturali								
B) per giunzioni non strutturali								

In caso di infissione per battitura, il tubo potrà eventualmente contenere una zona di rinforzo in corrispondenza della testa per assicurare un'idonea ripartizione del carico trasmesso dalla cuffia del battipalo o, nel caso di battitura sul fondo, dovrà essere dotato di un particolare spessore e fondello nella zona di contatto con il mandrino di prolunga.
In questo ultimo caso dovranno essere effettuati opportuni trattamenti termici per evitare fenomeni di fragilità nelle zone di saldatura fra il tappo di fondo e l'elemento tubolare.
Per quanto riguarda le tolleranze dimensionali dei tubi valgono le seguenti prescrizioni:

- Tolleranza sul diametro esterno = +0.3% / -0.75% dello spessore nominale e, comunque, con l'ulteriore condizione sulle estremità pari a +2.4 mm / - 0.8 mm.
- Tolleranza sull'ovalizzazione = la differenza fra diametro maggiore esterno e diametro minore esterno dovrà essere inferiore all'1% del diametro nominale esterno.
- Spessore = le differenze dovranno essere comprese fra +15% e -12,5%.

- Rettilineità = La deviazione della linea retta dovrà essere inferiore od uguale allo 0.1% della lunghezza del tubo. La misura della deviazione sarà fatta tirando un nastro od una fune fra le due estremità del tubo, e misurando la deviazione massima del tubo dalla retta; la rettilineità delle barre dovrà essere verificata in almeno due piani ortogonali fra di loro.

6.2.4 Tolleranze geometriche

Saranno accettate le seguenti tolleranze sull'assetto geometrico del palo:
sulla lunghezza: uguale a ± 1%;
- sul perimetro: uguale a ± 2%;
- deviazione dell'asse del palo rispetto all'asse di Progetto: ≤3%;
- errore rispetto alla posizione planimetrica: ±0.1 m in tutte le direzioni.

L'Appaltatore è tenuto ad eseguire a suo esclusivo onere e spesa, tutte le opere sostitutive e/o complementari che a giudizio della Direzione Lavori si rendessero necessarie per ovviare all'esecuzione di pali in posizione e/o con dimensioni non conformi alle tolleranze qui stabilite, compresi pali aggiuntivi ed opere di collegamento.

6.2.5 Tracciamento

Prima di iniziare l'infissione si dovrà, a cura e spese dell'Appaltatore, indicare sul terreno la posizione dei pali mediante appositi picchetti sistemati in corrispondenza dell'asse di ciascun palo. Su ciascun picchetto dovrà essere riportato il numero progressivo del palo quale risulta dalla pianta della palificata.
L'Appaltatore dovrà presentare:

- una pianta della palificata con la posizione planimetrica di tutti i pali, inclusi quelli di prova contrassegnati con numero progressivo;
- un programma cronologico di infissione elaborato in modo da minimizzare gli effetti negativi dell'infissione stessa sulle opere vicine e sui pali già installati.

6.2.6 Infissione

Le attrezzature impiegate dovranno essere conformi alle norme UNI EN 16228;
L'installazione del palo potrà avvenire per battitura, vibrazione o per una combinazione dei due sistemi.
I tipi di battipalo impiegati per l'infissione dei pali sono i seguenti:

- battipalo a vapore ad azione singola;
- battipalo a vapore a doppia azione;
- battipalo diesel;
- battipalo idraulico;

6.2.6.1 Infissione per battitura

L'Appaltatore dovrà fornire tutte le informazioni concernenti il sistema di infissione che intende utilizzare:

- marca e tipo di battipalo;
- principio di funzionamento del battipalo;
- energia massima di un colpo e relativa possibilità di regolazione;
- numero dei colpi al minuto e relativa possibilità di regolazione;

- efficienza del battipalo;
- caratteristiche del cuscino (materiale, diametro, altezza), la sua costante elastica e il suo coefficiente di restituzione;
- peso della cuffia;
- peso degli eventuali adattatori;
- peso del battipalo.

I criteri di battitura e gli elementi che ne influenzano il processo dovranno essere preventivamente definiti in modo che non si generino nei pali tensioni superiori a quelle ammissibili.
L' Appaltatore dovrà dimostrare tale presupposto con i metodi di calcolo noti nella letteratura tecnica (equazione dell'onda d' urto).
Qualora le condizioni del sito fossero tali da render incerta la valutazione, per via teorica, delle sollecitazioni indotte, la Direzione Lavori, nell'ambito delle prove tecnologiche preliminari, potrà richiedere che le prove di battitura siano eseguite in presenza di dispositivi di monitoraggio dinamico.

Le misure dinamiche sui pali in fase di battitura verranno eseguite, secondo le modalità descritte nella norma ASTM D 4945, durante l'intera fase di battitura di tutti i pali del campo prova.
Le misure dinamiche verranno interpretate dallo stesso specialista che esegue le misure mediante il risolutore dell'equazione d'onda CAPWAP (Holloway, 1978) o altro metodo simile, preventivamente approvato dal progettista.
Durante la battitura dovranno essere sempre verificate le seguenti condizioni di tensione massima nei materiali:

- Sforzo di compressione, nei pali prefabbricati in c.a/c.a.p. (inclusa la precompressione): $\leq$ 0.8 x Rck ove: Rck = resistenza caratteristica del calcestruzzo al momento dell'installazione.
- Sforzo di trazione, nei pali prefabbricati in c.a/c.a.p: $\leq$ (0.8 x Fyk - Rp) ove: Fyk = resistenza caratteristica a snervamento delle armature, Rp = sforzo generato dalla precompressione
- Sforzo di trazione/compressione, nei pali in acciaio: $\leq$ 0.9 x Fyk ove: Fyk = resistenza caratteristica a snervamento dell'acciaio

Particolare attenzione dovrà essere posta nell' attivazione di elevati sforzi di trazione nel passaggio da uno strato di elevata compattezza ad uno strato di particolare deformabilità.

6.2.6.2 Infissione per vibrazione

L'Appaltatore dovrà fornire tutte le informazioni concernenti il sistema di vibrazione che intende utilizzare:

- peso della morsa vibrante;
- ampiezza e frequenza del vibratore.

La forza centrifuga e l'ampiezza del vibratore dovranno essere scelte in funzione del palo, del terreno e delle condizioni al contorno quali la presenza di strutture. In prossimità di strutture sensibili, e' obbligatorio l'impiego di vibratori ad alte frequenze (> 2000 vpm o 33 Hz) e dotati di sistemi anti-risonanti per la fase di avvio e di arresto delle masse eccentriche.

6.2.6.3 Aspetti generali d'installazione

Prima di essere infisso, il fusto del palo dovrà essere suddiviso in tratti di 0,25 m, contrassegnati con vernice di colore contrastante rispetto a quello del palo.
Gli ultimi 2,0 m - 4,0 m del palo dovranno essere suddivisi in tratti da 0,1 m, onde rendere più precisa la rilevazione dei rifiuti nella parte terminale della battitura.
L'arresto della battitura del palo potrà avvenire solo dopo aver raggiunto:

A) la lunghezza minima di Progetto;
B) il rifiuto minimo specificato.
Precisazioni dettagliate concernenti il punto B) saranno fornite all'Appaltatore dalla Direzione Lavori, note le caratteristiche del sistema d'infissione.
Nei casi in cui fosse evidenziata l'impossibilità di raggiungere le quote minime di Progetto dovranno essere raccolti tutti gli elementi conoscitivi che consentano la definizione alla Direzione Lavori degli eventuali adeguamenti alle modalità operative e/o al Progettista delle eventuali variazioni progettuali.
In condizioni geotecniche particolari la Direzione Lavori può richiedere la ribattitura di una parte dei pali già infissi per un tratto in genere non inferiore a 0,3÷0,5 m.
In questo caso si dovranno rilevare i "rifiuti" per ogni 0,1 m di penetrazione, evidenziando in modo chiaro nei rapporti di cantiere che si tratta di ribattitura.
In caso di "rifiuto" anticipato rispetto alle condizioni di Progetto, sono eventualmente ammessi metodi ausiliari di installazione del palo, da concordare preventivamente con la DL, quali:

- perforazione di fori di alleggerimento,
- iniezioni di acqua ad alta energia per strati granulari addensati e compatti,
- predemolizione con esplosivo,
- perforazione in avanzamento,

purché tali metodi non influenzino negativamente la capacità portante del palo e producano effetti sulla stabilità di terreni e conseguenze sulle strutture in più immediata adiacenza.
Nel caso di strati granulari addensati, l'utilizzo di iniezioni d'acqua per agevolare l'infissione, occorre verificare che la discesa del palo avvenga sempre per peso proprio o con l'ausilio di una modesta battitura. Le iniezioni d'acqua devono essere interrotte non appena superato lo strato granulare e comunque non oltre 2 m prima del raggiungimento della quota di progetto. In ogni caso le modalità, le pressioni e la portata del getto d'acqua vanno comunicate preventivamente alla DL.
Nel caso fosse necessaria l'esecuzione di prefori, al fine di ridurre le vibrazioni, la sezione del preforo deve essere caratterizzata da un diametro inferiore di almeno 25 mm alla minima sezione del palo. Il preforo non deve raggiungere lo strato portante, se presente nelle condizioni stratigrafiche, e deve avere una estensione in profondità non superiore al 70% della lunghezza del palo di progetto.
L'infissione dei pali verrà arrestata quando verrà raggiunta la quota di progetto, oppure allorchè si registri il raggiungimento del rifiuto alla battitura, vale a dire quando l'infissione, corrispondente a 10 colpi di battipalo efficiente, è inferiore a 20mm. In quest'ultimo caso, la DL ha facoltà di chiedere all'Appaltatore la ribattitura del palo dopo 24 ore di attesa, per tratti anche superiori a 0,5 m, se motivata da ragioni geotecniche particolari (es. forti sovrappressioni interstiziali generate dalle attività di battitura).

6.2.7 Controlli e documentazione lavori

L'infissione di ogni singolo palo dovrà comportare la registrazione su apposita scheda, compilata dall'Appaltatore in contraddittorio con la Direzione Lavori, dei seguenti dati:

- identificazione del palo;
- data di costruzione del palo;
- data di infissione;
- caratteristiche del sistema di infissione;
- velocità di avanzamento/colpi maglio ogni 0,10 m negli ultimi 1,0 m - 2,0 m e ogni 1,0 m nel tratto precedente;
- profondità raggiunta;

- profondità di Progetto;
- rifiuti di eventuale ribattitura.

Tale scheda dovrà essere riportata su apposito modello che dovrà essere trasmesso dall'Appaltatore alla Direzione Lavori.
Qualora prevista il monitoraggio dinamico di battitura, dovranno essere resi disponibili diagrammi riportanti le grandezze rilevate ed interpretate in funzione della profondità e in funzione del tempo.
La scheda di ciascun palo dovrà inoltre contenere i dati relativi all' effettivo posizionamento plano-altimetrico della testa del palo e, qualora richiesto in Progetto, la misura della deviazione dalla verticale effettuata con strumento topografico od inclinometrico approvato dalla Direzione Lavori.

6.3 Pali battuti o roto-infissi, gettati in opera

6.3.1 Definizione

Si tratta di pali in c.a. realizzati, con minima o senza asportazione di terreno, previa installazione di un tuboforma – cilindrico liscio o corrugato o ad elica cava - provvisorio o permanente costituito da un tubo metallico di adeguato spessore chiuso inferiormente da un tappo provvisorio o non.
Completata l'infissione del tubo forma, dopo aver installato la gabbia d'armatura si procede al getto del conglomerato cementizio estraendo contemporaneamente, se previsto, il tuboforma.
La gabbia d'armatura potrà essere installata preventivamente o successivamente alla formazione del fusto in calcestruzzo.
Il tappo di fondo potrà essere in acciaio o in conglomerato cementizio realizzato forzando, mediante battitura, il conglomerato cementizio contro le pareti del tubo forma e contro il terreno alla base.
L'adozione della tipologia di esecuzione sarà conforme a quanto esposto in Progetto.

6.3.2 Soggezioni geotecniche e ambientali specifiche

L'adozione dei pali infissi prefabbricati è condizionata da una serie di fattori ambientali e geotecnici; quelli che meritano particolare attenzione sono:

- disturbi alle persone provocati dalle vibrazioni e dai rumori causati dall'infissione dei pali (norme UNI9614 e ISO 2631);
- danni che l'installazione dei pali può arrecare alle opere vicine a causa delle vibrazioni, degli spostamenti orizzontali e/o verticali del terreno, provocati durante l'infissione (norme UNI9916 e ISO4866)
- danni che l'infissione dei pali può causare ai pali adiacenti;
- Condizioni stratigrafiche favorevoli alla tecnologia.

Durante l'infissione dei pali prova la Direzione Lavori potrà richiedere misure vibrazionali di controllo per accertare che l'installazione dei pali infissi non danneggi le proprietà vicine.
Qualora nel corso delle misure vibrazionali risultassero superati i limiti di accettabilità previsti dalle norme, l'Appaltatore dovrà sottoporre all'approvazione della Direzione Lavori i provvedimenti che intende adottare. È altresì richiesta la presentazione di un programma di lavori in cui sia dettagliatamente esplicitata la successione cronologica di installazione di ciascun palo, anche al fine di fornire adeguata informazione al territorio.

6.3.3 Tolleranze geometriche

Saranno accettate le seguenti tolleranze sull'assetto geometrico del palo:

- sulla lunghezza: uguale a ± 0.5%;
- deviazione dell'asse del palo rispetto all'asse di Progetto: <3%;

- deviazione rispetto alla posizione planimetrica: ±0.1 m in tutte le direzioni.
- Deviazione sulla dimensione della sezione retta: ±1 mm in tutte le direzioni

Inoltre la sezione dell'armatura metallica non dovrà risultare inferiore a quella di Progetto.
L'Appaltatore è tenuto ad eseguire a sua esclusiva cura e spese tutte le opere sostitutive e/o complementari che a giudizio della Direzione Lavori si rendessero necessarie per ovviare all'esecuzione di pali in posizione e/o con dimensioni non conformi alle tolleranze qui stabilite, compresi pali aggiuntivi ed opere di collegamento.

6.3.4 Tracciamento

Prima di iniziare l'infissione si dovrà, a cura ed onere dell'Appaltatore, indicare sul terreno la posizione dei pali mediante appositi picchetti sistemati in corrispondenza dell'asse di ciascun palo; su ciascun picchetto dovrà essere riportato il numero progressivo del palo quale risulta dalla pianta della palificata.
L'Appaltatore, oltre che nella relazione tecnico-operativa dovrà presentare su apposita rappresentazione planimetrica la posizione di tutti i pali inclusi quelli di prova contrassegnati con numero progressivo; il programma cronologico di infissione, contenuto nella relazione tecnico-operativa, elaborato in modo da minimizzare gli effetti negativi dell'infissione stessa sulle opere vicine e sui pali già installati.

6.3.5 Installazione del tubo forma

L' installazione del tubo forma potrà avvenire mediante battitura, vibro-infissione o roto-infissione.
Le attrezzature impiegate dovranno essere conformi alle norme della serie UNI EN 16228.

6.3.5.1 Infissione con Battipalo

I tipi di battipalo impiegabili per l'infissione dei pali sono i seguenti:

- battipalo diesel;
- battipalo idraulico;

L'infissione può avvenire battendo il tuboforma in sommità oppure sul fondo; in questo ultimo caso essa avverrà attraverso un mandrino rigido. Il tappo di fondo potrà essere di conglomerato cementizio a consistenza appena umida, di ghiaia o metallico.
L'Appaltatore dovrà fornire le seguenti informazioni concernenti il sistema d'infissione che intende utilizzare:

- marca e tipo del battipalo;
- principio di funzionamento del battipalo;
- energia massima di un colpo e relativa possibilità di regolazione;
- numero di colpi al minuto e relativa possibilità di regolazione;
- efficienza del battipalo;
- caratteristiche del cuscino (materiale, diametro, altezza), la sua costante elastica ed il suo coefficiente di restituzione;
- peso della cuffia;
- peso degli eventuali adattatori;
- peso del battipalo.

Prima di essere infisso, il tuboforma dovrà essere suddiviso in tratti di 0,25 m, contrassegnati con vernice.

In contraddittorio con la DL, sarà eseguito e registrato il conteggio dei colpi d'avanzamento, nello specifico nel corso dell'infissione verrà conteggiato il numero di colpi per avanzamenti di 1 m;
Gli ultimi 4,0 m del turbo-forma dovranno essere suddivisi in tratti da 0,1 m; negli ultimi 4,0m è richiesto che venga eseguito e registrato il conteggio dei colpi d'avanzamento di 0.10 cm, per rendere più precisa la rilevazione dei rifiuti nella parte terminale della battitura.
L'infissione del rivestimento verrà arrestata quando verrà raggiunta la quota di progetto, oppure allorchè si registri il raggiungimento del rifiuto alla battitura, vale a dire quando l'infissione, corrispondente a 10 colpi di battipalo efficiente, è inferiore a 20mm, fatte salve precisazioni più dettagliate fornite all'Appaltatore dalla Direzione Lavori.

Nei casi in cui fosse evidenziata l'impossibilità di raggiungere le quote minime di Progetto dovranno essere raccolti tutti gli elementi conoscitivi che consentano la definizione degli eventuali adeguamenti alle modalità operative alla Direzione Lavori e/o delle eventuali variazioni progettuali da parte del Progettista.
La DL ha facoltà di chiedere all'Appaltatore la ribattitura del palo dopo 24 ore di attesa, per tratti anche superiori a 0,5 m, se motivata da ragioni geotecniche particolari (es. forti sovrappressioni interstiziali generate dalle attività di battitura).

In questo caso si dovranno rilevare i "rifiuti" per ogni 0,1 m di penetrazione, evidenziando in modo chiaro nei rapporti che si tratta di ribattitura.

6.3.5.2 Roto-infissione del tubo forma

Le attrezzature impiegate dovranno essere fornite di sufficiente coppia torcente e spinta in modo assicurare un processo di installazione del tubo forma continuo, senza interruzioni.
Nel caso che il tubo forma abbia geometria variabile con la lunghezza, tale per cui la sezione prevalente del tubo risulta essere inferiore rispetto a quella dell'utensile di avanzamento, nella parte inferiore esso dovrà essere dotato di un utensile di opportuna conformazione, in grado di esercitare una azione di compattazione sulla superficie laterale del fusto durante la sua fase di estrazione.

6.3.6 Formazione del fusto del palo

Durante l'installazione e nella eventuale successiva fase di estrazione non dovrà in alcun modo verificarsi l'entrata di acqua all' interno del tubo forma.
Nel caso di pali eseguiti con tuboforma temporaneo, nessun nuovo palo potrà essere eseguito ad una distanza inferiore a sei diametri (da centro a centro) dal palo appena completato, sino a che quest'ultimo non avrà raggiunto una sufficiente resistenza. In assenza di riscontri effettivi sui tempi di presa del calcestruzzo si dovrà assumere un tempo minino di attesa di 24 ore.
Nel caso di terreni coesivi soffici con una coesione non drenata inferiore a 50 kPa, la distanza minima sopra indicata (da centro a centro) dovrà essere aumentata secondo quanto mostrato in tabella:

Cu (kPa)	**Distanza Minima (m)**
50	6
40	7
30	8
20	9.5
15	10

6.3.6.1 Pali con formazione del fusto con conglomerato cementizio costipato

Ultimata l'infissione del tubo forma si provvederà, se previsto in Progetto, all'espulsione del tappo ed alla formazione del bulbo di base, forzando mediante battitura il conglomerato cementizio nel terreno ed evitando nel modo più assoluto l'ingresso di acqua e/o terreno nel tuboforma.
Per la formazione del bulbo di base si adotterà un conglomerato cementizio delle caratteristiche indicate dal progettista e in conformità all'art. 20 di questo capitolato:
Il getto del fusto del palo si effettuerà evitando segregazioni ed in totale assenza di acqua, introducendo dall'alto piccole quantità di conglomerato cementizio da costiparsi via via per battitura o a pressione.
Dopo aver formato il bulbo, la formazione del fusto avverrà con modalità di posa del calcestruzzo analoghe, ma energie minori di costipamento.
Tale metodologia di formazione del fusto non è ammessa allorché:
- è previsto il tuboforma permanente;
- il terreno circostante il palo sia argilloso non saturo;
- il terreno circostante sia così deformabile da provocare la deformazione della gabbia di armatura durante il costipamento del conglomerato cementizio.

Contemporaneamente alle operazioni di getto del conglomerato cementizio si procederà, se previsto, all'estrazione del tubo forma controllando di mantenere comunque un dislivello minimo tra conglomerato cementizio all'interno del palo e la scarpa del tubo forma tale da evitare l'entrata dell'acqua e/o terreno circostante.
Per una corretta e sistematica identificazione del livello del conglomerato cementizio, il cavo di sostegno del mandrino/massa battente dovrà essere munito di opportuni e frequenti contrassegni.
In ogni caso l'Appaltatore dovrà fornire prima di iniziare i lavori una dettagliata descrizione delle modalità di getto che si impegna a adottare.

6.3.6.2 Pali con formazione del fusto con conglomerato cementizio colato

Le caratteristiche della miscela di conglomerato cementizio sono individuate dal progettista in merito a:

- diametro massimo degli aggregati;
- valore per la classe di resistenza del calcestruzzo indurito;
- valore per la di classe di consistenza del calcestruzzo fresco;
- classe di esposizione.

La prequalifica, la qualifica e i controlli delle miscele cementizie dei pali devono essere conformi a quanto indicato nell'art. 20 di questo capitolato.
Il calcestruzzo verrà posto in opera mediante tubo di convogliamento con tramoggia o direttamente dal cavo interno del tubo forma sempre mediante tramoggia o pompa da calcestruzzo.
Nel caso di calcestruzzo pompato dal cavo interno del tubo forma, l'alimentazione di calcestruzzo dovrà essere controllata in termini di volume gettato (mediante flussimetro o sensore volumetrico alla pompa) e di pressione del fluido all' interno del tubo stesso mediante sensori di pressione.
Qualora il tubo forma abbia funzione temporanea e venga estratto, durante la fase di getto dovranno verificarsi le seguenti condizioni:

- nel caso di utilizzo di un tubo convogliatore, la base di quest' ultimo dovrà risultare ad una quota inferiore al tubo forma di almeno un metro, mentre il livello del calcestruzzo dovrà sempre essere più alto di almeno tre metri rispetto alla scarpa inferiore del tubo forma.

- nel caso di calcestruzzo pompato, che il volume effettivo di getto progressivo e puntuale risulta essere sempre superiore al valore teorico e che la pressione di alimentazione risulti essere sempre positiva.

6.3.6.3 Posa in opera delle armature

Le armature metalliche dovranno soddisfare le prescrizioni dell'art. 24 del presente Capitolato Speciale, ed essere conformi al Progetto.
Le armature verranno pre-assemblate fuori opera in "gabbie"; i collegamenti saranno ottenuti con doppia legatura in filo di ferro oppure mediante punti di saldatura elettrica. Le gabbie di armatura saranno dotate di opportuni distanziatori non metallici atti a garantire la centratura dell'armatura ed un copriferro netto minimo di:

- 40 mm con tubo forma permanente
- 50 mm con tubo forma temporaneo
- 75 mm con classe di esposizione pari a 5 secondo le norme ENV206 o quando le gabbie sono installate dopo la posa del calcestruzzo.

Si richiede l'adozione di rotelle cilindriche in conglomerato cementizio con perno in tondino fissato ai ferri verticali contigui.
I centratori saranno posti a gruppi di 3-4 regolarmente distribuiti sul perimetro e con spaziatura verticale di 3,0 - 4,0 m.
Si ammette la distribuzione delle barre verticali su doppio strato; l'intervallo netto minimo tra barra e barra, misurato lungo la circonferenza che ne unisce i centri, non dovrà in alcun caso essere inferiore a:

- 80 mm con aggregati inferiori o uguali a 20 mm
- 100 mm con aggregati di diametro superiore.

Le gabbie di armatura dovranno essere perfettamente pulite ed esenti da ruggine, messe in opera prima dell'inizio del getto e mantenute in posto sostenendole dall'alto, evitando in ogni caso di appoggiarle sul conglomerato cementizio già in opera o sul fondo del foro. La posa della gabbia all'interno del tubo forma potrà aver luogo solo dopo aver accertato l'assenza dell'acqua e/o terreno all'interno dello stesso.
Qualora all'interno del tuboforma si dovesse riscontrare la presenza di terreno soffice o di infiltrazioni di acqua, la costruzione del palo dovrà essere interrotta previo riempimento con conglomerato cementizio magro; tale palo sarà successivamente sostituito, a spese dell'Appaltatore, da uno o due pali supplementari, sentito il Progettista. L'Appaltatore dovrà inoltre adottare gli opportuni provvedimenti atti a ridurre la deformazione della gabbia durante l'esecuzione del fusto; a getto terminato si dovrà comunque registrare la variazione della quota della testa dei ferri di armatura.

6.3.7 Controlli e documentazione dei lavori

Si dovrà provvedere alla esecuzione di una serie di prove di carico a rottura su cubetti di conglomerato cementizio in modo conforme a quanto prescritto nell'art. 20 di questo Capitolato Speciale ed alle preventive richieste della Direzione Lavori.
L'esecuzione di ogni singolo palo sarà documentata mediante la compilazione da parte dell'Appaltatore di una apposita scheda sulla quale si registreranno i dati seguenti:

- identificazione del palo;
- geometria della cassaforma;
- tipo di tappo impiegato;
- caratteristiche del sistema di infissione;
- rifiuto ogni 0,1 m negli ultimi 1 m - 2 m e per ogni metro nel tratto precedente;

- rifiuti di eventuale ribattitura;
- data del getto;
- quantità di conglomerato cementizio posta in opera nella formazione dell'eventuale bulbo e del fusto; limitatamente ai pali eseguiti con conglomerato cementizio costipato si provvederà, nell'ambito dei primi 10 pali e in seguito un palo ogni 20 eseguiti, al rilievo degli assorbimenti parziali ogni 1,0 m;
- misura dell'abbassamento al cono di Abrams ("slump"), rapporto acqua-cemento;
- lunghezza totale del palo: quote fondo e testa palo;
- geometria della gabbia d'armatura;
- registrazione delle eventuali misure vibrazionali.

Nel caso di getto mediante pompa attraverso il cavo interno del tuboforma dovrà essere fornito un diagramma di getto riportante i parametri di getto (portata, volume puntuale di getto e cumulativo e pressione) in funzione della profondità del palo.

6.4 Pali trivellati di medio e grande diametro

6.4.1 Definizione

Si definiscono pali trivellati quelli ottenuti per asportazione del terreno e sua sostituzione con conglomerato cementizio armato mediante perforazione a rotazione o rotopercussione, eseguiti in materiali di qualsiasi natura e consistenza (inclusi murature, calcestruzzi, trovanti e roccia dura), anche in presenza di acqua e/o in alveo con acqua fluente. Durante la perforazione la stabilità dello scavo può essere garantita dall'ausilio di fanghi stabilizzanti, oppure tramite l'infissione di un rivestimento metallico provvisorio.

Si definiscono pali trivellati ad elica continua, i pali realizzati mediante infissione per roto-traslazione di una asta ad elica continua, in cui la stabilità del foro è assicurata dal terreno stesso contenuto fra le spire dell'utensile. La successiva immissione di calcestruzzo avviene attraverso il cavo interno dell'elica, con portate e pressioni controllate contemporaneamente all'estrazione dell'utensile. L'eventuale gabbia di armatura viene posta in opera a getto di calcestruzzo completato.

6.4.2 Soggezioni geotecniche, idrogeologiche ed ambientali specifiche

Le tecniche di perforazione devono essere le più adatte in relazione alla natura del terreno attraversato; in particolare:

- la perforazione "a secco" senza rivestimento è ammessa solo in terreni uniformemente argillosi e per terreni fortemente cementati, dove può essere eseguita senza alcun ingresso di acqua nel foro.
- la perforazione a fango non è consigliabile in terreni molto aperti senza frazioni medio-fini (passante D=4mm inferiore al 10%). Durante la perforazione occorrerà tener conto della esigenza di non peggiorare le caratteristiche meccaniche del terreno circostante il palo; dovranno quindi essere minimizzati:
- il rammollimento degli strati coesivi;
- la diminuzione di densità relativa degli strati incoerenti;
- la diminuzione delle tensioni orizzontali efficaci proprie dello stato naturale;
- la riduzione dell'aderenza palo-terreno causata da un improprio impiego di fanghi.

La scelta delle attrezzature di perforazione ed i principali dettagli esecutivi dovranno essere messi a punto, a cura e spese dell'Appaltatore, mediante l'esecuzione di perforazioni di prova (prove tecnologiche preliminari), approvate dalla Direzione Lavori prima dell'inizio della costruzione dei pali di Progetto.

Durante la realizzazione dei pali prova, la Direzione Lavori potrà richiedere misure vibrazionali di controllo per accertare che l'installazione dei pali infissi non danneggi le proprietà vicine.
Qualora nel corso delle misure vibrazionali fossero superati i limiti di accettabilità previsti dalle norme, l'Appaltatore dovrà sottoporre all'approvazione della Direzione Lavori i provvedimenti che intende adottare. È altresì richiesta la presentazione di un programma di lavori in cui sia dettagliatamente esplicitata la successione cronologica di installazione di ciascun palo, anche al fine di fornire adeguata informazione al territorio.

L'Appaltatore avrà cura di non provocare inquinamenti di superficie o della falda per incontrollate discariche dei detriti e/o dei fanghi bentonitici provenienti dagli scavi; il materiale di risulta dagli scavi dovrà essere sistematicamente gestito secondo le previsioni di progetto ed in caso di riutilizzo occorre prevedere la caratterizzazione di cui al capitolato ambientale e PdU e la classificazione secondo le indicazioni di cui all'art. 1 di questo capitolato.
I fanghi bentonitici devono sempre essere raccolti e trattati come rifiuto al termine dei lavori, secondo quanto previsto al successivo § 6.4.5.4 e dalla legislazione Nazionale e Regionale vigente, dalle prescrizioni degli Enti preposti alla tutela ambientale, nonché dalle condizioni ambientali contenute nelle autorizzazioni e dalle disposizioni del Capitolato Ambientale allegato al progetto esecutivo.

6.4.3 Tolleranze geometriche

Saranno accettate le seguenti tolleranze sull'assetto geometrico del palo:

- sulla lunghezza: uguale a ± 1%;
- deviazione dell'asse del palo rispetto all'asse di Progetto: <2%;
- errore rispetto alla posizione planimetrica:
  $\pm$0.1 m in tutte le direzioni con D $\leq$ 1.0 m
  $\pm$10%D in tutte le direzioni con < 1.0 m D $\leq$ 1.5 m
  $\pm$0.15 m in tutte le direzioni con D > 1.5 m

Si osservi che per la definizione delle tolleranze geometriche, si assume che alla testa il centro del palo corrisponda al centro geometrico delle armature longitudinali o, qualora il palo non sia armato, al centro del cerchio che circoscrive completamente la sezione effettiva del palo.
Le tolleranze sul diametro nominale D, verificate in base ai volumi di conglomerato cementizio assorbito rilevate con la frequenza indicata successivamente sono le seguenti:

- per ciascun palo, in base all'assorbimento complessivo, si ammette uno scostamento dal diametro nominale compreso tra «-0,01D» e «+0,1D»;
- per ciascuna sezione dei pali sottoposti a misure dell'assorbimento dose per dose, si ammette uno scostamento dal diametro nominale compreso tra «-0,01D» e «+0,1D».

L'Appaltatore è tenuto ad eseguire a suo esclusivo onere e spesa tutte le opere sostitutive e/o complementari che a giudizio della Direzione Lavori si rendessero necessarie per ovviare all'esecuzione di pali in posizione e/o con dimensioni non conformi alle tolleranze qui stabilite, compresi pali aggiuntivi ed opere di collegamento.

6.4.4 Tracciamento

Prima di iniziare la perforazione, a cura e spese dell'Appaltatore si dovrà indicare sul terreno la posizione dei pali mediante appositi picchetti sistemati in corrispondenza dell'asse di ciascun palo.
Su ciascun picchetto dovrà essere riportato il numero progressivo del palo quale risulta dalla pianta della palificata.

Tale pianta, redatta e presentata alla Direzione Lavori dall'Appaltatore, dovrà indicare la posizione di tutti i pali, inclusi quelli di prova contrassegnati con numero progressivo.
In corrispondenza di ciascun palo sarà posto in opera un avampozzo provvisorio di lamiera d'acciaio con funzioni di guida dell'utensile, di riferimento per la posizione planoaltimetrica della sommità del palo e di difesa dall'erosione del terreno ad opera del liquido eventualmente presente nel foro.
Esternamente all'avampozzo saranno installati riferimenti atti a permettere il controllo della sua posizione planimetrica durante la perforazione.

6.4.5 Perforazione

6.4.5.1 Attrezzature

Il tipo, la potenza e la capacità operativa delle attrezzature dovranno in ogni caso essere adeguate alla consistenza del terreno da attraversare, alle caratteristiche e dimensioni dei pali da eseguire nei tempi previsti.
Le attrezzature impiegate dovranno essere conformi alle norme della serie UN EN 16228.
L'attrezzatura di scavo dovrà essere dotata di opportuni sistemi meccanici e/o elettronici per il controllo della profondità di scavo.
Per la verifica e la registrazione della deviazione dello scavo è richiesta la misura mediante inclinometri biassiali montati sull'utensile di scavo o su apposito testimone calato nello scavo ultimato o, in alternativa, mediante sistemi basati sul metodo di "eco-scandaglio" delle pareti del foro.

6.4.5.2 Perforazione a secco senza rivestimento

Può esser effettuata esclusivamente nei terreni coesivi di media o elevata consistenza non fessurati, esenti da intercalazioni incoerenti e non interessati da falde che possano causare ingresso di acqua nel foro con trascinamento di materiale e franamenti.
A titolo puramente indicativo, la perforazione a "secco" può essere impiegata nel caso di terreni argillosi caratterizzati da valori della coesione non drenata (cu) che alla generica profondità di scavo (H) soddisfino la seguente condizione:
$cu \geq \gamma H/3$
in cui γ = peso dell'unità di volume del terreno.

6.4.5.3 Perforazione con impiego di tubazione di rivestimento provvisoria

La tubazione sarà costituita da tubi di acciaio, di diametro esterno pari al diametro nominale del palo, suddivisi in spezzoni lunghi 2,0÷2,5 m connessi tra loro mediante manicotti esterni filettati o innesti speciali a baionetta, con risalti interni raccordati di spessore non superiore al 2% del diametro nominale.
L'infissione della tubazione di rivestimento sarà ottenuta, imprimendole un movimento rototraslatorio mediante la testa di rotazione dotata di opportuno adattatore, da una morsa azionata da comandi oleodinamici, oppure applicandole in sommità un vibratore di adeguata potenza.
In questo secondo caso la tubazione potrà essere suddivisa in spezzoni più lunghi di 2,50 m o anche essere costituita da un unico pezzo di lunghezza pari alla profondità del palo.
L'infissione con vibratore sarà adottata in terreni poco o mediamente addensati, privi di elementi grossolani e prevalentemente non coesivi.
È ammessa la giunzione per saldatura degli spezzoni purché non risultino varchi nel tubo che possano dar luogo all'ingresso di terreno.
La perforazione all'interno dei tubi di rivestimento potrà essere eseguita mediante:
- benna automatica con comando a fune o azionata oleodinamicamente;
- secchione (bucket) manovrato da un'asta rigida o telescopica;

ed in entrambi i casi si dovrà conseguire la disgregazione del terreno e la estrazione dei detriti dal foro.
In terreni sabbiosi si potrà fare ricorso anche ad utensili disgregatori rotanti con risalita dei detriti per trascinamento ad opera di una corrente ascendente di acqua.
Nel caso di presenza di falda, il foro dovrà essere costantemente tenuto pieno d'acqua (o eventualmente di fango bentonitico), con un livello non inferiore a quello della piezometrica della falda.
In generale la perforazione non dovrà essere approfondita al disotto della scarpa del tubo di rivestimento.

6.4.5.4 Perforazione in presenza di fanghi

I fanghi utilizzati nella realizzazione di perfori per l'esecuzione di pali trivellati dovranno essere preparati, trattati e controllati seguendo le modalità descritte nel seguente § 6.4.5.4.1.
La perforazione sarà eseguita mediante "Bucket" azionato da asta rigida o telescopica oppure mediante benna dotata di virola superiore di centramento e guida.
In entrambi i casi il corpo dell'utensile dovrà lasciare uno spazio anulare tra esso e la parete del foro di ampiezza sufficiente ad evitare "effetti pistone" allorché l'utensile viene sollevato.
Gli utensili di perforazione dovranno avere conformazione tale da non lasciare sul fondo del foro detriti smossi o zone di terreno rimaneggiato.
Il Bucket dovrà essere provvisto delle aperture per la fuoriuscita del fango all'atto dell'estrazione.
Il livello del fango nel foro dovrà essere in ogni caso più alto della massima quota piezometrica delle falde presenti nel terreno lungo la perforazione.
Il franco dovrà risultare di norma non inferiore a 1,00 m e non dovrà scendere al di sotto di 0,70 m all'atto dell'estrazione dell'utensile dal foro;
Per assicurare sempre un'opportuna condizione di carico idraulico ed un opportuno polmone di fluido e la stabilità superficiale, l'avampozzo dovrà avere un'altezza superiore al carico idraulico richiesto e una profondità di immorsamento non inferiore a 3 m.
La distanza minima fra due perforazioni attigue in corso, appena ultimate o in corso di getto, dovrà essere tale da impedire pericolosi fenomeni di interazione e comunque non inferiore ai 5 diametri (da centro a centro).
L'impianto di preparazione e stoccaggio dei fanghi di stabilizzazione, dovrà essere dimensionato in modo tale da assicurare una quantità di fango disponibile non inferiore al volume totale del palo di maggiori dimensioni previste nel Progetto, in modo da garantire una sufficiente alimentazione in caso di perdita improvvisa del fango all'interno dello scavo.
Qualora non fosse possibile ripristinare il livello con opportuni volumi di fango, l'Appaltatore dovrà sempre prevedere di riempire lo scavo con materiale stabile e riscavabile (magrone o similare).
Al termine della perforazione si dovrà procedere alla pulizia dei detriti rimasti sul fondo e alla parziale o totale sostituzione del fango presente nel pannello al fine di riportarlo alle caratteristiche richieste per l'esecuzione del getto, come indicato all'articolo specifico. I controlli del fango prima del getto dovranno essere eseguiti a più livelli (con la quota più profonda a 50 cm dal fondo).
Le operazioni dovranno essere programmate e condotte in modo da evitare interazioni pregiudizievoli alla buona riuscita del lavoro tra elementi in corso di esecuzione o appena ultimati.
Qualora in fase di completamento della perforazione fosse accertata l'impossibilità di eseguire rapidamente il getto (sosta notturna, mancato trasporto del conglomerato cementizio ecc.), sarà necessario interrompere la perforazione alcuni metri prima ed ultimarla solo nell'imminenza del getto.
Al termine delle attività di esecuzione dei pali i fanghi devono essere gestiti come rifiuto.

6.4.5.4.1 Fanghi per la realizzazione di perfori di pali trivellati

Con la finalità di garantire il sostegno e la stabilità delle pareti dello scavo, durante l'esecuzione dei diaframmi/pali l'Esecutrice dovrà, se previsto dal Progetto oppure se si rendesse necessario a seguito delle evidenze delle prove tecnologiche (§6.4.2), utilizzare fluidi di supporto ottenuti miscelando, fino ad avere una soluzione finemente dispersa, i seguenti componenti:

- acqua;
- bentonite in polvere, fanghi polimerici o fanghi polimerici biodegradabili
- additivi eventuali (disperdenti, sali tampone, ecc.).

L'Appaltatore dovrà presentare alla DL uno studio preliminare in cui siano dettagliatamente specificate le caratteristiche dei materiali da utilizzare, i corretti dosaggi e le metodologie di utilizzo. Le sospensioni devono soddisfare i requisiti di accettazione previsti nella norma EN 1538 e EN 1536. Resta inteso che l'utilizzo di fanghi deve tenere conto delle prescrizioni ambientali previste nel progetto o richieste dagli Enti coinvolti nel singolo progetto.

6.4.5.4.2 Normative di Riferimento

- API American Petroleum Institute – Spec 13 A Specification for Oil-Well Drilling Fluid Materials
- API American Petroleum Institute – Spec RP 13 B Standard Procedure for Field Testing drilling Fluids

6.4.5.4.3 Materiali

Fermo restando le prescrizioni ambientali previste nel progetto o richieste dagli Enti coinvolti nel singolo progetto, viene lasciata all' Appaltatore la facoltà di scelta del prodotto in funzione della metodologia di scavo e delle attrezzature disponibili. La scelta del tipo di fango avverrà anche in funzione delle caratteristiche chimico-fisiche del terreno di scavo e dell'acqua di falda. Per fango polimerico biodegradabile si intende un fluido di perforazione ad alta viscosità che muta spontaneamente le proprie caratteristiche nel tempo, riassumendo dopo pochi giorni le caratteristiche di viscosità proprie dell'acqua. Per la produzione dei fanghi biodegradabili si utilizzeranno di norma prodotti a base di polisaccaridi vegetali, biopolimeri. Si sconsiglia l'impiego dei poliacrilammidi di sintesi se non per casi particolari. Si riportano nella seguente tabella 1 i parametri caratteristici di riferimento di una bentonite da utilizzare nella preparazione di un fango di stabilizzazione:

residui al passante di 63μm	< 4%
tenore di umidità:	< 15%
Limite di liquidità:	> 300
viscosità 1500÷1000 MARSH della sospensione al 6% in acqua distillata:	> 40s
decantazione della sospensione al 6% in 24 h:	< 2%
Acqua "libera" separata per pressofiltrazione di 450 cm³ della sospensione al 6% in 30 min alla pressione di 0,7 MPa:	< 18 cm³
pH dell'acqua filtrata:	> 7 < 9
spessore del pannello di fango "cake" sul filtro della filtro pressa:	2,5 mm

Tabella 1

6.4.5.4.4 Controlli sui fanghi

Per il controllo della qualità del fango si eseguiranno, a cura e spese dell'Impresa a mezzo di Laboratorio di cantiere, determinazioni sistematiche delle seguenti caratteristiche i cui certificati o report devono essere trasmessi alla Direzione Lavori:

a) peso di volume;
b) viscosità MARSH;

c) contenuto in sabbia;

ripetendo le misure con la frequenza e le modalità di prelievo sotto indicate.

Fanghi freschi maturati (determinazione delle caratteristiche a e b):

- prelievo nella vasca di maturazione con frequenza quotidiana, per ogni impianto di preparazione fanghi.

Fanghi in uso, nel corso della escavazione (determinazione della caratteristica a):

- prelievo entro il cavo, mediante campionatore, alla profondità sovrastante di 50 cm quella raggiunta dall'escavazione al momento del prelievo, con frequenza di un prelievo per ogni elemento (palo) al termine dell'attraversamento degli strati più sabbiosi o al termine delle operazioni di scavo

Fanghi prima dell'inizio del getto del conglomerato cementizio (determinazione delle caratteristiche a e c):

- prelievo mediante campionatore, alla profondità di 80 cm sopra il fondo dello scavo con frequenza di prelievo per ogni elemento da eseguire dopo che le armature metalliche ed il tubo di convogliamento sono già stati posti in opera.

In assenza di condizioni particolarmente sfavorevoli la sospensione deve garantire il rispetto delle caratteristiche riportate nella tabella seguente.

PROPRIETA'	STADI		
	Fanghi freschi maturati	Fanghi in uso, nel corso della escavazione	Fanghi prima dell'inizio del getto del conglomerato cementizio
Densità in g/ml	< 1,10	<1.25	<1.15
Valore Marsh in sec	da 32 a 50	da 32 a 60	da 32 a 50
Contenuto in sabbia in %	n.a.*	n.a.*	<4
Strato di fango dovuto alla filtrazione (filtercake) in mm	<3	<6	n.a*

* n.a.: non applicabile

In condizioni stratigrafiche e idrogeologiche avverse caratterizzate, per esempio, da terreni ad alta permeabilità, dalla presenza di cavità, da flussi idrici abbondanti o da alti livelli piezometrici, è possibile derogare ai valori limite riportati nella tabella precedente, purché venga sottoposta alla Direzione Lavori per approvazione una relazione tecnica contenente le caratteristiche della sospensione che si intende utilizzare.

La Direzione lavori potrà richiedere ulteriori controlli delle caratteristiche dei fanghi impiegati, in particolare nella fase iniziale di messa a punto delle lavorazioni.
Inoltre, per i fanghi polimerici biodegradabili dovrà essere eseguita la prova di decadimento all'avvio dell'impianto.
L'Appaltatore dovrà disporre in cantiere di una adeguata attrezzatura di laboratorio per il controllo del peso specifico o di volume, della viscosità, del contenuto in sabbia, del pH, dell'acqua libera, e dello spessore del "cake"; mentre per la constatazione delle seguenti caratteristiche:

- residui al setaccio n. 38 della serie UNI n.2331 - 2332;
- tenore di umidità;
- limite di liquidità;
- decantazione della sospensione al 6%.

6.4.5.5 Perforazione con elica continua

Si utilizzerà un'elica continua cilindrica, gradualmente infissa nel terreno con moto rotatorio, fino alla profondità della base del palo. I detriti verranno in parte portati a giorno dalla rotazione dell'elica, in parte vi aderiscono e saranno estratti insieme ad essa alla fine della perforazione. Nei terreni più deformabili parte del volume corrispondente al palo è assorbita dalle deformazioni radiali del terreno. Una "puntazza" temporanea dovrà essere a tenuta al fine di evitare la risalita di materiale e acqua all' interno della parte cava dell'asta.
La perforazione dovrà essere condotta con la massima velocità di avanzamento e minimizzando il numero di rotazioni effettuata dall'elica.
Durante la fase di avanzamento si dovrà sempre garantire la presenza di materiale fra le spire dell'elica, in grado di assicurare la stabilità del foro e che il materiale estratto non sia superiore al volume teorico del foro.
In presenza di materiale instabile avente uno spessore superiore al diametro del palo, la fattibilità del metodo dovrà essere dimostrata alla Direzione Lavori con prove preliminari o con esperienze eseguite in terreni simili. Si definisce come terreno instabile, un materiale avente le seguenti caratteristiche:

- Terreno granulare con un coefficiente di uniformità (D60/D10) < 1.5 sottofalda,
- Terreno granulare con densità relativa Dr inferiore al 30 %,
- Argille sensitive,
- Terreni coesivi con coesione non drenata Cu < 15 kPa.

Durante la perforazione non è ammessa nessuna estrazione parziale dell'utensile e nessuna contro-rotazione; nel caso dovesse verificarsi tale eventualità l'esecuzione del palo dovrà essere sospesa e la cavità riempita con calcestruzzo magro. Tutti gli oneri di rifacimento del palo e conseguenti oneri di riadattamento delle opere di fondazione saranno a carico dell'Appaltatore.
Durante la perforazione è richiesta la registrazione in continuo e la relativa elaborazione grafica:

- della velocità di perforazione verticale,
- della velocità di rotazione delle aste ad elica,
- della spinta verticale o bilanciamento,
- della coppia torcente applicata alle aste.

6.4.5.6 Attraversamento di trovanti e/o formazioni rocciose

Nel caso di presenza nel terreno di trovanti lapidei, non estraibili con i normali metodi di scavo, o di strati rocciosi o cementati e per conseguire una adeguata immorsatura del palo nei substrati rocciosi di base, si farà ricorso all'impiego di scalpelli frangiroccia azionati a percussione, di peso e forma adeguati.
L'uso di queste attrezzature dovrà essere frequentemente alternato a quello della benna o del bucket, che hanno il compito di estrarre dal foro i materiali di risulta.
In alternativa, ed in relazione alla natura dei materiali attraversati, potranno essere impiegate speciali attrezzature fresanti a circolazione inversa di fango.

6.4.5.7 Controlli

La Direzione Lavori controllerà in fase di esecuzione del perforo la rispondenza delle stratigrafie di Progetto con quelle effettive.
In presenza di eventuali discordanze o nel caso che alla base del palo si rinvenga un terreno più compressibile e/o molto meno resistente del previsto, o comunque altre anomalie, dovranno essere raccolti tutti gli elementi conoscitivi che consentano alla Direzione Lavori la definizione degli eventuali adeguamenti delle modalità operative e al Progettista le eventuali variazioni progettuali.
Durante la perforazione saranno continuamente condotti i controlli sulla qualità del fango stabilizzante, riportandolo se necessario entro i limiti previsti nello specifico articolo, registrandoli su un opportuno modulo di cantiere.
Alla fine della perforazione si misurerà, in contraddittorio con la Direzione Lavori, la profondità del perforo con uno scandaglio e tramite il sistema di controllo elettronico installato sull'attrezzatura; l'operazione verrà effettuata anche all'inizio ed al termine di eventuali interruzioni prolungate della lavorazione in corrispondenza dei turni di riposo o per altri motivi.
Nel caso di misura delle deviazioni, i dati monitorati dovranno essere restituiti mediante opportuni diagrammi riportanti l'andamento dell'asse palo con la profondità, nelle due direzioni trasversali.
Per i pali ad elica continua, dovranno essere forniti i diagrammi in funzione della profondità e del tempo dei parametri di perforazione.

6.4.6 Armature metalliche

Le armature metalliche dovranno soddisfare le prescrizioni dell'art. 24 del presente Capitolato Speciale ed essere conformi al Progetto.
Le armature verranno pre-assemblate fuori opera in "gabbie"; i collegamenti saranno ottenuti con doppia legatura in filo di ferro oppure mediante punti di saldatura elettrica.
Le armature trasversali dei pali saranno costituite da una spirale in tondino esterna ai ferri longitudinali di diametro minimo pari a 6 mm e ad una distanza pari a quelle delle armature longitudinali.
Le gabbie di armatura saranno dotate di opportuni distanziatori non metallici atti a garantire la centratura dell'armatura ed un copriferro netto minimo (inteso come distanza tra pareti di scavo ed esterno staffa) di:

- 50 mm, se il diametro del palo D $\leq$ 0.60 m
- 60 mm, se D > 0.60 m
- 75 mm con classe di esposizione pari a 5 secondo le norme ENV 206, quando le gabbie sono installate dopo la posa del calcestruzzo, quando il getto avviene le condizioni subacquee.

Le gabbie di armatura saranno dotate di opportuni distanziatori non metallici atti a garantire la centratura dell'armatura ed un copriferro netto minimo (inteso come distanza tra pareti di scavo ed esterno staffa) rispetto alla parete di scavo.
Si richiede l'adozione di rotelle cilindriche in conglomerato cementizio (diametro 12÷15 cm - larghezza > 6 cm) con perno in tondino fissato a due ferri verticali contigui.
I centratori saranno posti a gruppi di 3÷4, regolarmente distribuiti sul perimetro e con spaziatura verticale di 3÷4 m.
Posizioni concentriche, così come indicato dalla UNI EN 1536, di barre longitudinali dovrebbero essere evitate ove possibile. Laddove si utilizzino posizioni concentriche di barre longitudinali si dovrà rispettare quanto segue:

- il massimo numero di posizioni deve essere di due per i pali trivellati circolari;
- le barre delle singole posizioni devono essere posizionate radialmente l'una alle altre;

- la minima distanza libera tra le posizioni di barre deve essere pari alla misura maggiore tra il doppio del diametro della barra longitudinale e le dimensioni dell'aggregato grossolano moltiplicato per 1,5.

L'intervallo netto minimo tra barra e barra, misurato lungo la circonferenza che ne unisce i centri, non dovrà in alcun caso essere inferiore a:

- 80 mm con aggregati inferiori o uguali a 20 mm
- 100 mm con aggregati di diametro superiore.

Le gabbie di armatura dovranno essere perfettamente pulite ed esenti da ruggine, messe in opera prima dell'inizio del getto e mantenute in posto sostenendole dall'alto, evitando in ogni caso di appoggiarle sul conglomerato cementizio già in opera o sul fondo del foro.
In caso di gabbie composte da più elementi verticali, la giunzione verrà realizzata con sovrapposizione o manicotti
Ai fini della esecuzione delle prove geofisiche descritte nel relativo paragrafo, l'Appaltatore dovrà fornire e porre in opera, a sua cura e spese, nel 5% del numero totale di pali trivellati con un minimo di 2 pali, quattro tubi estesi a tutta la lunghezza del palo, solidarizzati alla gabbia di armatura.
La distanza minima fra il fondo dello scavo e la gabbia di armatura dovrà essere pari a 200 mm.
L'impiego di profilati metallici è consentito, purché la configurazione delle armature sia tale da assicurare il completo spiazzamento del fango stabilizzante e che durante il getto si garantisca un continuo immorsamento degli elementi metallici nel calcestruzzo. Tale condizione dovrà essere verificata preventivamente con prove in scala reale che dimostrino, dopo il getto la totale assenza di sacche di fango di perforazione misto a terreno intrappolate nel calcestruzzo in prossimità delle superfici di contatto con l'acciaio.

6.4.6.1 Formazione del fusto del palo

6.4.6.1.1 Preparazione e trasporto del conglomerato cementizio

La prequalifica, la qualifica e i controlli delle miscele cementizie dei pali devono essere conformi a quanto indicato nell'art. 20 di questo capitolato
Il conglomerato cementizio dovrà essere confezionato e trasportato con un ritmo tale da consentire di completare il getto del palo senza soluzione di continuità e nel più breve tempo possibile. In ogni caso ciascun getto dovrà venire alimentato con una cadenza effettiva, inclusi tutti i tempi morti, non inferiore a 15 m³/h per pali di diametro < 800 mm e di 20 m³/h per pali di diametro $\geq$ 800 mm, in ogni caso, con un'interruzione mai superiore ai 20 minuti.
Il getto di un palo dovrà comunque essere completato in un tempo tale che il calcestruzzo rimanga sempre lavorabile. La centrale di confezionamento dovrà quindi consentire l'erogazione nell'unità di tempo di volumi di conglomerato cementizio almeno doppi di quelli teorici richiesti, secondo le prescrizioni di cui al punto seguente.
Per i pali trivellati in presenza di acqua di falda in movimento, potrà essere prevista la posa in opera un in lamierino di adeguato spessore per il contenimento del getto, o appositi presidi in modo da evitare interferenze fra le acque di falda e le operazioni di getto.

6.4.6.1.2 Posa in opera del conglomerato cementizio per pali trivellati

Il getto del conglomerato cementizio avverrà impiegando il tubo di convogliamento.
Esso sarà costituito da sezioni non più lunghe di 2,50 m di un tubo in acciaio avente diametro interno 20 - 25 cm.
L'interno del tubo dovrà essere pulito, privo di irregolarità e strozzature.
Il tubo sarà provvisto, all'estremità superiore, di una tramoggia di carico avente una capacità di 0,4÷0,6 m³ e mantenuto sospeso da un mezzo di sollevamento.

Prima di installare il tubo di convogliamento sarà eseguita una ulteriore misura del fondo foro.
Per pali trivellati in presenza di acqua di falda o impiegando fango bentonitico, il tubo di convogliamento sarà posto in opera arrestando il suo piede a 30÷60 cm dal fondo della perforazione; prima di iniziare il getto si disporrà entro il tubo, in prossimità del suo raccordo con la tramoggia, un tappo formato da una palla di malta plastica oppure da uno strato di 30 cm di spessore di vermiculite granulare o palline di polistirolo galleggianti sul liquido, oppure ancora da un pallone di plastica.
All'inizio del getto si dovrà disporre di un volume di conglomerato cementizio pari a quello del tubo di convogliamento e di almeno 3,0 o 4,0 m di palo.
Il tubo di convogliamento sarà accorciato per tratti successivi nel corso del getto, sempre conservando una immersione minima nel conglomerato cementizio di 2,5 m e massima di 6,0 m.
Per pali trivellati a secco non occorre alcun tappo alla sommità del tubo di getto.
Viene inoltre precisata la necessità assoluta che la scapitozzatura delle teste dei pali sia eseguita sino alla completa eliminazione di tutti i tratti in cui le caratteristiche del palo non rispondono a quelle previste.
In tal caso è onere dell'Appaltatore procedere al ripristino del palo sino alla quota di sottoplinto.

6.4.6.1.3 Posa in opera del conglomerato cementizio per pali trivellati con elica continua

Il calcestruzzo sarà posto in opera pompandolo nell'asta cava dell'elica, mentre essa viene gradualmente sollevata con rotazione minima e senza mai invertirne il senso.
Il calcestruzzo verrà iniettato con una pressione atta al distacco dell'eventuale fondello-puntazza che occlude alla base dell'elica. L'elica verrà quindi progressivamente estratta, nel corso del getto, applicando uno sforzo di trazione sempre leggermente minore del peso dell'elica e sfruttando la controspinta fornita dal calcestruzzo iniettato che tende a risalire dalla base del palo.
La risalita dell'elica sarà quindi concomitante alla salita del cls nel foro. Nel caso di terreni compressibili, si avrà cura di prevenire rotture e allargamenti a bulbo riducendo il peso dell'elica continua tramite un sistema (regolabile) di sospensione elastica della medesima o modificando la pressione di iniezione.
L' alimentazione di calcestruzzo dovrà essere controllata in termini di volume puntuale e progressivo gettato (mediante flussimetro o sensore volumetrico alla pompa) e di pressione del fluido all' interno della tubazione mediante sensori di pressione. È quindi richiesta la registrazione in continuo e la relativa elaborazione grafica della velocità di risalita, della pressione di iniezione e della quantità di cls iniettato.
Viene inoltre precisata la necessità assoluta che la scapitozzatura delle teste dei pali sia eseguita sino alla completa eliminazione di tutti i tratti in cui le caratteristiche del palo non rispondono a quelle previste. In tal caso è onere dell'Appaltatore procedere al ripristino del palo sino alla quota di sottoplinto.

6.4.6.1.4 Condizioni particolari

La quota finale di getto dovrà essere opportunamente incrementata nei casi in cui:

- la quota finale di getto è posta ad una certa profondità dal piano di lavoro,
- il getto avviene in condizione subacquee,
- il getto avviene con recupero di un rivestimento temporaneo.

Quando la quota finale di getto risulta essere inferiore alla quota del piano di lavoro, al termine del getto, la parte di perforazione "a vuoto" dovrà essere riempita con opportuno materiale evitando qualsiasi contaminazione del calcestruzzo gettato con tutti gli accorgimenti necessari ed evitare qualsiasi danneggiamento o movimento della gabbia di armatura.

In presenza di un terreno caratterizzato da un decadimento delle caratteristiche meccaniche nel tempo, nel caso in cui il palo in esecuzione non possa essere completato nel normale turno di lavoro giornaliero, la perforazione eseguita nel giorno successivo per il suo completamento dovrà essere superiore:

- ad almeno due volte il diametro,
- non meno di 1.5 m.

6.4.7 Controlli e documentazione lavori

Si dovrà provvedere al rilievo della quantità di conglomerato cementizio impiegato per ogni palo.
Nei pali trivellati, il rilievo per dose (dose = autobetoniera) dell'assorbimento di conglomerato cementizio e del livello raggiunto dallo stesso entro il foro in corso di getto, sarà fatto impiegando uno scandaglio a base piatta su almeno i primi 10 pali e sul 10% dei pali successivi.
In base a questo rilievo potrà essere ricostituito l'andamento del diametro medio effettivo lungo il palo (profilo di getto).
Nei pali trivellati a elica, per tutti gli elementi realizzati dovranno essere forniti i diagrammi riportanti, in funzione della profondità e del tempo, i parametri operativi di getto:

- velocità di risalita,
- portata,
- pressione,
- volume puntuale unitario di getto (medio su tratto di lunghezza < 25 cm),
- volume cumulativo di getto,

L'esecuzione di ogni singolo palo dovrà comportare la registrazione su apposita scheda, compilata dall'Appaltatore in contraddittorio con la Direzione Lavori, dei seguenti dati:
- identificazione del palo;
- data di inizio perforazione e di fine getto;
- profondità effettiva raggiunta dalla perforazione;
- profondità del fondo foro prima della posa del tubo getto;
- "slumps" del conglomerato cementizio (UNI EN 12350-2);
- assorbimento totale effettivo del conglomerato cementizio e volume teorico del palo;
- "profilo di getto" ove richiesto.

Nella documentazione generale dovrà inoltre comparire:
- una scheda con le caratteristiche delle polveri bentonitiche e relativi additivi eventualmente usati;
- una scheda con le caratteristiche dei componenti del conglomerato cementizio.

Tale scheda dovrà essere riportata su apposito modello che dovrà essere trasmesso dall'Appaltatore alla Direzione Lavori.

6.5 Prove di controllo sui pali

6.5.1 Prove di carico statico in corso d'opera

Le prove di collaudo statico di norma devono essere organizzate per i pali soggetti a carichi assiali (funzione fondazionale). Nel caso di sistemi fondazionali caratterizzati da pali accostati, le condizioni di collaudo (palo singolo caricato) risultano non riprodurre il comportamento reale della palificata: in tale configurazione di sistema fondazionale (pali accostati a ridotta distanza interassiale) si ritiene possibile, sentito il parere del collaudatore, organizzare prove su pali esterni, appositamente realizzati in aree da un punto di vista stratigrafico rappresentative del contesto in cui verranno realizzati i pali di progetto. Nell'interpretazione dei dati di prova, dovrà essere emessa apposita relazione tecnica che partendo dalle evidenze sperimentali contenga un parere motivato del

Progettista e/o di tecnico abilitato in grado di interpretare il comportamento deformativo del palo tenendo in debita considerazione le diverse condizioni al contorno tra palo singolo e palo inserito in una palificata di pali accostati.
Per strutture sollecitate prevalentemente a flessione e taglio (tipo pali di berlinesi e/o paratie), sentito il parere del Progettista, si ritiene possibile non eseguire prove di collaudo statico con carico assiale; resta facoltà del Progettista richiedere prove di carico trasversale, le quali dovranno essere organizzate prevedendo opportuna strumentazione di monitoraggio per facilitare la ricostruzione analitica del comportamento tenso-deformativo del palo.

In ottemperanza al DM17/01/2018 (cap. 6.4.3.7.2), sui pali di fondazione soggetti a carichi assiali devono essere eseguite prove di carico statiche di verifica per controllarne principalmente la corretta esecuzione e il comportamento sotto le azioni di progetto. Tali prove devono pertanto essere spinte ad un carico assiale pari a 1,5 volte l'azione di progetto utilizzata per le verifiche SLE.
In presenza di pali strumentati per il rilievo separato delle curve di mobilitazione delle resistenze lungo la superficie e alla base, il massimo carico assiale di prova può essere posto pari a 1,2 volte l'azione di progetto utilizzata per le verifiche SLE.
Il numero e l'ubicazione delle prove di verifica devono essere stabiliti in base all'importanza dell'opera e al grado di omogeneità del terreno di fondazione; in ogni caso il numero di prove non deve essere inferiore a:

- 1 se il numero di pali è inferiore o uguale a 20,
- 2 se il numero di pali è compreso tra 21 e 50,
- 3 se il numero di pali è compreso tra 51 e 100,
- 4 se il numero di pali è compreso tra 101 e 200,
- 5 se il numero di pali è compreso tra 201 e 500,
- il numero intero più prossimo al valore 5 + n/500, se il numero n di pali è superiore a 500.

Il numero di prove di carico statico può essere ridotto se sono eseguite prove di carico dinamiche "sostitutive", purchè vengano eseguite un numero adeguato di raffronti di taratura tra prove statiche e dinamiche (1 raffronto per 5 prove dinamiche), e siano effettuati controlli non distruttivi su almeno il 50% dei pali, per verificarne lunghezza ed integrità strutturale. In ogni caso, il numero di prove statiche minimo sopra indicato può essere ridotto fino al limite dell'1% del numero totale dei pali realizzati, con un minimo di 2. La scelta dei pali di prova è di competenza della Direzione Lavori, sentito il parere del Collaudatore Statico se già nominato, che dovrà tenere in conto la necessità di testare, per quanto possibile, tutte le diverse situazioni del sottosuolo e dell'entità dei carichi assiali di progetto.
Al momento della prova il calcestruzzo del palo dovrà avere almeno ventotto giorni di stagionatura, o comunque aver raggiunto i valori di resistenza indicati nella progettazione strutturale dei pali, tenendo in debita considerazione gli esiti delle prove preliminari di rottura e le diverse condizioni di temperatura/umidità tra laboratorio e situ.
In ogni caso la Direzione Lavori, con l'assistenza dell'Appaltatore, deve condividere il numero di prove e le modalità di esecuzione con il Collaudatore Statico.

Attrezzatura e dispositivi di prova

Il carico sarà applicato mediante uno o più martinetti idraulici, con corsa 200 mm, posizionati in modo da essere perfettamente centrati rispetto all'asse del palo.

I martinetti saranno azionati da una pompa idraulica esterna. Martinetti e manometro della pompa saranno corredati da un certificato di taratura recente (3 mesi).

Nel caso di impiego di più martinetti occorre che i martinetti abbiano le medesime caratteristiche e che l'alimentazione del circuito idraulico sia unica.

La reazione di contrasto sarà di norma ottenuta tramite una zavorra la cui massa M dovrà essere non inferiore a 1.2 volte la massa equivalente al massimo carico di prova:

$M \geq 1.2\ P_{prova} / g = 0.12\ P_{prova}$

La zavorra sarà sostenuta con una struttura costituita da una trave metallica di adeguata rigidezza sul cui estradosso, tramite una serie di traversi di ripartizione, vanno posizionati blocchi di cls o roccia.

In alternativa la zavorra potrà essere sostituita con:

- pali di contrasto, dimensionati a trazione, collegati ad un dispositivo di contrasto;
- tiranti di ancoraggio collegati ad un dispositivo di contrasto.

In questi casi si avrà cura di ubicare i pali o i bulbi di ancoraggio dei tiranti a sufficiente distanza dal palo di prova (minimo 3 diametri).

L'Impresa, nel caso di prove di carico con pali di contrasto, dovrà redigere un progetto dettagliato delle prove di carico indicando numero, interassi, dimensioni, e lunghezza dei pali.

Qualora sia richiesto l'uso di una centralina oleodinamica preposta a fornire al/ai martinetti la pressione necessaria, questa dovrà essere di tipo sufficientemente automatizzato per poter impostare il carico con la velocità richiesta, variarla in caso di necessità e mantenere costante il carico durante le soste programmate.

Per misurare il carico applicato alla testa del palo si interporrà tra il martinetto di spinta ed il palo una cella di carico del tipo ad estensimetri elettrici di opportuno fondo scala.

Nel caso non fosse disponibile tale tipo di cella, il carico imposto al palo verrà determinato in base alla pressione fornita ai martinetti misurata con un manometro oppure, dove previsto, misurata con continuità da un trasduttore di pressione collegato al sistema di acquisizione automatico e, in parallelo, con un manometro.

Il manometro ed il trasduttore di pressione, se utilizzati, dovranno essere corredati da un rapporto di taratura rilasciato da non più di 3 mesi da un laboratorio ufficiale.

Lo strumento di misura dovrà avere fondo scala e precisione adeguati e non inferiore al 5% del carico applicato per i manometri e del 2% per le celle di carico.

Se viene impiegato soltanto il manometro, il relativo quadrante dovrà avere una scala adeguata alla precisione richiesta.

È raccomandato l'inserimento di un dispositivo automatico in grado di mantenere costante (± 20 kN) il carico applicato sul palo, per tutta la durata di un gradino di carico ed indipendentemente dagli abbassamenti della testa del palo.

Per la misura dei cedimenti, saranno utilizzati tre comparatori centesimali, con corsa massima non inferiore a 50 mm, disposti a 120° intorno all'insieme palo-terreno.

Il sistema di riferimento sarà costituito da una coppia di profilati metallici poggianti su picchetti infissi al terreno ad una distanza di almeno 3 diametri dal palo.

Il sistema sarà protetto dall'irraggiamento solare mediante un telo sostenuto con un traliccio di tubi innocenti.

Preliminarmente all'esecuzione delle prove saranno eseguiti cicli di misure allo scopo di determinare l'influenza delle variazioni termiche e/o di eventuali altre cause di disturbo.

Dette misure, compreso anche il rilievo della temperatura, saranno effettuate per un periodo di 24 ore con frequenze di 2 ore circa.

6.5.1.1 Preparazione della prova

I pali prescelti saranno preparati mediante regolarizzazione della testa previa scapitozzatura del cls e messa a nudo del fusto per un tratto di 50 cm.

Nel tratto di fusto esposto saranno inserite n.3 staffe metalliche, a 120°, per la successiva apposizione dei micrometri.

Sopra la testa regolarizzata si stenderà uno strato di sabbia di circa 3 cm di spessore, oppure una lastra di piombo.

Si provvederà quindi a poggiare una piastra metallica di ripartizione del carico di diametro adeguato, in modo da ricondurre la pressione media sul conglomerato a valori compatibili con la sua resistenza a compressione semplice.

La zavorra sarà messa a dimora dopo avere posizionato la trave di sostegno su due appoggi laterali, posti a circa 3 diametri dall'asse del palo.

L'altezza dei due appoggi deve essere sufficiente a consentire il posizionamento dei martinetti e dei relativi centratori e del sistema di riferimento per la misura dei cedimenti (h min. = 1.5 m).

Tra i martinetti e la trave sarà interposto un dispositivo di centramento del carico, allo scopo di eliminare il pericolo di ovalizzazione del pistone.

Gli stessi accorgimenti saranno adottati anche nel caso in cui la trave o struttura di contrasto farà capo a pali o tiranti di ancoraggio.

6.5.1.2 Programma di carico

Il programma di carico sarà definito di volta in volta, in relazione alla finalità della prova. Di norma si farà riferimento al seguente schema, che prevede due cicli di carico e scarico, da realizzarsi come di seguito specificato.

1° CICLO

a) Applicazione di "n" (n 4) gradini di carico successivi, di entità pari a P, fino a raggiungere il carico Pes.

b) In corrispondenza di ciascun gradino di carico si eseguiranno misure dei cedimenti con la seguente frequenza:

- t = 0 (applicazione del carico)
- t = 2'
- t = 4'
- t = 8'
- t =15'

Si proseguirà quindi ogni 15' fino a raggiunta stabilizzazione, e comunque per non più di 2 ore.
Il cedimento è considerato stabilizzato se, a parità di carico, è soddisfatta la condizione tra due misure successive (t = 15'):

s 0.025 mm.

Per il livello corrispondente a Pes il carico viene mantenuto per un tempo minimo di 4 ore; quindi si procede allo scarico mediante almeno 4 gradini, in corrispondenza dei quali si eseguono misure a:
- t = 0
- t = 5'
- t = 10'
- t = 15'

Allo scarico le letture verranno eseguite anche a:
- t = 30'
- t = 45'
- t = 60'

2° CICLO
a) Applicazione di "m" (m 9) gradini di carico P fino a raggiungere il carico Pprova.
b) In corrispondenza di ogni livello di carico si eseguiranno misure di cedimento con la stessa frequenza e limitazioni di cui al punto "b" del 1° Ciclo.
c) Il carico Pprova, sarà mantenuto per un tempo minimo di 4 ore; quindi il palo sarà scaricato mediante almeno 3 gradini (di entità 3 P) con misure a:
- t = 0
- t = 5'
- t = 10'
- t = 15'

A scarico ultimato si eseguiranno misure fino a t = 60'; una lettura finale sarà effettuata 12 ore dopo che il palo è stato completamente scaricato.

Nel caso si eseguono prove di progetto per individuare il carico limite del palo, occorre eseguire la stessa procedura avendo l'accortezza di adottare come carico di prova il presunto carico limite del palo (stimato preventivamente per via analitica): Pprova=Plim teorico.

Si considererà raggiunto il carico limite reale Plim del palo singolo, e conseguentemente si interromperà la prova, allorquando risulti verificata una delle seguenti condizioni:

- cedimento (Plim) 2 cedimento (Plim - P)
- cedimento (Plim) 0.10 diametri (d<0.80m)
- cedimento (Plim) 0.05 diametri (d≥0.80m)

Dato che le strutture di contrasto sono dimensionate in funzione del carico limite teorico Plim teorico, allorchè il palo non abbia evidenziato il raggiungimento della rottura geotecnica (vedi condizioni indicate in precedenza), si adotterà Plim=Plim teorico, a meno di organizzare una prova con una zavorra maggiore.

6.5.1.3 Risultati della Prova

Le misure dei cedimenti saranno registrate utilizzando moduli contenenti:
- il n° del palo con riferimento ad una planimetria;
- l'orario di ogni singola operazione;
- la temperatura;
- il carico applicato;
- il tempo progressivo di applicazione del carico;
- le corrispondenti misure di ogni comparatore;

- i relativi valori medi;
- le note ed osservazioni.

Le tabelle complete delle letture tempo-carico-cedimento costituiranno il verbale della prova e andranno consegnate anche in formato informatico editabile alla Direzione Lavori.
Le date e il programma delle prove dovranno essere altresì comunicati alla Direzione Lavori con almeno 7 giorni di anticipo sulle date di inizio.
La documentazione fornita dall'Appaltatore della prova dovrà comprendere i seguenti dati:

- tabelle complete delle letture tempo-carico-cedimento che le indicazioni singole dei comparatori e la loro media aritmetica; (Sono richieste anche le fotocopie chiaramente leggibili della documentazione originale di cantiere ("verbale")).
- diagrammi carichi-cedimenti finali per ciascun comparatore e per il valore medio; diagrammi carichi-cedimenti (a carico costante) per ciascun comparatore e per il valore medio;
- numero di identificazione e caratteristiche nominali del palo (lunghezza, diametro);
- stratigrafia del terreno rilevata durante la perforazione (pali trivellati);
- geometria della prova (dispositivo di contrasto, travi portamicrometri, etc.);
- disposizione, caratteristiche e certificati di taratura della strumentazione;
- scheda tecnica del palo, preparata all'atto dell'esecuzione.
- relazione tecnica riportante l'elaborazione dei dati e l'interpretazione della prova medesima nonchè l'individuazione del carico limite con il metodo dell'inverse pendenze
- Considerazioni di raffronto tra le determinazioni progettuali e le risultanze sperimentali

6.5.2 Prova di carico su pali strumentati

Quando richiesto, le prove di carico assiali, oltre che per definire la curva carico-cedimento alla testa del palo, avranno lo scopo di valutare l'entità e la distribuzione del carico assiale e della curva di mobilitazione dell'attrito lungo il palo. Pertanto dovranno essere predisposte una serie di sezioni strumentate nel fusto del palo, e anche alla base del palo stesso. I dispositivi indicati nel presente paragrafo sono pertanto da considerarsi aggiuntivi rispetto a quanto descritto nei paragrafi precedenti.

In presenza di pali strumentati per il rilievo separato delle curve di mobilitazione delle resistenze lungo la superficie e alla base, il massimo carico assiale di prova può essere posto pari a 1,2 volte l'azione di progetto utilizzata per le verifiche SLE.

Per i pali strumentati, ad ultimazione del getto, verrà eseguito un controllo generale della strumentazione per verificare l'integrità a seguito delle operazioni di realizzazione del palo.

Ulteriori controlli con registrazione dei dati verranno eseguiti a 7, 14 e 28 giorni ed immediatamente prima della prova di carico. Quest'ultima costituirà la misura di origine per le successive letture.

6.5.2.1 Attrezzature e dispositivi di prova

Lungo il fusto del palo saranno predisposte delle sezioni strumentate il cui numero e la cui ubicazione sarà stabilito di volta in volta in accordo con la Direzione Lavori. In ogni caso dovranno essere previste almeno 4 sezioni strumentate.

Indicativamente la sezione strumentata superiore sarà ubicata in prossimità della testa del palo, esternamente al terreno.

Qualora non fosse possibile realizzare la sezione strumentata di testa al di sopra del piano lavoro, dopo l'esecuzione del palo si procederà ad isolare il palo dal terreno circostante fino alla quota della

sezione strumentata di testa; in questo caso la sezione strumentata di testa sarà posizionata il più vicino possibile al piano lavoro.

Le dimensioni geometriche di questa sezione strumentata dovranno essere accuratamente misurate prima delle prove.

Tale sezione consentirà di avere indicazioni sul modulo del calcestruzzo in corrispondenza dei vari gradini di carico e sarà di riferimento per il comportamento di tutte le altre.

Ogni sezione strumentata sarà costituita da almeno 3 estensimetri elettrici disposti su di una circonferenza, a circa 120° l'uno dall'altro.

Le celle estensimetriche saranno fissate all'armatura longitudinale e protette dal contatto diretto con il calcestruzzo.

Esse saranno corredate di rapporto di taratura rilasciato da un laboratorio ufficiale. Per ogni sezione strumentata si ammetteranno tolleranze non superiori a 10 cm rispetto alla quota teorica degli estensimetri elettrici.

La punta del palo verrà strumentata mediante una cella di carico costituita da estensimetri elettrici.

La sezione verrà ubicata alla distanza di circa 1 diametro dalla base del palo.

La misura degli spostamenti alla base del palo verrà realizzata con un estensimetro meccanico a base lunga. Esso misurerà le deformazioni relative tra la base e la testa del palo.

L'ancoraggio dello strumento sarà posizionato alla quota degli estensimetri elettrici e la misura sarà riportata in superficie mediante un'asta di acciaio rigida avente coefficiente di dilatazione termica comparabile con quello del calcestruzzo.

Sarà eliminato il contatto con il calcestruzzo circostante mediante una tubazione rigida di acciaio di circa 1" di diametro esterno.

Particolare cura sarà posta nel rendere minimo l'attrito tra asta interna e tubazione esterna utilizzando, ad esempio, distanziali di materiale antifrizione e altri sistemi analoghi, prestando attenzione ad usarne un numero sufficiente, ma non eccessivo.

Occorrerà garantire una perfetta tenuta tra l'ancoraggio ed il tubo esterno al fine di evitare intrusioni di calcestruzzo nell'intercapedine asta-tubo di protezione all'atto del getto.

Come per gli altri tipi di tubazione anche questa sarà portata sino in superficie a fuoriuscire dalla testa del palo a fianco della piastra di ripartizione.

In questo punto verranno installati dei trasduttori di spostamento lineari con fondo scala di circa 20÷30 mm e precisione dello 0.2% del fondo scala, per la misura in continuo degli spostamenti relativi fra il tubo di protezione (testa del palo) e l'ancoraggio solidale alla base del palo.

La testa di questo strumento andrà adeguatamente protetta contro avverse condizioni atmosferiche, contro urti meccanici accidentali e contro le variazioni di temperatura.

Gli estensimetri andranno fissati alle staffe dell'armatura e saranno dotati di barre di prolunga in acciaio da entrambi i lati non inferiori a 50 cm.

Gli strumenti saranno adeguatamente protetti da possibili urti del tubo getto con rinforzi e protezioni in acciaio da definirsi sul posto.

Tutti i cavi elettrici provenienti dagli estensimetri dovranno essere protetti dal diretto contatto meccanico con i ferri d'armatura.

Normalmente si farà in modo che le tubazioni da inserire nella gabbia siano simmetricamente disposte all'interno della sezione.

L'uscita dei cavi dalla testa del palo non dovrà costituire un ingombro alle operazioni successive. Le modalità di installazione e protezione dei cavi saranno comunicate alla Direzione Lavori.

6.5.2.2 Preparazione ed esecuzione della prova

Si applicano integralmente le specifiche di cui al paragrafo §6.5.2.2.

6.5.3 Prove di carico laterale

Queste prove potranno essere effettuate nel caso in cui ai pali di fondazione sia affidato il compito di trasmettere al terreno carichi orizzontali di rilevante entità. La necessità di eseguire dette prove deve essere documentata negli elaborati progettuali o in eventuali documentazioni della Direzione Lavori. Il numero ed i pali da sottoporre a prova sarà definito dal progettista e/o concordato con la Direzione Lavori.

Nella esecuzione delle prove ci si atterrà alle prescrizioni già impartite per le prove di carico assiale, salvo quanto qui di seguito specificato.

Il contrasto sarà di norma ottenuto utilizzando un palo di caratteristiche geometriche analoghe, distante almeno 3 diametri.

Il martinetto sarà prolungato mediante una trave di opportuna rigidezza.

Gli spostamenti saranno misurati su entrambi i pali. Si utilizzeranno per ciascun palo 2 coppie di comparatori centesimali fissati alla stessa quota; la prima coppia sarà disposta in posizione frontale rispetto alla direzione di carico; la seconda coppia sarà disposta in corrispondenza dell'asse trasversale alla direzione di carico.

Per la misura delle deformazioni durante la prova di carico, la Direzione Lavori indicherà i pali nei quali posizionare, prima del getto, dei tubi inclinometrici.

Si utilizzeranno tubi in alluminio a 4 scanalature, diametro d 81/76 mm, resi solidali alla gabbia di armatura a mezzo di opportune legature.

Le misure saranno effettuate con una sonda inclinometrica perfettamente efficiente, di tipo bi-assiale, previo rilevamento delle torsioni iniziali del tubo-guida.

Se richiesto dalla Direzione Lavori anche i pali sottoposti a prove di carico laterale potranno avere sezioni strumentate con estensimetri elettrici a varie profondità.

6.5.4 Controlli non distruttivi

Scopo dei controlli non distruttivi è quello di verificare le caratteristiche geometriche e meccaniche dei pali, non compromettendone l'integrità strutturale.
A tale scopo potrà essere richiesta l'esecuzione di:

a) prove geofisiche tipo cross-hole
b) prove di ammettenza;
c) carotaggio continuo meccanico;
d) scavi attorno al fusto del palo.

6.5.4.1 Prove geofisiche tipo cross-hole a carico della Direzione Lavori

Questo tipo di controllo potrà essere applicato ai soli pali trivellati e/o ad elica continua di diametro≥ 600 mm.
Le misure di cross-hole consistono nella registrazione delle modalità di propagazione di un impulso sonico nella porzione di calcestruzzo interposto tra due tubi di misura.
Le gabbie dei pali sottoposti a prova cross-hole devono essere equipaggiate con almeno n tubi solidali alle gabbie stesse ed estesi a tutta la lunghezza del palo, entro cui possono scorrere le sondine di emissione e ricezione degli impulsi. I tubi devo essere resi paralleli tra loro e protetti dall'ingresso di materiali
Nei pali trivellati, detti tubi sono calati tappati sul fondo, con fornitura e posa ad onere e cura dell'Appaltatore, con la gabbia di armatura, nel foro di perforazione prima dell'esecuzione del getto di calcestruzzo, mentre per i pali ad elica continua i tre tubi, parimenti solidarizzati alle gabbie di armatura, sono calati subito dolo la conclusione delle fasi di getto.
Il numero minimo di tubi n da solidarizzare alle gabbie dei pali dipende dalle dimensioni del diametro D del palo:

- n=2 per D<800 mm;
- n=3 per 800≤D≤1200mm
- n=4 per D>1200mm

Nel caso n=2, i tubi saranno disposti agli estremi di un segmento diametrale della circonferenza interna individuata dalle barre di armatura o dagli anelli di irrigidimento, se n=3 i tubi saranno disposti ai vertici di un triangolo equilatero inscritto nella circonferenza interna, se n=4 i tubi saranno disposti ai vertici di un quadrato inscritto nella circonferenza interna.
I tubi potranno essere in metallo o in PVC e dovranno avere un diametro interno non inferiore ad 1 pollice e mezzo. L'utilizzo di tubi in PVC è subordinato all'approvazione preventiva della Direzione Lavori.
Prima dell'esecuzione della prova i tubi devono essere riempiti con acqua dolce.
I pali da sottoporre a controllo mediante prove cross-hole saranno prescelti dalla Direzione Lavori.
Nella definizione del numero di pali da attrezzare con tubi per prova sonica, particolare attenzione andrà posta ai pali da realizzare in alveo e in zone golenali, o comunque in presenza di fenomeni di filtrazione sotterranea.
Comunque è opportuno che vengano predisposti con tubi per la potenziale esecuzione di prova sonica:

- 100% dei pali della fondazione in zone d'alveo, zone golenali o in presenza di fenomeni di filtrazione sotterranea;
- 60 % dei pali della fondazione in zone con problematiche di instabilità delle pareti del foro;
- 10% dei pali in zone senza particolari problematiche di natura stratigrafica e idrogeologica con un minimo di 2 pali per fondazione.

Le prove, poi, dovranno essere realizzate sui pali individuati dalla Direzione Lavori, in conformità con quanto indicato al §6.4.3.6 delle NTC2018, ovvero deve interessare almeno il 5% dei pali della fondazione con un minimo di 2 pali.
Resta, comunque, facoltà della DL, in caso di anomalie realizzative o di evidenze negative registrate durante le interpretazioni delle prove cross-hole, aumentare il numero di prove sino al 100% dei pali predisposti.
I pali da sottoporre a controllo mediante prove geofisiche saranno prescelti dalla Direzione Lavori.

Le prove d'integrità verranno eseguite non prima di 28 giorni dal termine delle operazioni di getto. La Direzione Lavori Potrà richiedere l'esecuzione delle prove con un tempo di maturazione anche superiore.

6.5.4.2 Prove di ammettenza meccanica

Possono essere eseguite mediante emissione di impulsi direttamente alla testa del palo o lungo il fusto entro fori precedentemente predisposti.

Tali prove geofisiche da testa palo verranno eseguite sul 20% del numero totale dei pali e comunque su tutti quei pali ove fossero state riscontrate inosservanze rispetto a quanto prescritto dal Capitolato Speciale d'Appalto.
I pali da sottoporre a controllo mediante prove saranno prescelti dalla Direzione Lavori.

6.5.4.3 Carotaggio continuo meccanico

Il carotaggio dovrà essere eseguito con utensili e attrezzature tali da garantire la verticalità del foro e consentire il prelievo continuo allo stato indisturbato del conglomerato e se richiesto del sedime d'imposta.
Allo scopo saranno impiegati doppi carotieri provvisti di corona diamantata aventi diametro interno minimo non inferiore a 1.2 volte il diametro massimo degli inerti e comunque non inferiore a 60 mm.
Nel corso della perforazione dovranno essere rilevate le caratteristiche macroscopiche del conglomerato e le discontinuità eventualmente presenti, indicando in dettaglio la posizione e il tipo delle fratture, le percentuali di carotaggio, le quote raggiunte con ogni singola manovra di avanzamento.
Su alcuni spezzoni di carota saranno eseguite prove di laboratorio atte a definire le caratteristiche fisico-meccaniche e chimiche.
All' interno del foro potranno essere richiesta la predisposizione e l'esecuzione di prove di permeabilità o la predisposizione di tubazione per l'esecuzione di carotaggi sonici.
Al termine del carotaggio si provvederà a riempire il foro mediante boiacca di cemento immessa dal fondo foro.
Il carotaggio si eseguirà, quando ordinato dalla Direzione Lavori, in corrispondenza di quei pali ove si fossero manifestate inosservanze rispetto al Capitolato Speciale d'Appalto e alle disposizioni della medesima.

6.5.4.4 Scavi attorno al fusto del palo

Verranno richiesti ogni qualvolta si nutrano dubbi sulla verticalità e regolarità della sezione nell'ambito dei primi 4,0÷5,0 m di palo.

Il fusto del palo dovrà essere messo a nudo e pulito con un violento getto d'acqua e reso accessibile all'ispezione visiva.

Successivamente si provvederà a riempire lo scavo con materiali e modalità di costipamento tali da garantire il ripristino della situazione primitiva.

Tali operazioni saranno eseguite in corrispondenza di quei pali ove si fossero manifestate inosservanze rispetto al presente Capitolato Speciale d'Appalto e alle disposizioni della Direzione Lavori.

6.6 Micropali

6.6.1 Definizione, classificazione e campi di applicazione

Si definiscono micropali i pali trivellati di fondazione aventi diametro inferiore a 300 mm con fusto costituito da malta/miscela cementizia e da idonea armatura di acciaio.
Per casi particolari, previsti in Progetto, è ammesso l'uso di armature speciali in VTR, fibre aramidiche o carbonio.

Modalità ammesse per la formazione del fusto:
- tipo a) Riempimento a gravità;
- tipo b) Riempimento a bassa pressione;
- tipo c) Iniezione ripetuta ad alta pressione.

La modalità tipo c) è particolarmente indicata per essere eseguita in terreni fortemente eterogenei e per conseguire capacità portanti elevate (> 30 t) anche in terreni poco addensati.

6.6.2 Soggezioni geotecniche, idrogeologiche ed ambientali specifiche

Le tecniche di perforazione e le modalità di getto dovranno essere definite in relazione alla natura dei materiali da attraversare e delle caratteristiche idrogeologiche locali.
La scelta delle attrezzature di perforazione ed i principali dettagli esecutivi dovranno essere messi a punto, a cura e spese dell'Appaltatore.
L'Appaltatore avrà cura di non provocare inquinamenti di superficie o della falda per incontrollate discariche dei detriti e/o dei fanghi provenienti dagli scavi; il materiale di risulta dovrà essere sistematicamente gestito a rifiuto, previo trattamento dei fanghi, nel caso d'uso, secondo quanto previsto dalla legislazione Nazionale e Regionale vigente, dalle prescrizioni degli Enti preposti alla tutela ambientale, nonché dalle condizioni ambientali contenute nelle autorizzazioni e dalle disposizioni del Capitolato Ambientale allegato al progetto esecutivo.
L'adozione dei micropali è condizionata da una serie di fattori ambientali e geotecnici; quelli che meritano particolare attenzione sono:

- disturbi alle persone provocati dalle vibrazioni e dai rumori causati dalla realizzazione dei micropali (norme UNI 9614 e ISO 2631);
- danni che l'installazione dei micropali può arrecare alle opere vicine a causa delle vibrazioni, degli spostamenti orizzontali e/o verticali del terreno, provocati durante l'infissione (norme UNI 9916 e ISO4866)
- danni che l'infissione dei micropali può causare ai pali adiacenti.

Durante l'infissione dei pali prova la Direzione Lavori potrà richiedere misure vibrazionali di controllo per accertare che l'installazione dei pali infissi non danneggi le proprietà vicine.
Qualora nel corso delle misure vibrazionali risultassero superati i limiti di accettabilità previsti dalle norme, l'Appaltatore dovrà sottoporre all'approvazione della Direzione Lavori i provvedimenti che intende adottare. È altresì richiesta la presentazione di un programma di lavori in cui sia dettagliatamente esplicitata la successione cronologica di installazione di ciascun micropalo.

6.6.3 Attrezzature di perforazione

Le attrezzature di perforazione dovranno rispondere ai requisiti richiesti dalle norme della serie UNI EN 16228.
Le pompe di alimentazione del fluido di perforazione ed iniezione dovranno assicurare le opportune portate e pressioni richieste dalla metodologia adottata.
Durante la perforazione, le pompe dovranno assicurare portate di almeno 250 lt/min con pressioni minime di 20 bar.

6.6.4 Caratteristiche delle armature

6.6.4.1 Armatura con profilati di acciaio

Le caratteristiche geometriche e meccaniche dei profilati dovranno essere conformi a quanto prescritto nei disegni di Progetto.

Di norma i profilati dovranno essere costituiti da elementi unici. Saranno ammesse giunzioni saldate, realizzate con l'impiego di adeguati fazzoletti laterali, nel caso di lunghezze superiori ai valori degli standard commerciali (12 ÷ 14m).
La Direzione Lavori si riserva la facoltà di richiedere che il saldatore abbia la qualifica a norma UNI 4634.

6.6.4.2 Armature tubolari in acciaio

L'armatura tubolare sarà costituita da profilati cavi per impieghi strutturali finiti a caldo dotati di marcatura CE e DoP in conformità alla norma UNI EN 10210-1 con sistema di attestazione della conformità 2+ , fatte salve le ulteriori casistiche previste dalle Norme Tecniche delle Costruzioni di riferimento così come descritte al § CG.01.01 del Art. CG.01. L'utilizzo di questa armatura è consentita per tutte le opere a progetto sia aventi carattere provvisionale che definitivo. *E'* consentito l'impiego di profilati cavi saldati per impieghi strutturali formati a freddo di cui alla norma UNI-EN 10219-1, *purchè questi siano dotati di marcatura CE fatto salvo il risultato delle prove a paragrafo 6.6.7 a carico dell'appaltatore e Dichiarazione di Prestazione* con sistema di attestazione della conformità 2+.

Il tipo di acciaio dovrà corrispondere a quanto riportato in Progetto.
Le giunzioni tra i diversi spezzoni di tubo dovranno essere ottenute mediante manicotti filettati; Il sistema di filettatura e le sezioni geometriche della zona di raccordo dovranno assicurare una trazione pari almeno al massimo carico assiale (di compressione o di trazione) definito in fase progettuale riferito all'inviluppo delle combinazioni SLE.
Nel caso i tubi di armatura siano anche dotati di valvole per l'iniezione, essi dovranno essere scovolati internamente dopo l'esecuzione dei fori di uscita della malta allo scopo di asportare le sbavature lasciate dal trapano.
Le valvole saranno costituite da manicotti di gomma di spessore minimo 3,5 mm, aderenti al tubo e mantenuti in posto mediante anelli in fili d'acciaio (diametro 4 mm) saldati al tubo in corrispondenza dei bordi del manicotto. La valvola più bassa sarà posta subito sopra il fondello che occlude la base del tubo.
Non sono ammesse valvole a scomparsa, in cui il foro di uscita della miscela non è protetto da una guaina plastica di ripartizione.
Le armature tubolari dovranno essere dotate di distanziatori non metallici per assicurare il copriferro minimo richiesto. Lungo il fusto del micropalo, l'interspazio fra i distanziatori non dovrà superare i 3 m.

6.6.4.3 Armature in materiale in vetroresina o carbonio

Nel caso in cui i micropali abbiano una funzione temporanea, limitata nel tempo, per un periodo specificato nei documenti di Progetto e comunque non superiore a 12 mesi, è ammesso l'impiego di barre o elementi tubolari in VTR conformi a quanto riportato di seguito.
Nell'ambito di interventi definitivi è ammesso l'impiego di armature o elementi tubolari in carbonio.
Le caratteristiche dei materiali utilizzati dovranno essere conformi a quanto prescritto in Progetto.

6.6.4.3.1 Tubo in vetroresina

Il tubo in vetroresina dovrà essere prodotto con resina poliestere termoindurente rinforzata con fibre di vetro di diametro esterno 200 mm; il contenuto in peso della fibra di vetro non dovrà essere inferiore al 55%.
Le caratteristiche geometriche del tubo sono riassunte nella seguente tabella:

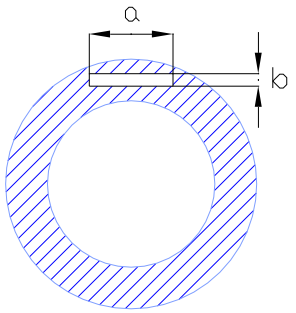
ϕ_{est} mm	Spessore mm	A_{tubo} cm^2	W_e cm^3	J_e cm^4
200	8	48	223	2227
200	10	59	270	2700
200	12	71	314	3144

Le caratteristiche meccaniche invece sono riassunte nella seguente tabella:

Caratteristica	Unità di misura	Valore minimo	Norma di riferimento
Massa volumica	g/cc	1,9	ISO 1183
Resistenza a trazione	MPa	600	ISO 527-5
Resistenza a flessione	MPa	600	EN ISO 14125
Modulo elastico	MPa	35.000	ISO 527-5
Resistenza a taglio	MPa	30	ASTM D-732

** Di seguito sono riportati alcuni adattamenti e precisazioni - derivanti dalla particolare natura e geometria del manufatto in esame - necessari per un corretto utilizzo delle normative citate.

I provini devono essere ricavati dal tubo secondo lo schema sotto riportato.



Le provette prismatiche di sezione a x b x l (lunghezza) indicate nelle normative citate, devono essere ricavate per asportazione meccanica della parte tratteggiata avendo cura che l'ultima fase di lavorazione sia una rettifica refrigerata di 0.5 mm per lato sulle superfici di dimensioni a x l.

6.6.5 Caratteristiche delle miscele cementizie e delle malte cementizie

Le miscele impiegate per la formazione del fusto dovranno essere conformi alle caratteristiche di seguito ammesse salvo più stringenti prescrizioni progettuali.
In funzione delle condizioni di aggressività del terreno, come riportato nella norma UNI EN 206, dovrà essere selezionato l'opportuno tipo di cemento in conformità alle norme UNI EN197-1. In presenza di falda in movimento, non è ammesso l'impiego di miscele cementizie; inoltre per le malte dovranno essere impiegati additivi antidilavanti.

6.6.5.1 Miscela cementizia

Il rapporto acqua/cemento dovrà essere inferiore a 0.55.
Il prodotto fresco dovrà avere le seguenti caratteristiche:

- scostamento del peso specifico dal valore teorico: ±2%
- decantazione a due ore dalla preparazione: ≤3 % in volume
- fluidità MARSH da 40" a 50" (ugello 10mm e misure cono come indicato nella UNI EN 445).

Con la miscela prelevata dovranno essere preparati almeno un gruppo di due campioni da sottoporre alle prove di resistenza.
Per ciascun campione, la resistenza minima richiesta dovrà essere superiore a 25 Mpa, valutata con prova a compressione monoassiale, su campioni cilindrici di altezza pari a due volte il diametro semplice, o dovrà essere superiore a 30 Mpa, valutata con prova a compressione monoassiale su campioni cubici.

6.6.5.2 Malta Cementizia

Il rapporto acqua/cemento dovrà essere inferiore a 0.5.
Se non diversamente richiesto in Progetto, il contenuto in cemento non dovrà comunque essere inferiore a 600 kg/m^3.
Gli aggregati utilizzati non dovranno superare il diametro massimo di 8 mm, con $d_{85} \leq 4$ mm.
Il prodotto fresco dovrà avere le seguenti caratteristiche:

- scostamento del peso specifico dal valore teorico: ±5%
- decantazione a due ore dalla preparazione: ≤3 % in volume

Con la malta prelevata dovranno essere preparati almeno un gruppo di due campioni da sottoporre alle prove di resistenza.
Per ciascun campione, la resistenza minima richiesta dovrà essere superiore a 25 Mpa, valutata con prova a compressione monoassiale, su campioni cilindrici di altezza pari a due volte il diametro semplice, o dovrà essere superiore a 30 Mpa, valutata con prova a compressione monoassiale su campioni cubici.

6.6.6 Dossier di pre-qualifica

L'Appaltatore almeno 15 giorni prima di eseguire qualsiasi lavorazione, deve trasmettere alla Direzione Lavori per approvazione, un dossier di prequalifica contenente:

- Le caratteristiche della miscela o malta che intende adottare conformemente alle caratteristiche di cui ai § 6.6.8.1 e 6.6.8.2, le schede tecniche di tutti i materiali e le eventuali marcature CE e le condizioni climatiche limite di utilizzo;
- I certificati di laboratorio eseguiti sulle miscele o malte (massa volumica, decantazione a 24h, fluidità, l'Appaltatore deve definire un range di validità, resistenza a 28 giorni);
- La marcatura CE e DoP delle armature e i certificati di laboratorio ufficiale delle prove di trazione (snervamento fy, rottura ft, allungamento), di resilienza e analisi chimica; attestato di denuncia dell'attività di centro di trasformazione, certificato UNI EN ISO 9001 del sistema di gestione qualità certificato da parte di un organismo terzo indipendente, indicazione del produttore dell'armatura tubolare.
- Certificazione di controllo interno 3.1 di cui alla norma UNI EN 10204 in riferimento al p.to 11.3.1.5 delle NTC 2018 (tale certificazione dovrà essere consegnata a corredo di tutte le forniture in cantiere).
- La documentazione di prequalifica dovrà essere integrata dalle risultanze sperimentali delle eventuali prove di flessione eseguite su campioni della lunghezza di 3 metri (come indicato nel paragrafo successivo), in grado di dimostrare che la tecnologia produttiva impiegata per la realizzazione dei profili di armatura tubolare sia in grado di garantire gli standard prestazionali compatibili con le caratteristiche dell'acciaio previste in Progetto.

- Le caratteristiche del miscelatore;
- Le caratteristiche delle attrezzature di perforazione;
- Il patentino degli operatori per perforatori piccolo-grande diametro che saranno impegnati nelle lavorazioni;
- Le caratteristiche delle pompe di alimentazione del fluido di perforazione;
- Pianta della numerazione dei micropali

La prequalifica sarà da ripetere o integrare qualora cambino uno o più componenti della miscela o delle miscele qualificate.
Inoltre, l'Appaltatore, prima di iniziare le perforazioni dovrà consegnare alla Direzione Lavori, su apposita rappresentazione planimetrica, la posizione di tutti i micropali, inclusi quelli di prova, contrassegnati con un numero progressivo e l'ordine cronologico di perforazione.

6.6.7 Controlli e prove presso il centro di trasformazione e/o produzione prima della spedizione in cantiere delle armature tubolari a carico dell'appaltatore

6.6.7.1 Armatura tubolare per impieghi strutturali formati a freddo

Dovranno essere trasmessi i certificati di laboratorio delle prove a flessione eseguite secondo le modalità di seguito indicate.

I campioni dei materiali oggetto di fornitura prelevati nel centro di trasformazione dovranno essere sottoposti a prove di flessione a snervamento (presso laboratorio ufficiale e comunicato preventivamente alla D.L.) su n.3 elementi di armatura tubolare di lunghezza nominale minima pari a 3 metri eseguite in modalità "a controllo di spostamento". La frequenza di campionamento è stabilita ogni 1000 micropali intesi come intero elemento di fondazione e/o di sostegno non rientranti nelle casistiche di esclusione della prova a flessione sotto riportate (a titolo esemplificativo: da 0 a 1000 micropali previsti in progetto sarà effettuato n.1 campionamento costituito da 3 elementi – da 1000 a 2000 micropali previsti in progetto saranno effettuati n.2 campionamenti costituiti da 3 spezzoni ciascuno), a prescindere dalla natura provvisionale o definitiva dell'opera. L'onere dell'esecuzione delle prove resta a carico dell'appaltatore. Sui tre campioni dovrà essere variata la posizione della saldatura rispetto al punto di applicazione del carico, nel dettaglio:

- n° 1 prova con saldatura in zona tesa dell'armatura tubolare
- n° 1 prova con saldatura in zona compressa dell'armatura tubolare
- n° 1 prova con saldatura in posizione laterale (intersezione tra corda diametrale ortogonale alla retta d'azione del carico).

I risultati della prova dovranno evidenziare sulla sezione maggiormente sollecitata una tensione di snervamento maggiore o uguale al valore caratteristico di snervamento per la classe di resistenza dell'acciaio di cui sono costituiti i tubi. Ulteriore conferma sulla qualità intrinseca del materiale potrà essere condotta valutando i parametri meccanici di resistenza a trazione, snervamento ed allungamento percentuale su campioni ricavati dai suddetti tubi sottoposti a prova di flessione.
Le prove a flessione da eseguirsi su campioni di elementi di armatura tubolare di lunghezza nominale minima pari a 3 metri possono essere omesse nei casi seguenti:

- le azioni di progetto che sollecitano l'armatura risultano prevalentemente di natura assiale (compressione e trazione);
- le azioni flettenti di progetto che sollecitano l'armatura sono caratterizzate da un rapporto MRD/MED ≥ 4.0;
- numero di micropali complessivamente inferiore a 300.

A cura dell'Appaltatore dovrà essere predisposta, ed inviata alla DL per approvazione, una nota tecnica contenente l'indicazione del numero di prove a flessione da eseguirsi in funzione della numerosità degli elementi "micropali" previsti in progetto ed in funzione della natura delle azioni sollecitanti indicate nella relazione di calcolo.
I certificati di prova dovranno essere consegnati alla Direzione Lavori corredati da Dichiarazione del fornitore che attesti che i campioni prelevati si riferiscono alla fornitura dello specifico intervento.

6.6.8 Modalità esecutive

6.6.8.1 Tracciamento

Prima di iniziare la perforazione l'Appaltatore dovrà, a sua cura ed onere, individuare sul terreno la posizione dei micropali mediante appositi picchetti sistemati in corrispondenza dell'asse di ciascun palo.
Su ciascun picchetto dovrà essere riportato il numero progressivo del micropalo quale risulta dalla pianta della numerazione dei micropali di cui al § 6.6.6.

6.6.8.2 Metodologie di perforazione

La perforazione, eseguita mediante rotazione o rotopercussione in materie di qualsiasi natura e consistenza (inclusi murature, calcestruzzi, trovanti e roccia dura), anche in presenza d'acqua, deve essere in generale condotta con modalità ed utensili tali da consentire la regolarità delle successive operazioni di formazione del fusto del micropalo e in modo tale da garantire il trasferimento adeguato del carico dall' armatura al terreno; in particolare dovrà essere minimizzato il disturbo del terreno nell'intorno del foro.
Il tipo b) (rif. 6.6.1) necessita che la perforazione sia eseguita con posa di rivestimento provvisorio per tutta la profondità del palo.
Per i tipi a) e c) (rif. 6.6.1) la perforazione potrà essere eseguita con o senza rivestimento provvisorio, a secco o con circolazione di acqua o di fango di cemento e bentonite, in funzione dell'attitudine delle formazioni attraversate a mantenere stabili le pareti del foro.
La scelta della metodologia sarà stabilita sulla scorta dei risultati ottenuti nelle prove tecnologiche (rif. §6.1.4.1) e sui risultati delle prove di carico.
In caso di terreni con strati o frazioni incoerenti medio-fini (sabbie, sabbie e limi) con perforazione ad aria, si dovranno prevenire i fenomeni di fratturazione del terreno ed evitare il violento emungimento della falda a seguito dell'effetto eiettore ed il conseguente dilavamento del terreno, mediante appositi accorgimenti e con l'utilizzo di fluidi di perforazione anti-dilavanti.
In presenza di falda artesiane, dovranno essere messe in opera tutte le opportune precauzioni al fine di evitare fenomeni di espulsione incontrollata di materiale da bocca-foro e il successivo dilavamento delle miscele/malte durante la formazione del fusto del micropalo.
A termine della perforazione il foro dovrà essere accuratamente sgombrato dai detriti azionando il fluido di circolazione o l'utensile asportatore, senza operare con l'utensile disgregatore.
Il materiale di risulta dovrà essere portato a rifiuto dopo aver trattato i fanghi secondo le leggi vigenti.
L'ordine di esecuzione dei pali nell'ambito di ciascun gruppo dovrà assicurare la non interferenza delle perforazioni con fori in corso di iniezione o in attesa di riempimento, ove occorra anche spostando la perforatrice su gruppi contigui prima di ultimare la perforazione dei micropali del gruppo in lavorazione.
Per un micropalo ogni 50, e comunque su almeno un micropalo nel caso di numero totale di micropali inferiore a 50, dovrà essere eseguita una ricostruzione stratigrafica qualitativa in funzione delle

informazioni ricavate dalla velocità di avanzamento degli utensili di perforazione impiegati e dall'osservazione dei materiali di risulta.
Tale ricostruzione stratigrafica, la quale dovrà essere eseguita in contraddittorio tra impresa e personale tecnico della Direzione Lavori, è finalizzata essenzialmente alla individuazione delle quote del tetto dell'eventuale substrato litoide.
Qualora tale quota risulti inferiore di circa 1.0 m rispetto a quanto assunto in fase di dimensionamento, si dovrà dare evidenze al Progettista per le valutazioni del caso.
Le sonde di perforazione impiegate per la realizzazione dei "micropali geognostici" dovranno essere attrezzate con un sistema di registrazione automatica computerizzata per il rilievo, la registrazione, l'elaborazione e la restituzione in continuo dei seguenti parametri (DAC test):

- profondità di perforazione
- velocità di perforazione
- velocità di rotazione in fase di perforazione
- spinta in fase di perforazione
- portata del fluido di perforazione
- pressione del fluido di perforazione
- energia specifica.

Le risultanze (grafici e dati numerici) dei DAC test dovranno essere tempestivamente trasmesse alla Direzione Lavori, in forma cartacea e su supporto informatico.

6.6.8.3 Posa delle armature e copriferro

Le armature dovranno saranno in ogni caso estese a tutta la lunghezza del micropalo.
In funzione del materiale impiegato per la formazione del fusto del micropalo, dovranno essere assicurati i seguenti copriferri S minimi:

- miscela cementizia: S ≥ 30 mm che puo' essere ridotto 20 mm nel caso in cui l'elemento lavori esclusivamente a compressione semplice,
- malta cementizia: S ≥ 40 mm che puo' essere ridotto 35 mm nel caso in cui l'elemento lavori esclusivamente a compressione semplice,

Maggiori valori di copriferro S potranno essere prescritti in Progetto, sulla base di particolari condizioni di aggressività delle acque presenti nel sottosuolo (acque contaminate e salmastre).

6.6.8.4 Formazione del fusto del micropalo

La formazione del fusto dovrà iniziare in una fase immediatamente successiva alla perforazione di ciascun palo. In caso contrario la perforatrice resterà in posizione fino alla successiva ripresa del lavoro e provvederà quindi alla pulizia del perforo subito prima che inizino le operazioni di posa delle armature e di getto della malta.
In ogni caso non dovrà trascorrere più di un'ora tra il termine della perforazione e l'inizio della formazione del fusto del micropalo.
Fanno eccezione solo i micropali perforati interamente in roccia, senza presenza di franamenti e di acqua nel perforo.
La tecnologia di formazione del micropalo dovrà essere rigorosamente quella indicata nella relazione di calcolo e negli elaborati grafici di progetto.

6.6.8.4.1 Riempimento a gravità

Il riempimento del perforo, dopo la posa delle armature, dovrà avvenire:

a) attraverso il tubo di armatura (dotato di appositi orifizi alla base) mediante una apposita campana di adduzione installata sulla testa del tubo stesso ed alimentata da pompa volumetrica o a pistone. In questo caso deve essere adottata una miscela contenente aggregati sabbiosi, ovvero con peso di volume superiore a quello degli eventuali fanghi di perforazione ed il diametro interno dell'armatura tubolare deve essere > 80 mm;
b) tramite un tubo di alimentazione disceso fino a 10÷15 cm dal fondo e dotato superiormente di un imbuto o tramoggia di carico.

Il riempimento sarà proseguito fino a che la malta/miscela immessa risalga in superficie scevra di inclusioni e miscelazioni con il fluido di perforazione.
Si attenderà per accertare la necessità o meno di rabbocchi e si potrà quindi estrarre il tubo di convogliamento allorquando il foro sarà intasato e stagnato.
Eventuali rabbocchi da eseguire prima di raggiungere tale situazione vanno praticati esclusivamente dal fondo del foro.

6.6.8.4.2 Riempimento a bassa pressione

Il foro dovrà essere interamente rivestito; la posa della malta/miscela avverrà in un primo momento entro il rivestimento provvisorio tramite un tubo di convogliamento.
Successivamente si applicherà al rivestimento una idonea testa a tenuta entro la quale verrà pompata in pressione la stessa miscela cementizia o, in alternativa, si invierà aria in pressione (0,5-0,6 MPa) mentre si solleverà gradualmente il rivestimento fino alla sua prima giunzione.
Si smonterà allora la sezione superiore del rivestimento e si applicherà la testa di pressione alla parte rimasta nel terreno; nel caso di utilizzo di aria tale operazione avverrà dopo il rabboccamento dall'alto per riportare a livello la malta/miscela.
Si procederà analogamente per le sezioni successive fino a completare l'estrazione del rivestimento.
In relazione alla natura del terreno potrà essere sconsigliabile applicare la pressione d'aria agli ultimi 5 - 6 m di rivestimento da estrarre per evitare la fratturazione idraulica degli strati superficiali.

6.6.8.4.3 Iniezione ripetuta ad alta pressione

Le fasi della posa in opera saranno le seguenti:

I) completata la perforazione, si provvede a rimuovere i detriti presenti nel foro, o in sospensione nel fluido di perforazione, prolungando la circolazione del fluido stesso fino alla sua completa chiarificazione;
II) inserimento dell'armatura tubolare valvolata, munita di centratori, fino a raggiungere la profondità di progetto; sono preferibili i centratori non metallici;
III) riempimento della cavità anulare compresa tra il tubo a valvole e le pareti del perforo, ottenuta alimentando con apposito condotto di iniezione e otturatore semplice la valvola più bassa finché la miscela risale fino alla bocca del foro (formazione della guaina), contemporaneamente si proceda alla estrazione dei rivestimenti provvisori, quando utilizzati, e si effettuino i necessari rabbocchi di miscela cementizia;
IV) terminata l'iniezione di guaina, si procede con il lavaggio con acqua all'interno del tubo;
V) avvenuta la presa della miscela precedentemente posta in opera, si inietteranno, valvola per valvola, a partire dal fondo, volumi di miscela prefissati, senza superare durante l'iniezione la pressione corrispondente alla fratturazione idraulica del terreno ("claquage"); Per ciascuna valvola, durante la fase iniziale di apertura, non dovrà essere superata la pressione di iniezione massima di 6 MPa (60 bar). In caso di superamento, la valvola dovrà essere abbandonata. Per pressione di iniezione si intende il valore minimo che si stabilisce all'interno del circuito.

VI) Durante le prove tecnologiche preliminari, l'Appaltatore dovrà mettere a punto e definire i tempi di inizio della fase di iniezione rispetto alla precedente formazione della guaina, in modo da assicurare che la miscela abbia raggiunto un sufficiente indurimento ma senza una resistenza eccessiva tale da precludere la sua iniziale idro-fratturazione.

VII) L' iniezione dovrà essere eseguita con portate non superiori a 8 lt/min.

VIII) Indicativamente, salvo diverse prescrizioni di Progetto, i volumi di iniezione non saranno inferiori a tre volte il volume teorico della sezione di foro associato a ciascuna valvola.

IX) lavaggio con acqua all'interno del tubo;

X) avvenuta la presa della miscela precedentemente iniettata, si ripeterà l'iniezione in pressione limitatamente alle valvole per le quali:

- il volume iniettato non abbia raggiunto il limite predetto a causa della incipiente fratturazione idraulica del terreno;
- le pressioni residue nette di iniezione, misurate a bocca foro al raggiungimento del limite volumetrico, non superino 0,5 MPa.

XI) Al termine delle iniezioni si riempirà a gravità l'interno del tubo.

Le attrezzature per l'iniezione dovranno essere munite di flussimetri o opportuni "contacolpi" certificati al fine di verificare i quantitativi effettivamente iniettati e di sensori di pressione certificati installati sia a bocca foro e sia alle pompe.

6.6.8.5 Tolleranze geometriche

Le tolleranze ammesse sono le seguenti:

- la posizione planimetrica, misurata rispetto al centro del micropalo stesso, non dovrà discostarsi da quella di Progetto più di 50 mm;
- la posizione altimetrica della testa del micropalo non dovrà scostarsi da quelle di Progetto $\pm$ 50 mm;
- la lunghezza del micropalo non dovrà discostarsi da quella di Progetto più di 50 mm
- la deviazione dell'asse del micropalo verticale rispetto all'asse di Progetto non dovrà essere maggiore del 2%. Nel caso di micropali inclinati, tale tolleranza è incrementata al 4%.
- la sezione dell'armatura metallica non dovrà risultare inferiore a quella di Progetto;
- il diametro dell'utensile di perforazione dovrà risultare non inferiore al diametro di perforazione di Progetto.

In caso di mancato rispetto delle tolleranze sopra riportate la D.L. aprirà una non conformità sull'opera o sulla parte d'opera interessata la cui risoluzione, progettuale e realizzativa, sarà a cura e spese dell'appaltatore.

6.6.9 Controlli in opera

6.6.9.1 Controllo dei lavori a carico dell'Appaltatore

L'esecuzione di ogni singolo micropalo sarà documentata mediante la compilazione da parte dell'Appaltatore di una apposita scheda del PCQ sulla quale si registreranno i dati seguenti:

- identificazione del micropalo;
- data di inizio perforazione e termine del getto (o iniezione);
- profondità effettiva raggiunta dalla perforazione (detta "A");
- profondità del foro all'atto della posa dell'armatura (detta "B");
- assorbimento totale effettivo di miscela di iniezione;

- per i micropali formati mediante iniezione ripetuta ad alta pressione, pressioni residue minime e quantità complessive iniettate per ogni fase di iniezione ad alta pressione.

Tale scheda dovrà essere trasmessa dall'Appaltatore alla Direzione Lavori per approvazione.

Il controllo della profondità dei perfori, rispetto alla quota di sottofondazione o sotto cordolo, verrà effettuato in doppio modo:

A) in base alla lunghezza delle aste di perforazione immerse nel foro al termine della perforazione, con l'utensile appoggiato sul fondo;
B) in base alla lunghezza dell'armatura.

La differenza tra le due misure dovrà risultare $\leq$ 0,10 m; in caso contrario occorrerà procedere alla pulizia del fondo del foro asportandone i detriti accumulatisi, dopo aver estratto l'armatura.
L'accettazione delle armature verrà effettuata:

- nel caso di armature in barre longitudinali ad aderenza migliorata, in base alla rispondenza al Progetto dei vari diametri nominali e delle lunghezze;
- nel caso di armature a tubo di acciaio, in base alle lunghezze, al diametro e allo spessore dei tubi previsti in Progetto.

L'Appaltatore dovrà eseguire il controllo di cui sopra per tutti i perfori registrando in apposita scheda/report le risultanze di tale verifica. La Direzione Lavori procederà al controllo del 20% dei perfori in contraddittorio con l'Appaltatore stesso dopo aver ricevuto il report di verifica di quest'ultimo.

6.6.9.2 Controllo degli acciai a carico della Direzione Lavori

6.6.9.2.1 Armatura tubolare per impieghi strutturali finiti a caldo

La Direzione Lavori procederà all'esecuzione di prelievi finalizzati all'esecuzione di:

- prove dimensionali di spessore, lunghezza, larghezza e massa secondo la UNI EN 10210-2 per acciai di cui alla UNI EN 10210-1: si riterranno conformi le lamiere con tolleranza di cui ai prospetti 2, 3 e 4 della UNI EN 10210-2;
- prove di trazione (snervamento fy, rottura ft, allungamento) secondo la norma UNI EN ISO 6892-1. Si riterranno conformi elementi rispondenti ai limiti del prospetto A.3 o B.3 della norma UNI EN 10210-1;
- prove di resilienza su provetta Charpy secondo la norma UNI EN ISO 148-1. Si riterranno conformi elementi rispondenti ai limiti del prospetto A.3 o B.3 della norma UNI EN 10210-1;
- analisi chimica secondo UNI EN 10315, UNI EN ISO 15350 o al CR 10320. Si riterranno conformi elementi rispondenti ai limiti del prospetto 1 della norma UNI EN 10210-1;

Dovranno essere eseguite n. 3 prove ogni 90 tonnellate di materiale giunto in cantiere e comunque mai meno di n. 3 prove per ogni wbs.

6.6.9.2.2 Armatura tubolare per impieghi strutturali saldati formati a freddo

La Direzione Lavori procederà all'esecuzione di prelievi finalizzati all'esecuzione di:

- prove dimensionali di spessore, lunghezza, larghezza e massa secondo la UNI EN 10219-2 per acciai di cui alla UNI EN 10219-1: si riterranno conformi le lamiere con tolleranza di cui ai prospetti 2, 3, 4 e 5 della UNI EN 10219-2;

- prove di trazione (snervamento fy, rottura ft, allungamento) secondo la norma UNI EN ISO 6892-1. Si riterranno conformi elementi rispondenti ai limiti del prospetto A.3 o B.4 o B.5 della norma UNI EN 10219-1;
- prove di resilienza su provetta Charpy secondo la norma UNI EN ISO 148-1. Si riterranno conformi elementi rispondenti ai limiti del prospetto A.3 o B.4 o B.5 della norma UNI EN 10219-1;
- analisi chimica secondo UNI EN 10315, UNI EN ISO 15350 o al CR 10320. Gli elementi da determinare e riportare devono essere quelli indicati nel prospetto A.1 e nell'opzione 1.2, se specificata, o quelli indicati nel prospetto B.1 o nel prospetto B.2, se applicabile. Come da norma UNI EN 10219-1;

Dovranno essere eseguite n. 3 prove ogni 90 tonnellate di materiale giunto in cantiere e comunque mai meno di n. 3 prove per ogni wbs.

6.6.9.3 Controllo sulle malte e sulle miscele

Ogni giorno, preliminarmente alla prima operazione di getto, l'Appaltatore a suo carico con un proprio tecnico preposto purché munito di idonea attrezzatura certificata, in contraddittorio con un tecnico della D.L. dovrà verificare la conformità della massa volumetrica, della viscosità e della fluidità di getto con le specifiche della prequalifica e di progetto in campo presso il luogo di esecuzione.
A prove ultimate l'Appaltatore e la D.L. dovranno condividere il report e le minute di campo.

Valori non conformi comporteranno l'impossibilità di eseguire il getto dei fusti dei micropali;

La Direzione Lavori con il proprio laboratorio eseguirà le seguenti prove:

- sulle miscele indurite: la resistenza a 28 giorni. Si riterranno conformi le forniture la cui media per ogni WBS è ≥ al valore di progetto. Nel rispetto del valore medio sono ammessi valori singoli con resistenza a 28 gg non inferiore al 20% del valore di progetto. Qualora la resistenza caratteristica riscontrata a seguito dei controlli risultasse in media, sulla singola WBS, minore di non più del 20% rispetto al valore di progetto, la Direzione Lavori, provvederà ad applicare una penale a titolo definitivo pari al 20% del valore della lavorazione. Nel caso in cui la resistenza caratteristica riscontrata risulti minore di quella richiesta di oltre il 20%, la lavorazione verrà interamente trattenuta a SAL a titolo definitivo e, d'intesa con il progettista, si valuterà l'esecuzione di micropali integrativi a cura ed onere dell'Appaltatore o all'adozione di quei provvedimenti che, proposti dallo stesso, dovranno essere formalmente approvati dalla Direzione Lavori per diventare operativi. Nessun indennizzo sarà dovuto all'Impresa se la classe di resistenza risulterà maggiore di quella di progetto.

6.6.9.4 Controlli integrità dei micropali a carico della Direzione Lavori

In fase realizzativa dei micropali occorre prestare particolare attenzione a tutte le fasi realizzative con particolare attenzione al controllo della lunghezza dell'armatura tubolare, ai volumi iniettati o gettati e per i micropali iniettati tipo (IRS o IGU) è necessaria la verifica della portata e della pressione. Tutte le informazioni suddette dovranno essere trasmesse dall'appaltatore alla D.L. la quale provvederà ad eseguire il controllo di integrità come da §6.4.3.6 delle NTC 2018 ovvero almeno il 5% dei micropali della fondazione con un minimo di 2 micropali, verificando la lunghezza dell'armatura tubolare, i volumi iniettati o gettati e per i micropali iniettati tipo (IRS o IGU) la verifica della portata e della pressione in campo.
In accordo a quanto previsto al §6.4.3.6 delle NTC18, nei casi in cui la qualità dei micropali dipenda in misura significativa dai procedimenti esecutivi e dalle caratteristiche geotecniche dei terreni di

fondazione, sarà cura della D.L. predisporre controlli, diretti o indiretti di comprovata validità, finalizzati alla verifica dell'integrità.

6.6.9.5 Appendice

6.6.9.5.1 Misure del peso specifico della miscela cementizia e malta cementizia

Si userà di regola una bilancia (pesa di Baroid) che consiste in un'asta graduata in g/l imperniata al basamento e munita ad un estremo di contrappeso ed all'altro di un contenitore.
Quest'ultimo una volta riempito sarà chiuso con un coperchio forato; si garantirà il completo riempimento del contenitore facendo in modo che della miscela fuoriesca dal foro.
Successivamente si avrà cura di pulire l'esterno del contenitore e del coperchio.
Si sposterà il cursore posto sull'asta finché questa assumerà una posizione orizzontale, individuata dalla bolla della livella montata sull'asta.
In tale posizione si leggerà direttamente sull'asta il peso di volume racchiuso nel contenitore.
Per la taratura si riempirà il contenitore di acqua distillata controllando che il peso di volume indicato dal cursore corrisponda a 1000 g/l; in caso contrario si toglieranno o aggiungeranno dei pallini di piombo nel corpo del contrappeso. L'approssimazione delle misure dovrà essere di ±5 g/l.

6.6.9.5.2 Misure della decantazione per le miscele cementizie e le malte

Si userà di regola una buretta graduata da un litro.
Il materiale prelevato verrà versato nel recipiente e lasciato a riposo per due ore. Al termine di tale periodo verrà misurato il quantitativo di acqua essudato. Il rapporto fra l'altezza dell'acqua separata e l' altezza complessiva del campione rappresenta il valore di decantazione

6.6.10 Prove di carico su micropali

6.6.10.1 Generalità

Si richiamano i contenuti di cui al § 6.5.1 e relativi sottoparagrafi.

6.6.10.2 Prove di carico assiale

I carichi di prova saranno definiti di volta in volta dal progettista, in relazione alle finalità della prova stessa. Di norma il massimo carico di prova Pprova sarà:

- Pprova = 1.5 Pesercizio (prove di collaudo)
- Pprova = Plim (prove di progetto)

ove con Plim si indica la portata limite dell'insieme micropalo-terreno.

6.6.10.3 Attrezzature e dispositivi di prova

Le attrezzature ed i dispositivi per l'applicazione e per la misura del carico, ed i dispositivi per la misura dei cedimenti saranno conformi alle specifiche di cui al § 6.5.2.1.
E' ammessa l'esecuzione di prove di carico a compressione mediante contrasto su micropali laterali, a condizione che:

- le armature tubolari e le eventuali giunzioni filettate dei micropali di contrasto siano in grado di resistere ai conseguenti sforzi di trazione;
- la terna di micropali sia giacente sullo stesso piano verticale o inclinato.

Nel caso di micropali inclinati dovranno essere adottati tutti gli accorgimenti atti ad evitare l'insorgere di carichi orizzontali e/o momenti flettenti dovuti ad eccentricità, che potrebbero influenzare i risultati della prova.

I risultati forniti dai micropali di contrasto potranno essere utilizzati quali valori relativi a prove di carico a trazione, se i carichi effettivamente applicati sono ritenuti significativi dal Progettista.
I micropali prescelti saranno preparati mettendo a nudo il fusto per un tratto di *20 cm ed eliminando tutte le superfici di contatto e di attrito con eventuali plinti, solette, murature, etc..
Nel tratto di fusto esposto saranno inserite 3 staffe metalliche, a 120°, per il posizionamento dei micrometri. Si provvederà quindi a fissare sulla testa del micropalo una piastra metallica di geometria adeguata ad ospitare il martinetto, ed a trasferire il carico sul micropalo.
La zavorra sarà messa a dimora dopo avere posizionato la trave di sostegno su due appoggi laterali, posti a circa 3 m dall'asse del micropalo.
L'altezza degli appoggi dovrà essere sufficiente a consentire il posizionamento del martinetto e del relativo centratore, e del sistema di riferimento per la misura dei cedimenti.
Tra il martinetto e la trave sarà interposto un dispositivo di centramento del carico, allo scopo di eliminare il pericolo di ovalizzazione del pistone.
Gli stessi accorgimenti saranno adottati anche nel caso in cui la trave di contrasto farà capo ad una coppia di micropali posti lateralmente al micropalo da sottoporre a prova di compressione.

6.6.10.4 Programma di carico

Il programma di carico sarà definito di volta in volta, in relazione alle finalità della prova.
Di norma si farà riferimento al seguente schema, che prevede 3 cicli di carico e scarico, da realizzarsi come di seguito specificato.
1° CICLO
a) Applicazione di "n" (n * 4) gradini di carico successivi, di entità pari a *P, fino a raggiungere il carico Pes.
b) In corrispondenza di ciascun gradino di carico si eseguiranno misure dei cedimenti con la seguente frequenza:
t = 0 (applicazione del carico) -
t = 2' - t = 4' - t = 8'
t = 15'
si proseguirà quindi ogni 15' fino a raggiunta stabilizzazione, e comunque per non più di 2 ore.
Il cedimento s è considerato stabilizzato se, a parità di carico, è soddisfatta la condizione tra due misure successive (*t = 15'):

s * 0.025 mm.

c) Per il livello corrispondente a Pes il carico viene mantenuto per un tempo minimo di 4 ore; quindi si procede allo scarico mediante almeno 3 gradini, in corrispondenza dei quali si eseguono misure a t = 0, t = 5', t = 10', t = 15'.
Allo scarico le letture verranno eseguite anche a t = 30', t = 45' e t = 60'.

2° CICLO
a) Applicazione rapida di un carico di entità 1/3 Pes
b) Lettura dei cedimenti a t = 0, 1', 2', 4', 8', 15'
c) Scarico rapido e letture a t = 0 e 5'
d) Applicazione rapida di un carico di entità 2/3 Pes
e) Lettura dei cedimenti come in "b"
f) Scarico come in "c"
g) Applicazione rapida di un carico di entità pari a Pes
h) Lettura dei cedimenti come in "b"

i) Scarico con letture a t = 0, 5', 10', 15' e 30'.

3° CICLO
a) Applicazione di "m" (m * 9) gradini di carico *P fino a raggiungere il carico Pprova ().
b) In corrispondenza di ogni livello di carico si eseguiranno misure di cedimento con la stessa frequenza e limitazioni di cui al 1° ciclo, punto "b".
c) Il carico Pprova, sarà mantenuto per un tempo minimo di 4 ore; quindi il palo sarà scaricato mediante almeno 3 gradini con misure a t = 0, t = 5' e t = 10' e t = 15'. A scarico ultimato si eseguiranno misure fino a t = 60'.

Nel caso si eseguono prove di progetto per individuare il carico limite del palo, occorre eseguire la stessa procedura avendo l'accortezza di adottare come carico di prova il presunto carico limite del palo (stimato preventivamente per via analitica): Pprova=Plim teorico.

Si considererà raggiunto il carico limite effettivo Plim, e conseguentemente si interromperà la prova, allorquando misurando il cedimento s risulterà verificata una delle seguenti condizioni:

- s (Plim) * 2 * s (Plim - *P)
- s (Plim) * 0.2 d + sel

ove :
d = diametro del micropalo
sel = cedimento elastico del micropalo.

Dato che le strutture di contrasto sono dimensionate in funzione del carico limite teorico Plim teorico, allorchè il palo non abbia evidenziato il raggiungimento della rottura geotecnica (vedi condizioni indicate in precedenza), si adotterà Plim=Plim teorico, a meno di organizzare una prova con una zavorra maggiore.

6.6.10.5 Risultati delle prove

Le misure dei cedimenti saranno registrate con le stesse modalità indicate al punto 6.5.1.3.

Art. 7 Trattamenti colonnari

7.1 Definizioni e campi di applicazione

Si definiscono trattamenti colonnari di gettiniezione (jet grouting) quei trattamenti dei terreni che consistono di realizzare nel sottosuolo elementi di terreno consolidato, di forma e dimensioni svariate, dotati di buone caratteristiche meccaniche e di ridotta permeabilità.

Tali trattamenti vengono realizzati attraverso il seguente procedimento:
- l'iniziale perforazione mediante sonda di perforazione, aste ed utensile disgregante montato sull'utensile di perforazione (monitor), quest'ultimo recante uno o più "ugelli";
- estrazione della batteria di aste a velocità di risalita e rotazione controllate e contemporaneo pompaggio di un fluido ad altissima pressione (40÷60 Mpa) all'interno del medesimo circuito di perforazione (aste), per fuoriuscire ad altissima velocità attraverso gli ugelli alloggiati nel monitor, determinando la disgregazione per idrodemolizione del terreno con getti "di altissima energia" (in alternativa il pompaggio può essere eseguito contemporaneamente alla perforazione);
- la parziale asportazione del terreno in superficie, utilizzando come liquido convettore il fluido disgregante immesso, e come percorso di risalita la medesima perforazione;
- la successiva stabilizzazione delle porzioni di terreno, rimosse ma non asportate, con un liquido cementizio stabilizzante, coincidente o meno con quello disgregante secondo il tipo di tecnologia adottata; il terreno risulterà quindi "consolidato", caratterizzato dalle migliorate caratteristiche meccaniche e dalle ridotte caratteristiche di permeabilità.

In funzione delle necessità di Progetto, i trattamenti jet consentono varie applicazioni, atte alla realizzazione di:
- colonne orizzontali e verticali, ottenute con la rotazione delle aste in fase di iniezione, come sopra descritto;
- setti verticali, ottenuti bloccando la rotazione delle aste in fase di iniezione;
- setti sub-orizzontali, ottenuti a rotazione, ma consentendo l'estrazione delle aste solo per valori discreti.

In funzione del numero di fluidi utilizzati, si distinguono tre principali sistemi di gettiniezione:
- Sistema mono-fluido:
  l'iniezione ad alta velocità della miscela avviene attraverso gli ugelli laterali di una testa "monitor" montata sulla batteria di aste di perforazione e solidale all'utensile di disgregazione.
  La miscela, eiettata ad elevata pressione, funge da mezzo disgregante e di miscelazione del terreno circostante.
- Sistema bi-fluido:
  l'iniezione ad alta pressione della miscela avviene attraverso degli ugelli a fori coassiali, che permettono di iniettare la miscela cementizia dal foro centrale insieme ad un getto di aria in pressione uscente dal foro anulare. Con tale sistema si riesce a mantenere coerente ed energizzato su più lunga distanza il getto di miscela cementizia, l'aria fungendo da elemento "contenitore" della rosa di apertura di quest'ultimo.
- Sistema tri-fluido:
  l'iniezione ad alta pressione della miscela avviene attraverso un ugello posto nella parte inferiore della batteria di aste di perforazione mentre la disgregazione del terreno avviene attraverso un secondo ugello, posto al di sopra del primo, che inietta acqua ad elevata pressione. L'efficacia del getto d'acqua è incrementata da un getto coassiale (ed anulare) di aria compressa.

Con tale sistema l'azione disgregante avviene quindi tramite il getto ad elevata pressione di acqua ed aria, mentre la miscela viene iniettata nel terreno già disgregato e con contenuto d'acqua incrementato.

Lo spazio anulare tra il terreno e la batteria di aste, dovuto alla maggiore dimensione dell'utensile di perforazione rispetto a queste ultime, permette il flusso verso la superficie del fluido in eccesso, comunemente definito spurgo. Quest'ultimo deve essere canalizzato e allontanato dall'area di perforazione per poi essere smaltito o riutilizzato nel rispetto delle normative vigenti.

Si riepiloga di seguito, per i vari sistemi di gettiniezione l'azione disgregante e stabilizzante di miscela cementizia, aria e acqua:

	sistema gettiniezione					
	monofluido		bifluido		trifluido	
	disgrega	stabilizza	disgrega	stabilizza	disgrega	stabilizza
mix cemento						
aria						
acqua						

Il numero di fluidi impiegati implica tipologie di aste di adduzione, da 1 a 3 vie, di diametro e peso differente, che condizionano le possibili inclinazioni di trattamento. Detta "I" l'inclinazione sulla verticale in gradi sessagesimali, si hanno, indicativamente, i seguenti limiti:

Tipologia trattamento	Inclinazione "I"
Mono-fluido	100°
Bi-fluido	15°
Tri-fluido	0°

Tra le possibili varianti metodologiche ai sistemi principali sopra elencanti si ammettono:
- la possibilità di eseguire una disgregazione preliminare del terreno con un operazione preventiva all'iniezione vera e propria con getto ad alta energia di sola acqua, cosiddetta di pretaglio o prelavaggio.
- l' accoppiamento di acqua e miscela ad alta energia senza l' utilizzo dell' aria.

A prescindere dalla tecnologia prescelta, si può incrementare la resistenza meccanica della colonna, con armature in acciaio o vetroresina, che possono essere inserite all'interno della colonna prima della presa oppure dopo parziale o completa maturazione, mediante riperforazione della colonna e successiva cementazione.

I trattamenti di gettiniezione possono avere diverse finalità poiché è possibile costituire nel sottosuolo elementi consolidati di forma e dimensioni svariate, dotati di buone caratteristiche meccaniche e di ridotta permeabilità. Infatti, gli elementi consolidati possono essere sagomati riducendo opportunamente l'interasse dei trattamenti, al fine di collegare tra loro diverse colonne consolidate, e ricorrendo a diversi possibili accorgimenti costruttivi, ad esempio variando l'inclinazione delle colonne o interrompendo il trattamento in alcuni tratti di perforazione (perforazione a vuoto). Gli elementi consolidati possono essere inoltre rinforzati con l'inserimento di armature metalliche o di vetroresina, per conferire alle colonne una certa resistenza a trazione e/o a flessione quando richiesto: Nello specifico si hanno i seguenti campi di applicazione:
- di consolidamento, se mirati a modificare le caratteristiche meccaniche, resistenza e deformabilità del mezzo trattato per le seguenti finalità: al di sotto di fondazioni dirette, fondazioni a pozzo,

fondazioni di opere preesistenti, sostegno di scavi a cielo aperto, gallerie con trattamenti dall'esterno per basse coperture e gallerie con trattamenti in avanzamento dall'interno;
- di impermeabilizzazione, se mirati a modificare le caratteristiche idrauliche, o di permeabilità del mezzo trattato per diaframmi di tenuta e tamponi di fondo.

Si evidenzia tuttavia che non tutti i terreni possono essere efficacemente consolidati con questa tecnica. Il progetto deve prevedere delle indagini finalizzate alla caratterizzazione geotecnica del sottosuolo. Particolare cura deve essere posta all'esame delle condizioni stratigrafiche, in modo da individuare possibili variazioni anche locali delle caratteristiche del terreno, vista la spiccata influenza di queste ultime sugli effetti del jet grouting. Sulla base di questi dati sperimentali è possibile verificare l'idoneità dei terreni al trattamento. Si raccomanda, in particolare, di non prevedere interventi di jet grouting in argille fortemente sovraconsolidate, terreni cementati e rocce per i quali il trattamento è inefficace.

7.2 Normative di riferimento

Nella esecuzione di trattamenti de gettiniezione si farà riferimento alle normative generali sui lavori pubblici:

- D.M. del Ministero dei lavori Pubblici del 11/3/1988 "Norme Tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione"
- Circolare LL PP N° 30483 del 24/09/1988 "Istruzioni riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione"
- UNI EN 197-1: Cemento – Parte 1: Composizione, specificazioni e criteri di conformità per cementi comuni
- UNI EN 206: Calcestruzzo: Specificazione, prestazione, produzione e conformità
- UNI EN 16228: Macchine perforatrici - sicurezza
- UNI EN 12716: Esecuzione di lavori geotecnici speciali - Jet Grouting
- UNI EN 10210-1: "Profilati cavi finiti a caldo di acciai non legati e a grano fine per impieghi strutturali - Parte 1: Condizioni tecniche di fornitura"
- UNI EN 10210-2: "Profilati cavi finiti a caldo di acciai non legati e a grano fine per impieghi strutturali - Parte 2: Tolleranze, dimensioni e caratteristiche del profilo"
- UNI EN 480: Additivi per calcestruzzo, malta e malta per iniezione – Metodi di prova
- UNI EN 934-2: Additivi per calcestruzzo, malta e malta per iniezione – Additivi per calcestruzzo - Definizioni e requisiti

7.3 Criteri di accettazione dei materiali

7.3.1 Armatura dei trattamenti colonnari

Quando previsto in Progetto, le colonne dovranno essere armate con i seguenti elementi strutturali.

7.3.1.1 Tubi in acciaio

L'armatura tubolare sarà costituita da profilati cavi per impieghi strutturali formati a caldo (con o senza saldatura), di caratteristiche geometriche e qualità dell'acciaio conformi a quanto indicato nei disegni di Progetto, dotati di marcatura CE e DoP in conformità alla norma UNI EN 10210-1 con sistema di attestazione della conformità 2+.

Non è consentito l'impiego di profilati cavi per impieghi strutturali formati a freddo di cui alla norma UNI-EN 10219-1. Il tipo di acciaio dovrà corrispondere a quanto riportato in Progetto. Le giunzioni tra i diversi spezzoni di tubo dovranno essere ottenute mediante manicotti filettati; Il sistema di filettatura e le sezioni geometriche della zona di raccordo dovranno assicurare una trazione ammissibile pari almeno all'80% carico ammissibile a compressione.

7.3.1.2 Profilati in acciaio

Eventuali profilati in acciao dovranno avere caratteristiche geometriche e meccaniche conformi a quanto prescritto nei disegni di Progetto e qualificate e verificate secondo quanto specificato all'art. 25 di questo capitolato.
Qualora la lunghezza di Progetto superi le lunghezze standard di fabbricazione, o per motivate opportunità di messa in opera, i profilati dovranno essere giuntati; le giunzioni potranno essere saldate e/o imbullonate, realizzate con l'impiego di fazzoletti laterali.
Le giunzioni saranno dimensionate ed eseguite in conformità alle norme in vigore; le saldature dovranno essere eseguite da un operatore qualificato secondo la norma UNI 4634.
Il tipo di giunzione scelta, prima di essere adottata, dovrà essere sottoposto a verifica statica della quale sarà fornita copia alla Direzione Lavori per approvazione.
Qualora all'atto dell'arrivo in cantiere dei materiali, non fosse fornita la certificazione d'origine, tutta la fornitura sarà considerata non idonea e verrà immediatamente allontanata dal cantiere stesso a totale cura e spese dell'Appaltatore.

7.3.1.3 Barre in acciaio speciale

Le barre dovranno essere in acciaio dei tipo ad aderenza migliorata di qualità e caratteristiche conformi a quanto specificato nel D.M. del 17/01/2018 comprese le barre in acciaio speciale ed a filettatura continua ad alto limite di snervamento o simili. Tali armature dovranno essere qualificate e controllate secondo quanto specificato all'art 24 di questo capitolato.

7.3.1.4 Vetroresina

Il progetto può prevedere armature in vetroresina prodotte con resina poliestere termoindurente rinforzata con fibre di vetro, sia a sezione circolare, piena o cava, con diametri variabili da 20 a 60mm, sia in guisa di profilati ed elementi piatti o con geometria particolare: a doppio T, a U, prismatica.
I materiali utilizzati dovranno essere certificati dal produttore. Le caratteristiche di qualifica e controllo dovranno essere conformi a quanto indicato all'art. 1 della sezione materiali di questo capitolato.

7.3.1.5 Altri materiali

L'Appaltatore potrà proporre l'uso di armature composte con materiali differenti da quanti sopra indicati, fornendo alla Direzione Lavori, per la relativa eventuale approvazione, ogni documentazione tecnica necessaria alla relativa qualificazione.

7.3.2 Miscele cementizie

Le miscele impiegate per la formazione del fusto dovranno essere conformi alle caratteristiche di seguito ammesse salvo più stringenti prescrizioni progettuali. Le miscele di iniezione sono composte da acqua (A) e cemento (C) dosati secondo rapporti in peso variabili, talvolta con l'aggiunta di additivi.

7.3.2.1 Caratteristiche dei materiali costituenti le miscele

In funzione delle condizione di aggressività del terreno, come riportato nella norma UNI EN 206, dovrà essere selezionato l'opportuno tipo di cemento dotato di marcatura CE e DoP in conformità alla norma europea armonizzata UNI EN 197-1 con sistema di attestazione della conformità di tipo 1+.

Per la produzione delle miscele dovranno essere impiegate i seguenti tipi di acqua conformi alla Norma UNI EN 1008:

- *potabili*: sono considerate idonee senza la necessità di essere sottoposte a prove;
- *di ricupero dei processi dell'industria del calcestruzzo*: sono considerate idonee se conformi ai requisiti dell'appendice A della UNI EN 1008;
- *di origine sotterranea*: sono considerate idonee se conformi ai requisiti del § 4 della UNI EN 1008 e devono essere sottoposte a prove;
- *naturale di superficie e acque reflue industriali*: sono considerate idonee se conformi ai requisiti del § 4 della UNI EN 1008 e devono essere sottoposte a prove.

Quando si combinano più tipi di acqua, i requisiti si applicano all'acqua combinata. Non sono ammesse acque marine o salmastre né acque nere.

E' ammesso l'impiego di additivi:

- fluidificanti non aeranti
- ritardanti di presa o di fluidificanti con effetto ritardante
- stabilizzanti e, nel caso di impiego di bentonite, in dosaggio inferiore al 3% del cemento

In presenza di falde in movimento è prescritto l'impiego di prodotti acceleranti di presa o di additivi di protezione della miscela dal dilavamento, di tipo idrorepellente.
Gli additivi sono utilizzati per modificare le proprietà della miscela nello stato fresco e/o indurito e devono essere muniti di attestato CE in conformità ai requisiti della norma UNI EN 934-2 come richiesto dalle NTC2018 e con sistema di attestazione della conformità di tipo 2+.
L'Appaltatore, per ogni additivo impiegato deve presentare una specifica documentazione indicante:

- le caratteristiche chimico-fisiche,
- le motivazioni d'impiego
- i dosaggi ottimali
- eventuali effetti collaterali dell'additivo sulla malta
- modalità di miscelazione e scheda di sicurezza

In generale, a partità di caratteristiche tecniche, si dovrà preferire prodotti ad elevate prestazioni ambientali (ad es. biodegradabilità).

7.3.2.2 Dosaggi e caratteristiche

Per interventi di consolidamento le miscele cementizie sono preparate adottando un dosaggio in peso acqua/cemento usualmente compreso entro:
$0,7 \leq a/c \leq 1,2$
Il dosaggio proposto deve essere finalizzato agli obbiettivi del Progetto e deve esserne comprovata l'idoneità attraverso il campo prove.
A meno che altrimenti specificato nel Progetto, dovrà essere effettuato un prelievo di miscela dall'impianto di miscelazione ogni giorno lavorativo, sul quale verranno effettuate prove di densità e di decantazione.
Il prodotto fresco dovrà avere le seguenti caratteristiche:

- scostamento del peso specifico dal valore teorico: ±2%

- decantazione a due ore dalla preparazione: ≤15% in volume o comunque quanto specificato in Progetto
- Viscosità Marsh (secondi) 28÷45
- Densità (kg/cm³) 1,5÷1,7

Indipendentemente dal sistema di gettiniezione monofluido, bi o trifluido e salvo diverse indicazioni progettuali, la resistenza a compressione semplice del terreno consolidato dovrà risultare > 6 MPa a ventotto giorni nei materiali incoerenti, con limite minino di 1.5 Mpa a ventotto giorni o in alternativa 2 MPa a quaranta giorni negli eventuali interstrati di terreni coesivi, salvo diverse indicazioni fornite dalla Direzione Lavori d'intesa con il Progettista, a seguito dei risultati del campo prova.
Il valore dell'R.Q.D. (Indice di Recupero Modificato) dovrà risultare non inferiore al 70%.

7.4 Criteri di accettazione per le perforazioni

7.4.1 Attrezzature di perforazione ed iniezione

Le attrezzature, gli utensili e le modalità di perforazione dovranno essere scelti dall'Appaltatore in modo da assicurare il raggiungimento delle lunghezze previste in Progetto, l'attraversamento di eventuali strati di terreno lapidei o cementati, il superamento di eventuali residui in muratura o calcestruzzo, il superamento di trovanti di durezza e dimensione qualsiasi, la stabilità delle pareti di perforazione, indipendentemente dalle previsioni geognostiche formulate in Progetto.
Le caratteristiche del monitor sono diverse a seconda che si adotti il metodo monofluido, bifluido o trifluido. L'Appaltatore deve specificare le caratteristiche del monitor in fase di qualifica di cui al § 7.5.
Le attrezzature di perforazione dovranno essere inoltre idonee a garantire il rispetto delle tolleranze più ristrettive fra quante di seguito indicate e quelle di Progetto.
Le attrezzature, dovranno essere conformi a tutte le norme di sicurezza ed igiene del lavoro vigenti ed in particolare alla serie di norme UNI EN 16228, per quanto riguarda le caratteristiche meccaniche, esse dovranno rientrare nelle seguenti prescrizioni tecniche:

- la giunzione e lo sviamento della batteria di perforazione/iniezione deve avvenire per mezzo di apposite morse;
- tutte le attrezzature dovranno essere dotate di un'antenna di altezza adeguata per eseguire l'iniezione della colonna gettiniettata senza interruzioni per all'avvitamento/svitamento di aste nella colonna di aste, salvo condizioni particolari per lunghezza della colonna o per condizionamenti dall'ambito operativo;
- l'attrezzatura deve essere in grado di garantire i limiti di tolleranza posti per la perforazione, impiegando la tipologia di aste, da 1 a 3 vie, prevista in funzione del trattamento da eseguire.
- dovranno essere munite di dispositivi di comando e di contagiri per il controllo della velocità di rotazione delle aste ed inoltre di dispositivi per la regolazione della velocità di risalita delle aste stesse (temporizzatore a scatti o simili), atti a regolare le velocità di risalita e rotazione tramite temporizzatore od altro idoneo dispositivo che determini una risalita continua, od a scatti uniformi (massimo 3÷5 cm) ad intervalli prestabiliti: il sistema di risalita dovrà comunque garantire la continuità della colonna resa.

7.4.2 Sistema di acquisizione dei parametri di perforazione ed iniezione

Tutti i parametri di perforazione dovranno essere acquisiti con un sistema di registrazione in automatico; il sistema dovrà essere al minimo in grado di acquisire e restituire i seguenti valori alle varie quote:

- spinta

- coppia
- velocità di avanzamento
- energia di perforazione
- portate e pressioni del fluido di perforazione

L'attrezzatura di registrazione dovrà prevedere il controllo dei valori su video installato accanto al quadro comandi dell'operatore, in modo da consentire a questi il controllo delle operazioni.
Le attrezzature d'iniezione dovranno essere dotate di sistema automatico di registrazione dei parametri principali di iniezione:

- portate e pressioni di iniezione dei fluidi, a seconda della tecnologia prescelta (mono, bi, tri fluido)
- velocità di rotazione e di risalita del monitor
- volume della miscela iniettata per colonna

I dati acquisiti dovranno essere riportati graficamente in diagrammi singoli in scala che ne consenta un'agevole interpretazione, con diagrammi dei parametri registrati in funzione sia della profondità che dei tempi esecutivi; tali registrazioni verranno fornite giornalmente alla Direzione Lavori in formato cartaceo e formato elettronico con relativo programma interpretativo.
La centralina del sistema di acquisizione dati dovrà essere integrata con software per la combinazione dei dati di tutti gli assi trattati e rappresentazione grafica piana e spaziale.

7.4.3 Impianto di preparazione miscele cementizie e di pompaggio

Le miscele cementizie saranno confezionate con impianti a funzionamento automatico o semiautomatico, costituiti dai seguenti principali componenti:

- sili per cemento
- contenitore di additivi
- bilance elettroniche per componenti solidi;
- vasca volumetrica per acqua, o contalitri elettronici regolabili
- mescolatore primario ad elevata turbolenza (min. 1'500 giri/min);
- vasca di agitazione secondaria e dosatori volumetrici per le miscele cementizie.

L'Appaltatore deve dimensionare il fabbisogno dell'impianto in m^3/h in funzione della produzione prevista nel programma esecutivo dei lavori e tale informazione deve essere fornita in sede di qualifica di cui al seguente § 7.5.
L'impianto dovrà essere certificato nel funzionamento e nella taratura degli strumenti di misura ponderale e volumetrica; la verifica delle tarature potrà essere richiesta dalla Direzione Lavori con periodicità da questa prefissata e comunque ove le circostanze lo suggeriscano.
La centrale di pompaggio si comporrà di pompe ad alta pressione per l'invio del fluido disgregante, di pompe a media pressione per l'invio della miscela cementante nel sistema trifluido, e di compressori d'aria quando richiesta dal sistema di iniezione.
Le pompe di iniezione ad alta pressione dovranno essere dotate di appositi dispositivi automatici di sicurezza che, in caso di anomali sovrappressioni, ne blocchino istantaneamente il funzionamento.
Le pompe dovranno essere provviste di manometri di primo impiego, installati direttamente sulla mandata ed in prossimità del raccordo tra i tubi ad alta pressione e la batteria delle aste di iniezione.
Le pompe dovranno essere dotate di dispositivi che consentano la regolazione della portata; le stesse dovranno garantire, a regime, la normale erogazione di fluido ai seguenti livelli di prestazione:

- pressione di pompaggio 60 Mpa
- portata di pompaggio 300 l/min

Tutte le linee di iniezione e tutti i componenti di ciascuna (tubazioni, raccorderia, manometri, pistoncini, guarnizioni, cavalletti di iniezione, eccetera) devono essere idonei a sopportare le

pressioni massime di impiego previste e dovranno essere dotate di appositi fusibili di protezione, in caso di superamento di predeterminati valori della pressione in linea.

7.4.4 Campo prove preliminare

7.4.4.1 Soggezioni geotecniche, idrologiche ed ambientali

Le tecniche di perforazione e le modalità di gettinizione dovranno essere definite con un campo prove preliminare, in relazione alla natura dei materiali da attraversare e delle caratteristiche idrogeologiche locali mediante esecuzione di colonne di prova in numero rapportato alla funzione e alla quantità di colonne di terreno consolidato previste in Progetto, con un minimo di una colonna di prova per elemento strutturale e comunque secondo le prescrizioni indicate nel Progetto e dalla Direzione Lavori.
L'esecuzione delle prove tecnologiche, necessarie per la scelta delle attrezzature di perforazione ed i principali dettagli esecutivi, sono a cura e spese dell'Appaltatore.
In particolare, la tecnica di gettiniezione si caratterizza, nella sua efficienza e riuscita, per una forte connessione alle caratteristiche idrogeologiche del terreno; inoltre, in determinate circostanze, può determinare effetti non desiderati nell'ambiente e quindi sulle preesistenze.
Attesa la possibile invasività del metodo, previamente alla esecuzione di ogni trattamento andranno accertati i possibili effetti dei trattamenti sull'ambiente; al minimo saranno obbligatori i seguenti accertamenti:

- effetti della gettiniezione su falde accertate dall'indagine idrogeognostica;
- effetti di rigonfiamento del terreno a seguito della gettiniezione, specie in presenza di formazioni coesive;
- accertamento dello stato di consistenza delle preesistenze interessate dai trattamenti; l'accertamento deve essere spinto sino la valutazione delle soglie di attenzione ed allarme strutturale a seguito di sollevamenti ed effetti distorsivi; per ogni unità verrà redatta una dettagliata scheda di accertamento e rilievo anche strutturale;
- accertamento dello stato di consistenza degli edifici a rischio di interferenza (testimoniali di stato) come da CSA parte prima;
- stato di consistenza dei piani inferiori delle preesistenze (cantine e scantinati inclusi) a diretto contatto con il terreno;
- accertamento di obbiettivi impiantistici sensibili esposti ad eventuali effetti derivati dalla gettiniezione;
- accertamento dell'assenza, all'interno dell'area di lavoro, di tubazioni, cavi elettrici o manufatti sotterranei che, se incontrati durante la perforazione, possano arrecare danno alle maestranze di cantiere o a terzi.

In tutte le fasi esecutive, comprese le fasi di preparazione e di sistemazione finale delle aree, per gli aspetti e le problematiche relative a temi ambientali, quali impatti acustici e vibrazionali, emissioni in atmosfera, impatto sulle acque superficiali, sotterranee e sul suolo, impatti sulla componente fauna e vegetazione, si rimanda integralmente a quanto prescritto dalla Normativa Nazionale e Regionale vigente, alle prescrizioni degli Enti preposti alla tutela ambientale, nonché alle condizioni ambientali contenute nelle autorizzazioni ed alle disposizioni del Capitolato Ambientale allegato al progetto esecutivo.
In particolare, per la corretta gestione degli impatti acustici e vibrazionali derivanti dalla lavorazione, si richiama l'obbligo per l'Appaltatore di provvedere a un'opportuna campagna informativa della popolazione.

7.4.4.2 Obiettivi del campo prove

Il campo prove preliminare deve essere mirato a:

a. Ottimizzare la scelta delle metodologie e dei prodotti di gettiniezione idonei ai trattamenti in Progetto e quindi che garantiscano il conseguimento dei requisiti progettuali (diametro della colonna, resistenza a compressione, modulo elastico, densità, coefficiente di permeabilità e caratteristiche meccaniche dei terreni trattati), nei tempi programmati
b. Valutare l'influenza della eventuale falda, in termini di carico idraulico e velocità di filtrazione, per le tarature tecnologiche e la definizione dei prodotti da impiegare
c. Verificare l'idoneità delle attrezzature programmate alle condizioni ambientali, morfologiche, stratigrafiche ed idrogeologiche dei terreni
d. Verificare ed ottimizzare la maglia del trattamento e miscele da impiegare.

Previamente alla esecuzione del campo prove, l'Appaltatore, interpretando le necessità del Progetto, deve informare e concordare con la Direzione Lavori:

a. la geometria del trattamento di prova (maglia) con estensione tale da garantire un volume di terreno omogeneamente trattato sufficiente per le sperimentazioni e verifiche.
b. l'ubicazione del campo prove, evidenziandone la totale corrispondenza altimetrica e geologica con il sito interessato dal Progetto di consolidamento
c. le tecniche di gettiniezione che verranno impiegate
d. le attrezzature di perforazione e sistema di acquisizione parametri

7.4.4.3 Controlli sulle colonne

Sulle colonne di prova verranno eseguiti, in base alle richieste della Direzione Lavori, le prove sottoelencate:

1. In sito: perforazioni con carotaggio continuo, non prima di 20 gg dalla data di completamento delle gettiniezioni. Nel caso di colonne singole, i carotaggi verranno eseguite su tutti gli elementi realizzati per l'intera loro lunghezza; le perforazioni saranno ubicate sia in asse alle colonne sia all'incirca a metà del raggio teorico di ciascuna colonna; nel caso di trattamenti concatenati, i carotaggi interesseranno: il centro di alcune colonne, alcuni punti di sovrapposizione fra le colonne e alcune direzioni; inoltre devono anche essere previsti carotaggi inclinati attraversanti il blocco di terreno trattato. Il numero verrà definito con la Direzione Lavori. Il carotiere utilizzato avrà diametro minimo di 85 mm. La percentuale di carotaggio non dovrà risultare inferiore all'85% della lunghezza teorica della colonna con RPM (recupero percentuale modificato) non inferiore al 50%.
2. In sito: per i trattamenti di impermeabilizzazione si eseguiranno prove d'acqua tipo Lefranc o Lugeon (a pressioni inferiori a quelle di idrofratturazione del terreno trattato).
3. In laboratorio: su campioni scelti dalla Direzione Lavori, ricavati dai predetto carotaggi continui, e da preparare in laboratorio, con altezza pari a 2 volte il diametro della carota, dovranno essere eseguite le prove di laboratorio, secondo specifica di Progetto o indicazioni della Direzione Lavori, comunque comprendenti:
   - prove di rottura a compressione semplice, con rilievo della curva sforzi-deformazioni, da eseguire: dopo ventotto giorni di maturazione della miscela per terreni incoerenti, dopo quaranta giorni per terreni coesivi, ed inoltre ai tempi di maturazione corrispondenti a quelli dell'effettivo utilizzo nel lavoro;
   - prove di trazione brasiliana;
   - prove triassiali ;
   - determinazione del valore dell'R.Q.D.
   - prove di permeabilità

Se dalle prove di cui sopra risulterà che non sono stati raggiunti i limiti di resistenza e continuità di cui ai successivi punti, la Direzione Lavori ordinerà la verifica del sistema ed eventualmente proporrà al Progettista la revisione del Progetto.
Al termine del campo prove l'Appaltatore presenterà un documento consuntivo completo dei seguenti punti:

- una esplicita dichiarazione che la fase sperimentale condotta sia risultata esauriente per accertare qualsiasi aspetto geologico e metodologico influente sul consolidamento da eseguire
- una relazione di quanto eseguito, specificando le attrezzature impiegate, la metodologia esecutiva del sistema adottato, le miscele approntate ed iniettate, le maglie ed i criteri di iniezione osservati
- i risultati di tutte le prove eseguite, in sito ed in laboratorio
- le comprovazioni di efficienza del campo sperimentale eseguito
- una relazione propositiva per il trattamento in Progetto, con ogni definizione inerente le attrezzature da impiegare, la metodologia esecutiva da osservare, la composizione delle miscele da iniettare, gli eventuali additivi, le maglie ed i criteri di iniezione da osservare.

La Direzione Lavori, sulla base del documento consuntivo presentato potrà richiedere ulteriori chiarimenti od approfondimenti; oppure darà approvazione per l'avvio della fase realizzativa, ferma restando la responsabilità dell'Appaltatore sulle proprie scelte realizzative.

7.4.4.4 Gestione dei materiali reflui

Il metodo implica la produzione di ingenti volumi di materiale refluo terreno/miscela; l'Appaltatore, previamente ad ogni attività produttiva, deve verificare la possibilità di sistemazione a deposito di detti volumi, acquisirne i diritti, ottimizzare il trasporto, ecc.
Tutte queste informazioni dovranno venire raccolte in uno studio completo che l'Appaltatore presenterà all'approvazione della Direzione Lavori con congruo anticipo rispetto all'avvio dei lavori.
Dovrà essere garantita la corretta gestione dei materiali di risulta in conformità a quanto previsto dal Capitolato Ambientale per quanto riguarda i rifiuti.

7.4.5 Piano di monitoraggio

A seguito degli accertamenti precedenti, l'Appaltatore deve provvedere ad integrare il piano di monitoraggio di Progetto esecutivo, se esistente, o comunque ad elaborarlo; andranno indicati esplicitamente:

1. il monitoraggio geotecnico
2. il monitoraggio delle preesistenze, automatico o manuale, inclusi gli edifici a rischio interferenza
3. le forme di presidio da attuare
4. le precauzioni da assumere, quale la provvisoria evacuazione di cose e/o persone da ambienti privati o pubblici

7.5 Documenti di prequalifica

L'Appaltatore deve trasmettere al Direttore dei Lavori per approvazione almeno 15 giorni prima dell'inizio delle attività, la documentazione di seguito elencata.
La mancata presentazione della documentazione preliminare comporta la non autorizzazione all'inizio dell'esecuzione dei lavori, né saranno accettate eventuali lavorazioni svolte prima dell'approvazione delle modalità esecutive.

- Marcatura CE, DoP e scheda tecnica con le condizioni climatiche limite di utilizzo e le modalità di posa dei materiali. Laddove la DoP non riporti uno specifico requisito richiesto, l'Appaltatore deve allegare anche un certificato eseguito da un Laboratorio Ufficiale a dimostrazione della conformità del prodotto che intende proporre. Per i materiali ove è presente un articolo di capitolato specifico si rimanda ai contenuti di qualifica dell'articolo di riferimento;
- La certificazione del sistema di controllo della produzione (FPC) e il Certificato UNI EN ISO 9001 del sistema di gestione qualità delle società produttrici dei materiali;
- La relazione che riporti lo studio dettagliato sul campo prove preliminare con i contenuti di cui al § 7.4;
- La relazione riportante lo studio tecnologico della miscela da utilizzare nel rispetto dei contenuti di cui al § 7.3.2;
- La descrizione delle attrezzature di perforazione ed iniezione, del sistema di acquisizione dei parametri di perforazioone e dell'impianto di miscelazione nel rispetto dei contenuti di cui ai §§ 7.4.1, 7.4.2 e 7.4.3;
- La definizione delle modalità operative da seguire nel corso delle iniezioni, indicando pressioni, velocità, portate, composizione delle miscele impiegate, numero e tipo di ugelli, ecc. (parametri di trattamento);
- Il pantentino degli operatori per perforatori piccolo-grande diametro che saranno impegnati nelle lavorazioni;
- Gli accorgimenti da adottare per evitare che i trattamenti abbiano a danneggiare le preesistenze, i monitoraggi strumentali e non che attuerà nel confronto delle preesistenze, eccetera;
- La planimetria con la numerazione e la posizione delle gettizzazioni e la sequenza di lavorazione.

Le prove e i certificati di accettazione iniziale della fase di prequalifica sono da ripetere ad ogni cambio fornitore o tipo di materiale a cura ed onere dell'Appaltatore.
I requisiti d'accettazione potranno inoltre essere accertati con ulteriori prove a cura della Direzione Lavori sia in in fase di prequalifica (controllo non vincolante per l'autorizzazione), sia in corso d'opera, prelevando il materiale in sito, prima e dopo avere effettuato le lavorazioni.

7.6 Modalità esecutive

7.6.1 Tracciamento, programma lavori

Prima di iniziare le attività di perforazione l'Appaltatore dovrà indicare sul terreno la posizione dei punti di trattamento da contrassegnare con picchetti, marche od altro, sistemati in corrispondenza dell'asse di ciascun punto di trattamento, salvaguardando elementi di riferimento esterno non amovibili nel corso dei lavori medesimi.

7.6.2 Esecuzione dei trattamenti

In relazione al diametro nominale dei trattamenti colonnari, per colonne minori e maggiori di 1,0 m, valgono le modalità operative di seguito riportate.

7.6.2.1 Trattamenti colonnari monofluido fino a 1,00 m di diametro

Comprendono le seguenti fasi di lavorazione:

- perforazione a rotazione o rotopercussione, di diametro adeguato, eseguita con impiego di rivestimento provvisorio, se necessario;
- miscelazione e pompaggio iniezione di una miscela di acqua e cemento nei rapporti ponderali approvati in sede di qualifica, con l'impiego di additivi stabilizzanti, fluidificanti, acceleranti o

ritardanti di presa, espansivi, impermeabilizzanti, antidilavamento, ecc., secondo le indicazioni del Progetto Esecutivo o le risultanze del campo prove.

La pressione di pompaggio della miscela, misurata al manometro a bocca foro, dovrà essere superiore a 30 MPa e la quantità di miscela iniettata dovrà superare il 70 % del volume teorico del terreno da trattare, con un minimo di 350 kg di cemento (peso secco) per metro cubo di terreno trattato.

In fase di gettiniezione attraverso gli ugelli posti alla estremità inferiore delle aste di iniezione, a queste ultime viene impresso un moto di rotazione ed estrazione a velocità predeterminata, tale comunque da soddisfare le seguenti condizioni:

- velocità di rotazione: 15÷35 giri/min;
- velocità di estrazione: 40÷100 cm/min.

7.6.2.2 Trattamenti colonnari bi e trifluido di diametro superiore a 1.00 m

Comprendono le seguenti fasi di lavorazione:

- perforazione a rotazione o rotopercussione di diametro adeguato, eseguito con impiego di rivestimento provvisorio, se necessario;
- -attraverso ugelli separati, dalle aste di perforazione vengono iniettati: acqua oppure aria ed acqua ad altissima pressione per la disgregazione del terreno; una miscela di acqua e cemento per il consolidamento del terreno, nei rapporti ponderali approvati in sede di qualifica, con l'impiego di additivi stabilizzanti, fluidificanti, acceleranti o ritardanti di presa, espansivi, impermeabilizzanti, antidilavamento, ecc., secondo le disposizioni del Progetto Esecutivo o le risultanze del campo prove.

La pressione di alimentazione nel circuito di iniezione dell'acqua dovrà essere superiore a 40 MPa; quella della miscela di 2-7 MPa e la quantità di miscela iniettata dovrà superare il 70% del volume teorico del terreno da trattare, con un minimo di 400 kg di cemento (peso secco) per metro cubo di terreno trattato. Mentre aria, acqua e miscela fuoriescono dagli ugelli posti all'estremità della batteria di aste di iniezione, a quest'ultima viene impresso un moto di rotazione e risalita a velocità predeterminata, tale comunque da soddisfare le seguenti condizioni:

a - trattamento bifluido

- velocità di rotazione: 5÷15 giri/min;
- velocità di risalita: 10÷25 cm/min

b - trattamento trifluido

- velocità di rotazione: 3÷10 giri/min;
- velocità di risalita: 5÷12 cm/min

7.6.3 Armatura dei trattamenti colonnari

Quando previsto in Progetto, le colonne dovranno essere armate con elementi strutturali da porre in opera con uno dei seguenti 2 sistemi:

- se in materiale rigido, gli elementi potranno essere introdotti a spinta con idonea attrezzatura nel corpo delle colonne in corrispondenza del perforo appena ultimata l'iniezione e prima che la miscela inizi la presa.
- se da introdurre ad avvenuta presa della miscela, si dovrà procedere alla esecuzione di un foro di diametro adeguato nel corpo delle colonne, all'introduzione dell'armatura (tubi o barre in acciaio) ed al suo inghisaggio mediante iniezione a pressione di malta di cemento; la malta verrà iniettata attraverso lo stesso tubo in acciaio, in caso d'impiego di armatura metallica e tubolare, ed attraverso un tubo in PVC quando l'armatura è in barre.

7.7 Controlli

7.7.1 Controlli dell'Appaltatore

7.7.1.1 Controlli dei documenti di accompagno delle forniture in cantiere

Tutte le forniture in cantiere devono essere accompagnate dal Documento di trasporto DDT. Per le armature occorre altresì la presenza degli ulteriori seguenti documenti:
- Copia della Marcatura CE e DOP (se applicabile)
- Certificato di controllo interno 3.1. di cui alla norma UNI EN 10204

L'Appaltatore deve sempre verificare la rispondenza tra i documenti di cui sopra e le forniture in arrivo in cantiere e consegnare settimanalmente copia di detti documenti alla Direzione Lavori.

7.7.1.2 Piano di monitoraggio

L'Appaltatore deve provvedere ad integrare il piano di monitoraggio di Progetto esecutivo, se esistente, o comunque ad elaborarlo con i contenuti di cui al § 7.4.5. Con cadenza mensile tale piano deve essere consegnato alla Direzione Lavori.

7.7.1.3 Controlli sulle miscele

Ogni giorno, preliminarmente alla prima operazione di getto, l'Appaltatore dovrà verificare la rispondenza delle caratteristiche delle miscele ai documenti di qualifica a mezzo del proprio laboratorio di cantiere. Quando la miscela è conforme l'Appaltatore condivide il report o il certificato e chiama la Direzione Lavori che con il proprio laboratorio eseguirà le prove di cui al § 7.7.2.1.

7.7.1.4 Trattamenti colonnari

L'esecuzione di ogni trattamento colonnare sarà documentata mediante report automatico fornito dalla macchina ed eventualmente integrato a mano per i dati mancanti:
- data di inizio perforazione e termine iniezione;
- identificazione della colonna corrispondente alla planimetria di Progetto;
- profondità di perforazione con inizio e fine del tratto consolidato; restituzione dei dati di perforazione acquisiti in automatico,
- dati dell'iniezione;
  -parametri impiegati
  -tipo di miscela impiegata, con composizione e caratteristiche rilevate
  -assorbimento totale effettivo di miscela di iniezione;
  -tipo e quantitativo di additivi eventualmente impiegati
  -volume iniettato
  -eventuali perdite e/o comunicazioni in superficie
  -restituzione dei dati di iniezione acquisiti in automatico
- tipo di armatura posto in opera

Tali valori consentono di rilevare tempestivamente eventuali anomalie nei terreni attraversati, quali cavità, ostruzioni oppure livelli di maggiore consistenza al fine di individuare eventuali malfunzionamenti e di apportare gli opportuni correttivi.
Tale scheda dovrà essere riportata su apposito modello e trasmesso settimanalmente dall'Appaltatore alla Direzione Lavori.
La mancata, o parziale, evasione dei documenti richiesti non consentirà la contabilizzazione delle relative quantità.

7.7.1.5 Report Lavori

L'Appaltatore è tenuto a documentare in apposito report l'esito delle seguenti verifiche da trasmettere settimanalmente alla Direzione Lavori:

- rispondenza dei documenti di trasporto delle forniture all'arrivo in cantiere e la rispondenza delle caratteristiche per lo specifico impiego previsto a progetto e alla qualifica approvata dal Direttore dei Lavori;
- rispondenza delle modalità di posa, inclusi i mezzi d'opera utilizzati, alle specifiche di capitolato e di qualifica;
- controlli sulle miscele di cui ai §§ 7.7.1.3 e 7.7.2.1.
- controlli sulle colonne consolidate di cui al § 7.7.1.4.
- altri controlli effettuati in corso d'opera dalla Direzione Lavori di cui ai successivi paragrafi

7.7.2 Controlli della Direzione Lavori

I controlli di accettazione in cantiere devono essere eseguiti dalla Direzione Lavori, in contraddittorio e con l'assistenza dell'Appaltatore nelle modalità di seguito indicate.

7.7.2.1 Controlli sulle miscele

Quando l'Appaltatore dopo le verifiche di cui al § 7.7.1.3 valuta conforme le miscele, condivide il report o il certificato di prova e chiama la Direzione Lavori che con il proprio laboratorio eseguirà con frequenza giornaliera le seguenti prove:

- sulle miscele fresche: decantazione a 2h, massa volumica e fluidità in conformità alle specifica della qualifica (vedere § 7.3.2.2) e progetto. Valori non conformi comporteranno l'impossibilità di eseguire il trattamento colonnare;
- sulle miscele indurite: la resistenza a 28 giorni nei limiti di cui al § 7.3.2.2.

7.7.2.2 Controlli sulle armature di rinforzo

Le armature di rinforzo saranno controllate nelle modalità e frequenza indicate negli articoli di pertinenza di questo capitolato.

7.7.2.3 Controlli sulle colonne consolidate

Trascorsi almeno 20 giorni dall'esecuzione dei consolidamenti, si procederà ai controlli dei risultati conseguiti.

I controlli sui trattamenti colonnari da eseguire con la frequenza di seguito indicata, dovranno essere finalizzati a verificare la congruenza dei risultati conseguiti in sede operativa con le tolleranze ammesse e le soglie minime di resistenza.

La geometria dei trattamenti (diametro, posizione e deviazione dell'asse, lunghezza) e la resistenza a compressione del terreno consolidato dovranno essere accertati con le prove sotto elencate su colonne scelte dalla Direzione Lavori:

- scavi di ispezione e prelievo di campioni indisturbati su tratti di colonne in ragione di una colonna ogni 100 eseguite; gli scavi dovranno essere spinti almeno fino alla profondità di 4 m e successivamente rinterrati procedendo a strati accuratamente compattati;
- sondaggi sulle colonne, in ragione di una colonna ogni 100 eseguite mediante carotaggio a rotazione continua con batteria di aste e doppio carotiere tipo T2 e/o T6s con corone diamantate di diametro nominale > 100 mm.

Il sondaggio dovrà essere posizionato all'incirca a metà del raggio teorico della colonna e dovrà essere spinto per tutta la lunghezza della colonna fino a penetrare nel terreno naturale alla base della stessa. Si dovrà evitare che l'acqua di spurgo dilavi la carota.
Le carote estratte devono essere custodite con cura in apposite cassette catalogatrici a cura dell'Appaltatore.
In questa fase dovrà essere determinato l'indice R.Q.D. (Indice di Recupero Modificato) espresso come percentuale di recupero del carotaggio tenendo conto dei soli spezzoni di carota di lunghezza > 100 mm che non deve essere minore al valore indicato al §7.3.2.2.
La Direzione Lavori selezionerà un certo numero di campioni per carota (mediamente da 3 a 5) da sigillare con paraffina entro fustelle in PVC e da inviare in laboratorio per le prove di resistenza a compressione i cui valori devono essere conformi a quanto indicato al § 7.3.2.2.
Negli scomparti delle cassette catalogatrici saranno inseriti distanziatori al posto dei campioni di carota prelevati per il Laboratorio e su ciascuno saranno indicati la quota e la lunghezza del campione.
Ogni cassetta verrà fotografata utilizzando film a colori ed avendo cura che le quote ed i riferimenti (cantiere, numero sondaggio) risultino leggibili anche nel fotogramma.
In alternativa, o in accoppiata, potranno prevedersi ulteriori comprovazioni del tipo:

- Carotaggi a distruzione con prove d'acqua tipo Lefranc e prove pressiometriche. A causa dei bassi valori di permeabilità attesi, le prove a carico variabile sono le più indicate (UNI CEN ISO/TS 17892-11)
- Perforazioni a distruzione con registrazione automatica dei parametri di perforazione. Si registrano con continuità i principali parametri di perforazione (spinta della punta, velocità di rotazione, velocità di avanzamento, coppia di torsione perforante, pressione del fluido perforante). Questa tecnica è più rapida ed economica rispetto al carotaggio continuo ma è in grado di fornire soltanto informazioni qualitative. Inoltre, i risultati delle perforazioni devono essere necessariamente confrontati con quelli relativi al terreno non trattato

Qualora dalle prove di cui sopra risultasse che anche uno solo dei parametri sottoelencati:

- tolleranze geometriche
- posizione dell'asse
- deviazione dell'asse
- lunghezza
- diametro
- resistenza a compressione semplice
- valore di R.Q.D.

è variato rispetto a quanto stabilito in sede di progettazione o a seguito delle definizioni emerse dal campo prove indicato al § 7.4.4, la Direzione Lavori, d'intesa con il Progettista, effettuerà una verifica della sicurezza progettuale residua.
Nel caso che tale verifica dia esito positivo, il trattamento colonnare verrà accettato, ma verrà penalizzato il lotto oggetto di difetto della prova.
In caso di esito negativo, l'Appaltatore sarà tenuto a sua totale cura e spese al rifacimento dei trattamenti, oppure all'adozione di quei provvedimenti che, proposti dallo stesso, per diventare operativi, dovranno essere formalmente approvati dalla Direzione Lavori, per quindi essere realizzati.

7.8 Tolleranze geometriche

Le tolleranze ammesse sull'assetto geometrico delle colonne di terreno consolidato sono le seguenti:

- la posizione dell'asse di ciascun punto di trattamento non dovrà discostarsi da quella di Progetto più di 5 cm salvo diverse prescrizioni della Direzione Lavori;
- la deviazione dell'asse della colonna rispetto all'asse di Progetto non dovrà essere maggiore del 1,5%;
- la lunghezza non dovrà differire di ±15 cm da quella di Progetto;
- il diametro delle colonne non dovrà in nessun caso risultare inferiore a quello nominale indicato in Progetto.
- nel caso di colonne sovrapposte, le sovrapposizione dovranno essere tali da garantire la prescritta funzionalità del trattamento

I limiti di tolleranza indicati hanno valenza generale; per circostanze particolari potranno essere imposti limiti più restrittivi, secondo prescrizioni indicate nel Progetto.
Nel caso di trattamenti concatenati, ove è richiesta la sovrapposizione geometrica delle colonne, potrà essere richiesta dalla Direzione Lavori la verifica di deviazione dalla verticale per tutte le colonne, mediante sistema inclinometrico (o similare purché approvato). Sarà onere dell' Appaltatore fornire la restituzione geometrica d' insieme delle deviazioni ottenute.
L'Appaltatore sarà tenuto ad eseguire a proprio totale onere tutte le opere sostitutive e/o complementari che si rendessero necessarie per rendere piena funzionalità all'opera in caso di esecuzione non rientrante nelle tolleranze specificate, secondo le istruzioni impartite dalla Direzione Lavori.

Art. 8 Pozzi di fondazione

8.1 Definizione e campi di applicazione

Si definiscono pozzi quei manufatti fondati nel terreno caratterizzati da una pianta circolare, ellittica o poligonale, come indicato negli elaborati di Progetto. I pozzi possono essere impiegati per costituire fondazioni profonde che raggiungano le formazioni giudicate idonee a fornire la capacità portante di Progetto o con un adeguato immorsamento, costituire opere di sostegno o di stabilizzazione di movimenti franosi, o ancora a consentire l'esecuzione di opere di drenaggio.
L'esecuzione del pozzo potrà essere effettuata in materie di qualsiasi natura e consistenza, anche in presenza di acqua; dovrà avvenire garantendo durante le fasi di lavoro la stabilità delle pareti e del fondo dello scavo in modo tale da evitare franamenti o fenomeni di sifonamento e di sollevamento del fondo scavo in presenza di fenomeni di filtrazione, e comunque in modo tale da minimizzare la riduzione delle caratteristiche meccaniche del terreno circostante.
Il sostegno delle pareti di scavo potrà essere affidato a:

- interventi di sottomurazione,
- a coronelle di pali, di micropali o di diaframmi eseguiti preliminarmente alle operazioni di scavo,
- alla posa di centine metalliche o in c.a integrate con calcestruzzo spruzzato fibrorinforzato od armato con rete metallica, in fase di avanzamento dello scavo.

La stabilità del fondo scavo dovrà essere garantita durante tutte le fasi di lavoro adottando le opportune misure quali ad esempio l'estensione delle coronelle oltre la massima profondità di scavo, l'impiego di sistemi per il mantenimento del livello di falda al di sotto della profondità necessaria a garantire un adeguato margine di sicurezza.
Raggiunta la quota di base del pozzo, la parte strutturale dovrà risultare realizzata in modo conforme a quanto stabilito in Progetto, in dipendenza della funzione assegnata al pozzo e delle condizioni geotecniche e idrogeologiche del sottosuolo. Il materiale di risulta, proveniente dallo scavo, se ritenuto non idoneo al suo reimpiego, dovrà essere portato a deposito.

Si considera scavo a pozzo quello che ha, in sezione corrente, un'area teorica esterna non superiore a 120 mq. Scavi aventi un'area teorica superiore a 120 mq saranno considerati scavi di fondazione a sezione obbligata.

8.2 Criteri di accettazione dei sostegni delle pareti di scavo

I criteri di accettazione delle attività previste a progetto per il sostegno delle pareti di scavo sono già ricomprese negli articoli specifici di questo capitolato a cui si rimanda anche per la qualifica, per le modalità di esecuzione e per i controlli e le prove:

- interventi di sottomurazione: art. 20 e 24;
- coronelle di pali o micropali: art. 6; diaframmi: art. 5;
- centine metalliche o in c.a integrate con calcestruzzo spruzzato fibrorinforzato: art. 12 o 20; rete metallica: art 24;
- tiranti: art. 10;
- dreni: art. 9
- bulloni e chiodi all'aperto e in sotterraneo: art. 11;
- monitoraggio: art. 13.

8.3 Documenti di prequalifica

I documenti di qualifica che l'Appaltatore deve trasmettere al Direttore dei Lavori sono indicati negli specifici articoli di capitolato.

Tali documenti devono essere integrati e coerenti con quanto riportato nel § 8.4 afferente le modalità esecutive soprattutto in riferimento a:

- Sistema di monitoraggio del versante, delle opere di sostegno, della falda ove previsto a progetto
- Specifiche dei mezzi utilizzati per lo scavo, delle modalità di scavo e fasi di ribasso anche nel rispetto del PSC e POS approvato dal CSE
- Specifiche dei mezzi e delle attrezzature per l'esaurimento ed abbattimento della falda
- Specifiche delle opere definitive di drenaggio

8.4 Modalità esecutive

Preventivamente all'esecuzione di pozzi lungo versanti interessati da movimenti franosi, dovrà essere predisposto, in accordo con la Direzione Lavori, un sistema di monitoraggio dei movimenti e dei livelli di falda, con acquisizione ed elaborazione automatica dei dati, in grado di comunicare in tempo reale qualsiasi variazione delle misure effettuate a cadenze prestabilite.
In presenza di terreni che comportano problemi di convergenza e/o di decadimento delle caratteristiche meccaniche del materiale, lo scavo sarà preceduto da interventi di consolidamento, come indicato nel progetto.
Dopo ogni fase di scavo verrà realizzato l'anello di sottomurazione o verrà posta in opera una centinatura metallica ed un prerivestimento in conglomerato cementizio spruzzato armato con rete in acciaio elettrosaldata, di tipologie e dimensioni come riportate negli elaborati progettuali.
L'eventuale esecuzione di tiranti all'interno dei pozzi, impiegati per la stabilizzazione di versanti in frana, dovrà avvenire in accordo a quanto prescritto all'art. 10 delle presenti norme, adottando tutte le misure di sicurezza previste per la realizzazione delle opere in sotterraneo.
In presenza di trovanti o nell'attraversamento di rocce da mina il metodo di scavo dovrà essere tale da non danneggiare le strutture esistenti, da non penalizzare le caratteristiche meccaniche dei terreni circostanti, da non variare le caratteristiche idrogeologiche locali e dovrà essere condotto con modalità tali che non si abbiano a verificare condizioni pregiudizievoli per la salute e l'incolumità pubblica.
Qualora ricorra la possibilità che possano derivare danni alle proprietà limitrofe, il benestare della Direzione Lavori all'impiego di esplosivo è subordinato ai risultati di misure vibrazionali e di controllo secondo schemi e metodologie approvate dalla stessa Direzione Lavori.
Alla base del pozzo potrà essere previsto uno scavo di allargamento allo scopo di ampliare l'area di appoggio.
Raggiunta la prevista quota di fondazione, il fondo dello scavo dovrà essere portato in piano, accuratamente ripulito dai detriti e dal terreno smosso o rammollito eventualmente presente, anche con l'impiego di attrezzi a mano.
Prima del getto del conglomerato cementizio magro di regolarizzazione del fondo dello scavo, ciascun pozzo dovrà essere ispezionato dalla Direzione Lavori, cui compete il benestare al getto.
Nel caso i pozzi debbano attraversare terreni sede di falda, l'Appaltatore dovrà provvedere, a sua cura e spese, al suo abbassamento in modo da evitare che si verifichino sifonamenti o riduzioni delle caratteristiche meccaniche dei terreni in sito.
In funzione della natura e della permeabilità del terreno, delle dimensioni del pozzo e della quota piezometrica della falda, si dovranno predisporre in accordo con la Direzione Lavori gli opportuni mezzi di esaurimento ed abbattimento della falda, quali:

- pozzetti di aggottamento adeguatamente approfonditi rispetto alle quote man mano raggiunte dallo scavo;
- pozzi preventivamente trivellati, all'interno o all'esterno del pozzo, equipaggiati con pompe sommerse a funzionamento automatizzato;

- eventuali opere atte a limitare gli emungimenti (tipo ture o paratie impermeabili).

La potenzialità degli impianti di aggottamento, la quota di regolazione forzata della falda e le installazioni di servizio del pozzo dovranno essere tali da garantire l'evacuazione in sicurezza del personale addetto alle lavorazioni sul fondo del pozzo nel caso di interruzione improvvisa dell'alimentazione di energia elettrica.

Nel pozzo di fondazione potranno anche essere previste opere definitive di drenaggio, quali:

- bande o teli filtranti interposti tra il terreno ed il rivestimento;
- dreni perforati provvisti di tubi microfessurati eseguiti a partire dall'interno del pozzo;
- perforazioni o cunicoli per l'alloggiamento delle condutture di recapito delle acque drenate;

secondo le indicazioni progettuali.

La geometria dell'opera, la classe del conglomerato cementizio da impiegare nelle diverse parti, le armature metalliche ed il grado di finitura delle superfici di ripresa o eventualmente in vista, dovranno essere conformi alle indicazioni del Progetto. In ogni caso la classe del conglomerato cementizio da impiegare nelle diverse parti dovrà essere $\geq$ 25 MPa.

Nel caso di pozzi abbinati, i rivestimenti potranno risultare per un tratto a contatto oppure in comune ed attraverso essi si potrà rendere necessario il passaggio di traversi di collegamento in conglomerato cementizio.

Qualora durante le fasi di scavo si manifestino rilasci o cavità lungo le pareti, l'Appaltatore dovrà provvedere tempestivamente a sua cura e spese, ad eseguire iniezioni di intasamento con le modalità che saranno via via indicate dalla Direzione Lavori. Allorché il pozzo viene impostato su un terreno in pendio molto acclive potrà essere richiesto dal Progetto che la parte sommitale del rivestimento (edicola) venga conformata a becco di flauto in modo tale da assecondare la morfologia locale.

In funzione delle locali condizioni di stabilità, l'edicola potrà essere realizzata o preliminarmente mediante struttura non vincolata al pozzo o per sottomurazione dei primi anelli ad altezza variabile (massima a monte e minima a valle). Nel caso l'edicola venga realizzata preliminarmente all'esecuzione del pozzo, previo sbancamento, l'Appaltatore dovrà provvedere all'immediato rinterro a tergo della struttura.

In tutte le fasi esecutive, comprese le fasi di preparazione e di sistemazione finale dell'area, per gli aspetti e le problematiche relative a temi ambientali, quali impatti acustici e vibrazionali, emissioni in atmosfera, impatto sulle acque superficiali, sotterranee e sul suolo, impatti sulla componente fauna e vegetazione, si rimanda integralmente a quanto prescritto dalla Normativa Nazionale e Regionale vigente, alle prescrizioni degli Enti preposti alla tutela ambientale, nonché alle condizioni ambientali contenute nelle autorizzazioni ed alle disposizioni del Capitolato Ambientale e Piano di Gestione Terre/Piano di Utilizzo allegati al progetto esecutivo

8.5 Controlli e prove

8.5.1 Controlli a carico dell'Appaltatore

Oltre ai controlli previsti negli specifici articoli di capitolato per le varie opere previste a progetto per la realizzazione dei pozzi, l'Appaltatore è tenuto ad eseguire le seguenti verifiche da trasmettere in apposito report alla Direzione Lavori al termine dell'esecuzione di ciascun pozzo:

- rilievo delle dimensioni e caratteristiche del pozzo ad ogni abbassamento del piano;
- rispondenza delle modalità esecutive e mezzi utilizzati alla qualifica;
- livello della falda;
- stratigrafia dettagliata dei terreni attraversati corredata, dove richiesto, da documentazione fotografica;

- descrizione delle eventuali situazioni anomale e dei relativi provvedimenti adottati (iniezione di intasamento, ecc.);
- descrizione delle eventuali opere di drenaggio poste in opera.

8.5.2 Prove a carico della Direzione Lavori

I prelievi e i controlli di accettazione in cantiere sono riportati negli specifici articoli di capitolato per le varie opere previste a progetto per la realizzazione dei pozzi.

Art. 9 Dreni

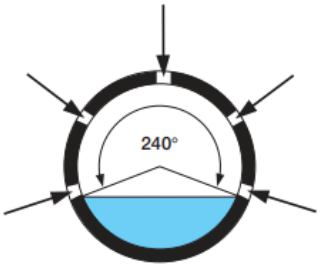
9.1 Dreni perforati nel terreno

9.1.1 Definizione e scopo

Si designano con il termine di dreni perforati quelli ottenuti inserendo nel terreno, grazie ad una trivellazione, un tubo almeno in parte filtrante.
Salvo esplicito diverso avviso si farà nel seguito riferimento a terreni sciolti e non a rocce lapidee.
I dreni hanno lo scopo di captare venute localizzate o di limitare al valore richiesto dal Progetto la quota massima della piezometrica della falda avente sede nei terreni attraversati.
Le caratteristiche del sistema drenante (tipo, interasse, diametro, lunghezza e disposizione dei dreni) sono quelle stabilite in Progetto.

9.1.2 Criteri di accettazione dei tubi drenanti

I tubi saranno costituiti da materiale plastico non alterabile secondo le indicazioni riportate nelle specifiche tavole di progetto o, se non diversamente specificato, in PVC con classe di rigidità almeno SN 4 e saranno generalmente costituiti da una parte cieca e da una filtrante. I tubi devono essere contrassegnati con il marchio IIP che ne assicura la conformità alla norma UNI EN 1401-1.
La parte filtrante sarà dotata di fessure calibrate di apertura adeguata alle caratteristiche del terreno, disposte lungo l'intera circonferenza oppure, per i drenaggi suborizzontali su un settore di 240° come nella figura seguente:



in quest'ultimo caso le giunzioni dei tubi dovranno essere marcate e gli spezzoni di tubo dovranno essere assemblati in modo da mantenere per tutta la lunghezza il settore non fessurato nella medesima posizione rispetto all'asse del dreno, in modo da permettere lo scorrimento dell'acqua nella parte inferiore del tubo.
I fori per il drenaggio possono essere realizzati con fessure longitudinali od ortogonali al tubo oppure essere circolari per una superficie drenate totale compresa tra 5% e 15% rispetto a quella totale esterna del tubo se non diversamente specificato negli elaborati progettuali. I tubi dovranno avere spessori e resistenze tali da garantire la corretta posa in opera nelle diverse condizioni di applicazione e la invariabilità geometrica nel tempo.
Il tubo deve essere rivestito con una calza geotessile composta da tessuto non tessuto (TNT) realizzato in polipropilene a filo continuo dotato di ottima permeabilità che permette il passaggio dell'acqua e trattiene all'esterno tutte le particelle di sedimento fine e conforme alle seguenti caratteristiche:

Resistenze a trazione MD e CD (UNI EN ISO 10319)	$\geq$ 19 kN/m
Allungamento MD e CD (UNI EN ISO 10319)	$\geq$ 35 (MD e CD) $\geq$ 50 (MD+CD)/2
Resistenze a trazione al 10% di allungamento (UNI EN ISO 10319)	$\geq$ 3 kN/m
Permeabilità ortogonale al piano (UNI EN ISO 11058)	$\geq$ 60 l/m^{2}s

Diametro di filtrazione (UNI EN ISO 12956)	60÷150 µm

Il geotessile dovrà possedere marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA della norma europea armonizzata UNI EN 13252 (oppure anche 13249 se il materiale è già stato qualificato nell'ambito dei lavori di cui all'art. 3 di questo capitolato) con sistema di attestazione di conformità 2+ e dichiarazione di prestazione DoP.
I produttori dei tubi di drenaggio e del TNT dovranno essere in possesso del sistema di controllo qualità UNI EN ISO 9001.

Ove richiesto, il tubo sarà dotato degli accessori atti a permettere la separazione del tratto filtrante da quello cieco, mediante la cementazione dell'intercapedine che rimane tra tubo e perforo lungo il tratto cieco.
A questo scopo si predisporranno:
- n. 2 valvole a manicotto a distanza di 100 cm e 150 cm circa dal punto di giunzione tra il tubo filtrante ed il tubo cieco;
- un tubolare rivestito in geotessile è posto sulla parte terminale più profonda del tubo cieco e pieghettato in modo da aderirvi ("sacco otturatore"). Il tubolare in geotessile sarà strettamente legato alle estremità e ricoprirà le due valvole a manicotto di cui sopra;
- una o più valvole a manicotto lungo la parte cieca del tubo non occupato dal sacco otturatore.

9.1.3 Criteri di accettazione delle miscele cementizie

Le miscele impiegate per cementazione dell'intercapedine che rimane tra tubo e perforo lungo il tratto cieco dovranno essere conformi alle caratteristiche di seguito ammesse salvo più stringenti prescrizioni progettuali.
Il rapporto acqua/cemento dovrà essere pari a 0.50.
Il prodotto fresco dovrà avere le seguenti caratteristiche:
- scostamento del peso specifico dal valore teorico: ±2%
- decantazione a due ore dalla preparazione: ≤3 % in volume;
- fluidità MARSH da 40" a 50".

Con la miscela prelevata dovranno essere preparati almeno un gruppo di due campioni da sottoporre alle prove di resistenza.
Per ciascun campione, la resistenza minima richiesta dovrà essere superiore a 25 Mpa, valutata con prova a compressione monoassiale, su campioni cilindrici di altezza pari a due volte il diametro semplice, o dovrà essere superiore a 30 Mpa, valutata con prova a compressione monoassiale su campioni cubici.
E' ammesso anche l'utilizzo di prodotti premiscelati purché rispondenti alle suddette caratteristiche.

9.1.4 Dossier di prequalifica

L'Appaltatore almeno 15 giorni prima di eseguire qualsiasi lavorazione, deve trasmettere alla Direzione Lavori per approvazione, un dossier di prequalifica contenente:
- La marcatura CE e DoP o schede tecniche dei tubi e del geotessile che si intende utilizzare e il Certificato UNI EN ISO 9001 del sistema di gestione qualità certificato da parte di un organismo terzo indipendente;
- Le caratteristiche della miscela che intende adottare conformemente alle caratteristiche di cui al § 9.1.3 e le schede tecniche di tutti i materiali e le eventuali marcature CE e DoP e le condizioni climatiche limite di utilizzo;

- I certificati di laboratorio eseguiti sulle miscele (massa volumica, decantazione a 24h, fluidità (l'Appaltatore deve definire un range di validità), resistenza a 28 giorni);
- Le caratteristiche del miscelatore;
- Le caratteristiche delle attrezzature di perforazione;
- Le caratteristiche delle pompe di alimentazione del fluido di perforazione;

La qualifica sarà da ripetere o integrare qualora cambino uno o più componenti della miscela o delle miscele qualificate.

Inoltre, l'Appaltatore, prima di iniziare le perforazioni dovrà consegnare alla Direzione Lavori, su apposita rappresentazione planimetrica, la posizione di tutti i dreni, contrassegnati con un numero progressivo e l'ordine cronologico di perforazione.

9.1.5 Modalità esecutive

9.1.5.1 Perforazione

La perforazione dovrà essere condotta con un unico calibro per tutto il tratto filtrante; si ammetterà un calibro maggiore per il solo tratto eventualmente equipaggiato con tubo cieco se ciò risulta utile per il raggiungimento della lunghezza totale richiesta.
La differenza tra il diametro esterno del tubo filtrante (esclusi i manicotti di giunzione) ed il diametro interno del perforo o dell'eventuale rivestimento provvisorio dello stesso, non dovrà essere superiore a 20 mm.
In ogni caso durante la perforazione dovrà essere garantita la stabilità del foro anche mediante un rivestimento metallico provvisorio fino alla posa del tubo filtrante.
Si potranno adottare attrezzature a rotazione o a rotopercussione e circolazione di acqua (preferibilmente) oppure di aria; non è ammessa la circolazione di fango bentonitico.
Per la gestione degli impatti acustici e vibrazionali legati alla lavorazione, si rimanda alle disposizioni contenute nel Capitolato Ambientale.
Al termine della perforazione il foro interamente rivestito dovrà essere sgombrato dai detriti residui mediante lavaggio con il fluido di circolazione.
La rigidezza delle aste di perforazione dovrà essere tale da consentire di mantenere le deviazioni dell'asse del foro rispetto alla retta di Progetto entro un cono avente 1° 30' di semiapertura con vertice a bocca foro.
L'ordine d'esecuzione sarà tale da evitare la perforazione contemporanea di dreni posti ad interassi < 10 m.

Le eventuali operazioni di cementazione saranno eseguite ponendo in opera una miscela acqua/cemento con rapporto a/c=0,5 mediante un condotto di iniezione munito di doppio otturatore, subito dopo l'estrazione del rivestimento provvisorio.
La sequenza operativa sarà la seguente:

- posa del doppio otturatore in corrispondenza della valvola inferiore.

La seconda valvola compresa entro il sacco servirà in caso di mancato funzionamento della prima;

- iniezione di un volume di miscela corrispondente a quello del sacco otturatore interamente riempito; la pressione di iniezione espressa in MPa dovrà risultare compresa tra $0{,}02 \bullet \gamma \bullet Z$ (dove «Z» è la differenza di quota tra la valvola inferiore e la bocca del foro e «γ » è il peso specifico del terreno) ed un valore che assicuri un adeguato margine di sicurezza rispetto alla pressione che provoca la lacerazione del sacco tubolare o il suo sfilamento dalle legature alle estremità;
- spostamento del doppio otturatore sulla valvola appena al di sopra del sacco otturatore ed iniezione di miscela cementizia fino al suo rifluimento a bocca foro;

- solo nel caso che franamenti o rigonfiamenti del terreno impediscano la risalita a giorno della miscela, l'operazione potrà essere proseguita tramite la valvola (o le valvole) ulteriormente disposte lungo il tratto cieco.

9.1.5.2 Lavaggio e manutenzione dei dreni

Subito dopo l'installazione del tubo (o subito dopo l'ultimazione delle operazioni di cementazione di cui al paragrafo precedente) ciascun dreno dovrà essere abbondantemente lavato con acqua pulita. Allo scopo si dovrà inserire entro il tubo una lancia con tratto terminale metallico, munito di ugelli a direzione radiale e di pattini che ne consentano lo scorrimento lungo il tubo senza danneggiarlo.
Il lavaggio con acqua verrà iniziato con la lancia inserita fino in fondo al tubo; esso verrà proseguito fino ad ottenere che l'acqua riemergente alla bocca del tubo sia limpida, ritirando poi gradualmente la lancia.
L'operazione di lavaggio dovrà essere ripetuta una o più volte durante il periodo iniziale di esercizio dei dreni e, nel seguito, fino al collaudo delle opere qualora le operazioni di ispezione e controllo ne rivelassero un parziale intasamento ad opera delle frazioni più fini del terreno attraversato.
Il primo lavaggio ed i lavaggi successivi dovranno conseguire lo scopo di selezionare granulometricamente il terreno nelle immediate adiacenze del tubo filtrante, in modo da creare un ulteriore filtro rovescio naturale che consenta a regime l'esercizio del dreno senza trasporto di materia solida.
Per la gestione delle acque reflue derivanti dalla lavorazione, si rimanda alle disposizioni contenute nel Capitolato Ambientale.

9.1.6 Dreni in rocce lapidee

I dreni in rocce lapidee fessurate potranno essere costituiti da:
- semplici perforazioni non rivestite;
- perforazioni equipaggiate con tubi in materiale plastico bucherellati (diametro dei fori 4÷7 mm) ed avvolti da calze di geotessile;
- perforazioni equipaggiate con tubi in materiale plastico microfessurati.

Si useranno le prime in presenza di rocce con fessure non occupate da detriti fini, le seconde nel caso di fessure contenenti riempimenti argillosi e le ultime nel caso si incontrino detriti di granulometria prevalentemente compresa nel campo dei limi e delle sabbie.
Caratteristiche dei materiali costituenti i tubi drenanti e diametri delle perforazioni saranno analoghi a quanto indicato al § 9.1.2.

9.1.7 Dreni in terreni argillosi stringenti

Verranno equipaggiati con tubi in materiale plastico bucherellati e rivestiti di calza in geotessile; non saranno sottoposti ad ulteriori lavaggi dopo l'installazione.
Per le rimanenti operazioni vale quanto indicato ai paragrafi precedenti.

9.1.8 Controlli in opera

L'Appaltatore è tenuto a documentare in apposito report l'esito delle seguenti verifiche eseguite su ogni singolo dreno da trasmettere alla Direzione Lavori:
- rispondenza dei documenti di trasporto delle forniture all'arrivo in cantiere con le caratteristiche per lo specifico impiego previsto a progetto e alla qualifica approvata dal Direttore dei Lavori;
- identificazione del dreno;
- data di inizio perforazione e termine dell'iniezione;
- diametro e profondità effettiva raggiunta dalla perforazione;

- assorbimento totale effettivo di miscela di iniezione.

9.1.8.1 Controllo sulle miscele

Ogni giorno, preliminarmente alla prima operazione di getto, l'Appaltatore dovrà verificare la rispondenza delle caratteristiche delle miscele ai documenti di qualifica a mezzo del proprio laboratorio di cantiere. Quando la miscela è conforme l'Appaltatore condivide il report o il certificato e chiama la Direzione Lavori che con il proprio laboratorio eseguirà le seguenti prove:

- sulle miscele fresche: decantazione a 24h, massa volumica e fluidità in conformità alle specifica dellla prequalifica e progetto. Valori non conformi comporteranno l'impossibilità di eseguire il getto dei dreni;
- sulle miscele indurite: la resistenza a 28 giorni. Si riterranno conformi le forniture la cui media per ogni WBS è ≥ al valore di progetto. Nel rispetto del valore medio sono ammessi valori singoli con resistenza a 28 gg non inferiore al 20% del valore di progetto. Qualora la resistenza caratteristica riscontrata a seguito dei controlli risultasse in media, sulla singola WBS, minore di non più del 20% rispetto al valore di progetto, la Direzione Lavori, provvederà ad applicare una penale a titolo definitivo pari al 20% del valore della lavorazione. Nel caso in cui la resistenza caratteristica riscontrata risulti minore di quella richiesta di oltre il 20%, la lavorazione verrà interamente trattenuta a SAL a titolo definitivo e, d'intesa con il progettista, si valuterà l'esecuzione di dreni integrativi a cura ed onere dell'Appaltatore o all'adozione di quei provvedimenti che, proposti dallo stesso, dovranno essere formalmente approvati dalla Direzione Lavori per diventare operativi. Nessun indennizzo sarà dovuto all'Impresa se la classe di resistenza risulterà maggiore di quella di progetto.

9.1.8.2 Controllo sul geotessile

La Direzione Lavori, in contraddittorio e con l'assistenza dell'Appaltatore dovrà eseguire la campionatura del materiale secondo la Norma UNI EN ISO 9862 con frequenza di un prelievo ogni 20.000 m^2 di prodotto omogeneo fornito e per ogni produttore.
Si effettueranno le prove di verifica dei requisiti di cui alla tabella riportata al § 9.1.2.

9.2 Dreni prefabbricati a nastro

9.2.1 Definizioni e scopo

Si definiscono dreni prefabbricati a nastro quelli costituiti da un elemento di materiale termoplastico, perforato ed ondulato, altamente drenante, avvolto in geotessili in polipropilene non tessuto a elevata permeabilità.
L'installazione nel terreno dei dreni avverrà mediante un contenitore metallico ("mandrino"), infisso a pressione in direzione verticale (o, più raramente, inclinata) fino alla profondità richiesta.
Scopo dei dreni è quello di provvedere, in seno a strati compressibili di bassa permeabilità (limi ed argille di elevata compressibilità), vie di espulsione dell'acqua interstiziale aventi bassa resistenza idraulica e disposte ad interassi ravvicinati, in modo da ridurre a termini accettabili il tempo di consolidazione primaria degli strati interessati sotto i carichi statici loro imposti.
In tutte le fasi esecutive, comprese le fasi di preparazione e di sistemazione finale delle aree, per gli aspetti e le problematiche relative a temi ambientali, quali impatti acustici e vibrazionali, emissioni in atmosfera, impatto sulle acque superficiali, sotterranee e sul suolo, impatti sulla componente fauna e vegetazione, si rimanda integralmente a quanto prescritto dalla Normativa Nazionale e Regionale vigente, alle prescrizioni degli Enti preposti alla tutela ambientale, nonché alle condizioni ambientali

contenute nelle autorizzazioni ed alle disposizioni del Capitolato Ambientale e Piano di Gestione Terre/Piano di Utilizzo allegati al progetto esecutivo.

9.2.2 Criteri di accettazione del nastro prefabbricato

Il nastro prefabbricato dovrà avere un'anima di materia plastica (P.V.C., polietilene, polipropilene) sagomata in modo da costituire un insieme di canali paralleli longitudinali, aperti lateralmente verso l'involucro filtrante.

L'involucro filtrante sarà costituito da un geotessile non tessuto in polipropilene a filo continuo opportunamente trattato, in modo da garantire resistenza e durata nel tempo adeguate all'impiego.

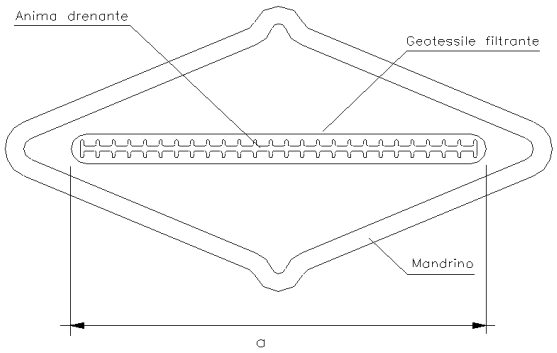
Salvo diversa indicazione del Progetto, dovranno essere precisati e garantiti i seguenti parametri caratteristici, da sottoporre al benestare della Direzione Lavori:

- capacità di trasporto acqua alla pressione laterale, esercitata sull'involucro in geotessile, di 0,3 MPa: > 500 m³/anno;
- permeabilità radiale all'acqua dell'involucro in geotessile, alla pressione di 0,002 MPa, non inferiore a 0,1 cm/s.

Gli altri requisiti di accettazione del nastro drenante sono riportati nella tabella seguente.

Caratteristica	Unità di misura	Normativa	Requisito d'accettazione
Resistenza a trazione dreni (α)	KN/m	ISO 10319 (CNR BU n. 142)	α_{D+F}> 12 kN/m α_D > 8 kN/m α_F > 6 kN/m
Resistenza a trazione giunzioni ($\alpha_{g,F)}$	KN/m	ISO 10321	$\alpha_{g,F}$ >3 kN/m
Coeff. di permeabiltà normale al piano del geotessile ($K_{n,F}$)	m/s	NFG38-016 (CNR BU N. 144)	$K_{n,F}$> 10^{-3}
Diametro di filtrazione del geotessile (O_F)	μm	UNI EN ISO 12956	50μm $\leq O_F \leq$250μm
Capacità drenante del dreno (q_{D+F})	m^3/anno	ASTM D 4716	q_{D+F} > 500 m^3/anno

D= Anima drenante F =Geotessile filtrante



DEFINIZIONI

a		larghezza nominale del dreno nel suo complesso
α_{D+F}	(kN/m)	resistenza a trazione del dreno nel suo complesso (anima drenante+geotessile filtrante)
α_{D}	(kN/m)	resistenza a trazione della sola anima drenante
α_{F}	(kN/m)	resistenza a trazione del solo geotessile filtrante
$\alpha_{g,F}$	(kN/m)	resistenza a trazione delle giunzioni del geotessile filtrante
$k_{n,F}$	(m/s)	coefficiente di permeabilità normale al piano per il solo geotessile filtrante
T_{F}	(m)	spessore nominale del solo geotessile filtrante
O_{F}	(μm)	diametro di filtrazione del solo geotessile filtrante (misurato in una prova di filtrazione idrodinamica)
q_{D+F}	(m^3/anno)	capacità drenante del dreno nel suo complesso (anima drenante + geotessile filtrante) misurata in corrispondenza di una pressione di 200 kPa edi un gradiente idraulico unitario

9.2.3 Criteri di accettazione del materasso drenante di collegamento

Sul piano di posa dei dreni preventivamente scoticato occorre mettere in opera un materasso drenante formato da uno strato di sabbia medio-grossa dello spessore previsto in Progetto, avente curva granulometrica compresa entro i limiti seguenti:

APERTURA vaglio UNI (mm)	PASSANTE %	
	MIN	MAX
0,075	0	3
0,40	0,00	10,00
2,00	15,00	45,00
5,00	35,00	75,00
10,00	70,00	100,00

Il materiale costituente il materasso drenante dovrà essere marcato CE ai sensi della norma 13242 sia di origine naturale che artificiale.l'utilizzo di materiale riciclato non è consentito. Prima dell'inizio delle lavorazioni dovrà essere trasmessa alla Direzione Lavori la curva granulometrica del materiale da utilizzare, eseguita secondo la UNI EN 933-1.

9.2.4 Dossier di prequalifica

L'Appaltatore almeno 15 giorni prima di eseguire qualsiasi lavorazione, deve trasmettere alla Direzione Lavori per approvazione, un dossier di prequalifica contenente:

- La marcatura CE e DoP o schede tecniche dei dreni prefabbrocati che si intende utilizzare e il Certificato UNI EN ISO 9001 del sistema di gestione qualità certificato da parte di un organismo terzo indipendente;
- Le caratteristiche delle attrezzature per la posa del dreno per l'infissione a pressione specificando:
    - La massima spinta verso il basso che può essere esercitata sul mandrino durante l'infissione;
    - La massima profondità raggiungibile;
    - Le esigenze specifiche del piano di lavoro per assicurare la movimentazione delle attrezzature di infissione;
    - La sezione trasversale del mandrino e dimensioni della piastra di ancoraggio, che dovranno essere le minime compatibili con la loro funzionalità;
    - Il sistema d'infissione dei dreni (torre guida del mandrino collegata alla gru semovente con la base d'appoggio della piattaforma d'infissione) deve essere in grado di posizionare il mandrino, prima di iniziare l'infissione, con una tolleranza sulla verticalità del 3%.
- Le caratteristiche delle attrezzature di perforazione se l'infissione a pressione non è realizzabile;
- Le modalità operative proposte.

Per la gestione degli impatti acustici e vibrazionali legati alla lavorazione, si rimanda alle disposizioni contenute nel Capitolato Ambientale.

La qualifica sarà da ripetere o integrare qualora cambi il tipo di dreno, il fornitore o le attrezzature per la posa.

9.2.5 Modalità esecutive

Preventivamente all'installazione dei dreni il piano di campagna dovrà essere scoticato, asportando ogni residuo di terreno vegetale e regolarizzata la superficie. Sul piano così preparato si porrà in opera un materasso drenante delle caratteristiche indicate al § 9.2.3.

Come detto la posa nel terreno dei dreni avverrà mediante un contenitore metallico ("mandrino"), di sezione trasversale minima compatibile con la rigidezza necessaria per consentire l'infissione del nastro, che verrà infisso a pressione in direzione verticale (o, più raramente, inclinata) fino alla profondità richiesta. Successivamente verrà estratto il mandrino lasciando nel terreno il dreno in esso contenuto.

Allorché la natura del terreno superficiale o la presenza di ostacoli non consentano la penetrazione del mandrino, si potrà ovviare facendo precedere l'esecuzione di un preforo (generalmente a rotopercussione) per l'attraversamento del tratto in cui è impedita l'infissione.

All'estremità inferiore il dreno dovrà essere collegato al mandrino con una piastra di ancoraggio a perdere, in grado di assolvere alle seguenti funzioni:

- impedire l'ingresso di terreno nel mandrino;
- vincolare l'estremità inferiore del dreno alla base del mandrino durante l'infissione;

- vincolare l'estremità inferiore del dreno al terreno, durante l'estrazione del mandrino.

Prima di iniziare le operazioni di posa l'Appaltatore procederà quindi al tracciamento della maglia dei dreni, posizionando un picchetto di legno di appropriate dimensioni nella posizione di ciascun dreno da installare.

La posizione effettiva di ciascun dreno non dovrà scostarsi più di 10 cm da quella di Progetto; per i dreni che non rispettassero questa tolleranza dovranno essere eseguiti dreni aggiuntivi a cura e spese dell'Appaltatore, nelle posizioni che saranno indicate dalla Direzione Lavori, in misura non superiore ad un dreno aggiuntivo per ogni dreno non correttamente installato.
Per ciascun dreno la cui estremità superiore risulti risalita più di 100 cm dopo l'estrazione del mandrino dovrà essere installato un nuovo dreno a cura ed a spese dell'Appaltatore.
Nel caso in cui il dreno risultasse strappato durante l'inserimento o l'estrazione del mandrino, dovrà essere eseguito a cura e spese dell'Appaltatore un altro in adiacenza.
Le giunzioni del nastro dei dreni, che sono normalmente eseguite quando un rotolo di nastro termina prima del completo inserimento, devono essere fatte in modo che ci sia sovrapposizione (cioè continuità) nell'anima interna e che il tratto di anima risultante sia sempre avvolto dal geotessile filtrante.

L'argilla portata a giorno ritirando il mandrino dopo l'inserimento di ciascun dreno deve essere totalmente ed immediatamente asportata dalla superficie del materasso drenante e depositata in apposito deposito temporaneo esterno all'area di lavoro. Nel compiere tale operazione l'Appaltatore dovrà accertare che sia completamente asportata l'argilla eventualmente rimasta nel cono creato attorno al dreno nel materasso di sabbia.

9.2.6 Controlli in opera

L'Appaltatore è tenuto a documentare in apposito report l'esito delle seguenti verifiche eseguite sulla posa dei dreni prefabbricati da trasmettere alla Direzione Lavori:

- rispondenza dei documenti di trasporto delle forniture all'arrivo in cantiere con le caratteristiche per lo specifico impiego previsto a progetto e alla qualifica approvata dal Direttore dei Lavori;
- profondità e sagoma dello scotico;
- idoneità del piano di posa;
- spessore e sagoma del materasso di collegamento;
- corretta installazione dei dreni secondo quanto previsto al § 9.2.5.

Sono inoltre previsti i seguenti controlli a cura della Direzione Lavori in cotraddittorio e con l'assistenza dell'Appaltatore:

- verifica del peso per metro lineare del nastro ogni 5000 m di dreno installato. Il peso del materiale installato deve essere il medesimo di quello qualificato in fase di accettazione del dreno con una tolleranza del 3%;
- verifica dei requisiti di accettazione dei dreni definiti nella Tabella di cui al § 9.2.2 ogni 5000 m di dreno installato, con un minirmo di 1 verifica dei requisiti di accettazione.
- ogni 10000 m^3, dovrà essere verificata la rispondenza alla granulometria del materasso drenante ai sensi della UNI EN 933-1.

Art. 10 Tiranti di ancoraggio nei terreni

10.1 Definizioni e campo di applicazione

I tiranti di ancoraggio sono elementi strutturali operanti in trazione ed atti a trasmettere forze al terreno. Il tirante si compone delle seguenti parti:

- la testa di ancoraggio, costituita dal dispositivo di bloccaggio e dalla piastra di ripartizione;
- il tratto libero, che è il tratto intermedio di collegamento tra la testa e il tratto attivo;
- il tratto attivo, o vincolato, o di fondazione, che trasmette al terreno le forze di trazione del tirante.

In relazione alla durata di esercizio definita nel Progetto i tiranti si distinguono in:

- temporanei se la durata della funzionalità non supera i ventiquattro mesi;
- permanenti, se la durata della funzionalità eguaglia o supera i ventiquattro mesi.

In relazione alla tensione iniziale definita nel Progetto i tiranti si distinguono in:

- presollecitati o attivi se nell'armatura viene indotta una forza di tesatura superiore a quella teorica di utilizzazione;
- parzialmente presollecitati o parzialmente attivi se nell'armatura viene indotta una forza di tesatura non superiore a quella teorica di utilizzazione;
- non presollecitati o passivi se nell'armatura non viene indotta alcuna forza di tesatura.

In relazione alla possibilità di controllo delle variazioni di tensione, definita nel Progetto, i tiranti si distinguono in:

- normali in cui al termine della fase iniziale viene esclusa la possibilità di ripresa della tesatura;
- ritensionabili quando dopo la fase iniziale esiste la possibilità di misurare e modificare, sia in aumento che in diminuzione, la forza dell'armatura.

Di norma l'armatura dei tiranti di ancoraggio è costituita da un fascio di trefoli in acciaio del tipo per c.a.p. solidarizzati al terreno mediante iniezioni cementizie selettive. Le caratteristiche geometriche e strutturali dei tiranti sono comunque definite nel Progetto esecutivo.

10.2 Normative di riferimento

- D.M. Infrastrutture 17 gennaio 2018 "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni" e Circolare 21 gennaio 2019, n.7 C.S.LL.PP. Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.
- UNI EN 1537: Esecuzione di lavori geotecnici speciali - Tiranti di ancoraggio.
- UNI EN 16228: Attrezzature per perforazioni e fondazioni - Sicurezza
- UNI EN 197-1: Cemento - Parte 1: Composizione, specificazioni e criteri di conformità per cementi comuni
- UNI EN 10080 Acciaio d'armatura per calcestruzzo - Acciaio d'armatura saldabile – Generalità
- Per tutti i sistemi di ancoraggio in generale si dovrà fare riferimento alle prescrizioni riportate nelle raccomandazioni AGI AICAP (Edizione 2012) per gli aspetti geotecnici, costruttivi, tecnologici e di prova.

10.3 Criteri di accettazione dei materiali ed elementi costruttivi

I tiranti di ancoraggio per uso geotecnico di tipo attivo e passivo, temporanei e permanenti, dovranno essere qualificati secondo quanto disciplinato al § 11.5.2 delle NTC 2018. Il fabbricante dovrà pervenire alla marcatatura CE sulla base della pertinente ETA (Valutazione Tecnica Europea) oppure dovranno possedere un Certificato di Valutazione Tecnica rilasciato dal Presidente Superiore

dei Lavori Pubblici sulla base di linee guida approvate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici. Per i tiranti di tipo attivo si applica la "*Linea Guida per il rilascio della certificazione di idoneità tecnica all'impiego di tiranti per uso geotecnico di tipo attivo*".

In generale, laddove il contratto o i documenti di gara prevedano l'utilizzo di acciai o altri materiali con ridotta emissione di CO_2 nell'atmosfera rispetto a dei valori di riferimento o laddove prevedano l'utilizzo di elementi composti da materiale riciclato, occorre rispettare i requisiti definiti in detti documenti e le prescrizioni specifiche contenute in questo articolo di capitolato. Inoltre il Direttore dei Lavori potrà richiedere della certificazione integrativa o l'esecuzione di prove ulteriori per la verifica del rispetto dei valori di CO_2 dichiarati dall'Appaltatore, delle percentuali del materiale riciclato o di qualsiasi altro parametro, senza che ciò possa dare diritto a richieste di maggiori costi o tempi.

10.3.1 Armatura dell'ancoraggio

10.3.1.1 Acciaio

Le armature in acciaio dovranno essere conformi alle prescrizioni del § 11.3.3 delle NTC 2018 e potranno essere costituite da:

- trefoli lisci del diametro nominale di 0,6" (=15,24mm) in numero definito a progetto. Di conseguenza le tensioni ammissibili in esercizio sono $\sigma a \leq 0.6$ fptk mentre in fase provvisoria sono $\sigma ai \leq 0.85$ fp(1)k;
- barre a filettatura continua del diametro nominale definito a progetto.

Si riportano di seguito le proprietà meccaniche e di duttilità di cui alla Tab. 11.3.VIII delle NTC 2018 che dovranno possedere le armature degli ancoraggi salvo più restrittive indicazioni progettuali.

Tab. 11.3.VIII

Tipo di acciaio	Barre	Fili	Trefoli e trecce	Trefoli compattati
Tensione caratteristica al carico massimo f_{ptk} N/mm²	≥ 1000	≥ 1570	≥1860	≥ 1820
Tensione caratteristica allo 0,1 % di deformazione residua - scostamento dalla proporzionalità $f_{p(0,1)k}$ N/mm²	na	≥ 1420	na	na
Tensione caratteristica all'1 % di deformazione totale ……$f_{p(1)k}$ N/mm²	na	na	≥1670	≥ 1620
Tensione caratteristiche di snervamento f_{pyk} N/mm²	≥ 800	na	na	na
Allungamento totale percentuale a carico massimo A_{gt}	≥ 3,5	≥ 3,5	≥3,5	≥ 3,5

na=non applicabile

10.3.1.2 Vetroresine e materiali compositi

Qualora l'armatura di tiranti di ancoraggio in vetroresina sia riferita ad elementi temporanei non occorre la marcatura CE secondo quanto indicato al § 10.3.

Le vetroresine e altri materiali compositi potranno essere utilizzati per la realizzazione di tiranti quando previsto a progetto e se è certificata la loro idoneità come componenti strutturali per sistemi di ancoraggio. Con il termine vetroresina si indica un materiale composito i cui componenti di base sono tessuti in fibre di vetro e/o fibre di vetro o aramidiche, legati fra loro da una matrice di resine termoindurenti opportunamente polimerizzate. Il materiale è fortemente anisotropo e quindi si dovrà tener conto, per il suo corretto impiego, della disposizione delle fibre di rinforzo. In alternativa alle fibre di vetro, possono essere impiegate fibre aramidiche o di carbonio.

Di norma i tiranti in vetroresina possono essere a sezione piena o cava e avere un profilo circolare o rettangolare. I profili rettangolari possono essere combinati tra loro in elemento strutturale a 1, 2 o 3 piatti. Devono essere del tipo ad aderenza migliorata ottenuta mediante trattamento di filettatura continua o apporto di materiale. I profili a sezione cava, o tubi, devono avere un diametro massimo di 60mm e uno spessore minimo non inferiore a 5mm. I tubi devono essere del tipo ad aderenza migliorata ottenuta mediante apporto di materiale o fresatura lungo il tubo. Le barre dovranno essere del tipo ad aderenza migliorata, ottenuta mediante trattamento di filettatura continua o apporto di materiale. I tubi in vetroresina dovranno essere non giuntati per lunghezze fino a 12m mentre, per lunghezze maggiori, la giunzione dovrà essere ottenuta mediante manicotti di resistenza non inferiore a quella del tubo. Non saranno accettate giunzioni incollate. I chiodi devono essere il più possibile continui in tutta la loro lunghezza e compatibilmente con le esigenze di cantiere eventuali giunzioni tramite manicotti filettati o incollati, non garantendo la stessa resistenza a trazione della barra, devono essere ridotte al minimo e approvate dalla Direzione Lavori. Gli elementi strutturali composti da 1 a 3 barre a sezione rettangolare in fibra di vetro e tubo valvolato in PVC devono essere preferiti nel caso in cui sia prevista l'iniezione ripetuta e selettiva per mezzo di packer. In particolari situazioni per l'iniezione dei chiodi può essere previsto un tubetto di iniezione e di sfiato abbinato ai chiodi in vetroresina. L'impiego di profilati con sezioni di geometria particolare (a doppio T, a U, prismatica) e di profilati piatti compositi potrà essere consentito se previsto dal progetto. I materiali utilizzati dovranno essere certificati dal produttore. Le caratteristiche minime richieste sono riportate nel progetto ma comunque dovranno essere comprese entro i limiti fissati dalla tabella seguente.

Per tubi

CARATTERISTICHE	UNITA' DI MISURA	VALORE	NORME DI RIFERIMENTO
Massa volumetrica	g/cm^3	1.9	ISO 1181-1
Contenuti in vetro in percent. della massa	%	60 ÷ 75	-
Resistenza a trazione	N/mm^2	> 600	EN ISO 527-5
Resistenza al taglio	N/mm^2	> 120	ASTM D-732
Resistenza a compressione	N/mm^2	> 450	EN ISO 14126
Modulo di elasticità	N/mm^2	35000 ÷ 42000 38000 ÷ 45000	EN ISO 527-5 EN ISO 527-5

Per barre

CARATTERISTICHE	UNITA' DI MISURA	VALORE	NORME DI RIFERIMENTO
Massa volumetrica	g/cm^3	1.9	ISO 1183-1
Contenuti in vetro in percent. della massa	%	60 ÷ 75	ISO 11667
Resistenza a trazione	N/mm^2	> 600	ISO 10406-1
Resistenza al taglio	N/mm^2	> 100	ISO 10406-1
Resistenza a compressione	N/mm^2	> 400	ISO 10406-1
Modulo di elasticità	N/mm^2	45000-55000	ISO 10406-1

Qualora gli elementi di ancoraggio fossero di tipo attivo, la soluzione tecnologica della testata e gli elementi di ripartizione devono garantire i requisiti prestazionali di progetto.

10.3.2 Testata di ancoraggio

La testa di ancoraggio dovrà essere qualificata conformente alla linee guida ETAG 013 "Post Tensioning Kits for prestressing of Structures" ed alle linee guida emanate dal C.S.LL.PP. su sistemi di precompressione a cavi post tesi in conformità alle indicazioni progettuali. La testata dell'ancoraggio deve permettere la messa in tensione dell'armatura, la prova di carico ed il bloccaggio, come pure, se richiesto, il detensionamento totale o parziale, l'eventuale ritesatura con incremento del carico iniziale e il monitoraggio del sistema.
E' necessario che la testata dell'ancoraggio sia corredata da un cappuccio di protezione e da un elemento di raccordo con la guaina del tratto libero, per garantire la continuità della protezione delle armature dalla corrosione fno alla sezione di serraggio. L'elemento di raccordo deve inoltre consentire l'alloggiamento di un dispositivo per rendere la deviazione dei trefoli o delle barre regolare e coerente con la geometria della testata dell'ancoraggio.
Si adotteranno piastre di ripartizione le cui dimensioni dovranno essere scelte in relazione alle caratteristiche geometriche e di portata dei tiranti ed alle caratteristiche di resistenza e deformabilità del materiale di contrasto.

10.3.3 Distanziatori, tamponi e condotti di iniezione

I distanziatori hanno lo scopo di disporre l'armatura di ancoraggio dentro la guaina e nel foro di alloggiamento in modo che sia garantito il ricoprimento dell'acciaio da parte della miscela di iniezione.
La forma dei distanziatori dovrà quindi essere tale da consentire il centraggio dell'armatura nel foro di alloggiamento durante tutte le fasi di manipolazione e nello stesso tempo non dovrà ostacolare il passaggio della miscela; in ogni caso in corrispondenza del distanziatore la sezione libera di foro deve essere pari ad almeno due volte la sezione del condotto di iniezione.
I distanziatori dovranno essere realizzati in materiali non metallici di resistenza adeguata agli sforzi che devono sopportare ed essere disposti a intervalli non superiori a 5 m nel tratto libero; nel tratto di fondazione saranno intercalati da legature e disposti a interassi di 2,0÷2,5 m in modo da dare al fascio di trefoli una conformazione a ventri e nodi. Per armature costituite da barre i distanziatori non saranno alternati a legature.
I tamponi di separazione fra la parte libera e la fondazione dovranno essere impermeabili alla miscela e tali da resistere alle pressioni di iniezione.
I tamponi dovranno essere realizzati o con elementi meccanici (per es. guaine termo-restringenti) o con elementi chimici (mastici plastici o materiale iniettato) aventi caratteristiche tali da garantire l'armatura dalla corrosione.
Le caratteristiche dei condotti di iniezione da impiegare dovranno essere tali da soddisfare i seguenti requisiti:

- avere resistenza adeguata alle pressioni di iniezione risultando cioè garantiti per resistere alla pressione prevista con un coefficiente di sicurezza pari ad 1,5 e comunque avere una pressione di rottura non inferiore a 1 MPa;
- presentare i seguenti diametri minimi al fine di consentire il passaggio della miscela d'iniezione:
    - per le miscele speciali: diametro interno minimo pari a 8 mm
    - per le miscele cementizie composte da acqua e cemento senza aggiunte di aggregati: diametro minimo interno pari a 9 mm;

- per le miscele cementizie composte da acqua e cemento ed aggregati fini: diametro interno minimo pari a 16 mm.

Nel caso sia richiesta l'iniezione ripetuta in pressione, il tirante dovrà essere equipaggiato con un condotto assiale d'iniezione, opportunamente dotato di valvole a manicotto, di diametro interno adeguato a consentire il passaggio del doppio otturatore (non inferiore a 25 mm) e di resistenza adeguata a sopportare l'elevata pressione di apertura delle valvole a manicotto (pressione di rottura non inferiore a 8 MPa).

10.3.4 Protezione dell'armatura

La protezione dell'armatura è realizzata mediante guaine e tubi di materiale plastico o anche mediante tubi di acciaio.

10.3.4.1 Guaine e tubi in plastica

Per tiranti temporanei la protezione consisterà in una guaina di PVC, polietilene o polipropilene, che avvolge il tratto libero.

Per tiranti permanenti la protezione sarà costituita da una guaina in PVC, polietilene o polipropilene estesa a tutta la lunghezza del tirante. In corrispondenza del tratto libero la guaina è normalmente prevista in PVC flessibile, liscia. In corrispondenza del tratto di fondazione la guaina è normalmente in PVC rigido, "grecata".

Lo spessore della guaina dovrà garantire contro lacerazioni in tutte le fasi di lavorazione e posa ed in presenza delle sollecitazioni meccaniche e chimiche previste in esercizio e non dovrà essere inferiore ai seguenti valori:

- 1,0 mm per un diametro interno < 80 mm;
- 1,5 mm per un diametro interno compreso tra 80 e 120 mm;
- 2,0 mm per un diametro interno > 120 mm

La sezione interna della guaina dovrà essere pari ad almeno quattro volte la sezione trasversale complessiva delle armature (trefoli o barre) contenute e dovrà comunque assicurare uno spessore di iniezione per il ricoprimento degli elementi più esterni dell'armatura di almeno 10 mm.

Per le guaine corrugate dovrà risultare una distanza tra due nervature successive > 5 mm ed una differenza tra i diametri interni, maggiore e minore, superiore a 8 mm.

Ciascun trefolo o barra dovrà essere ulteriormente protetto:

- da una guaina individuale in PVC, polietilene o polipropilene nella parte libera;
- da un'eventuale verniciatura in resina epossidica elasticizzata nel tratto di fondazione.

Gli spazi residui tra guaina e pareti del perforo e tra armatura e guaina dovranno essere riempiti con miscela cementizia.

10.3.4.2 Tubi d'acciaio

La protezione dei tiranti permanenti può essere costituita anche da una guaina rigida in tubi di acciaio che riveste l'armatura su tutta la loro lunghezza. In ambiente aggressivo la guaina sarà rivestita con resina epossidica elasticizzata.

Le giunzioni tra i diversi spezzoni di tubo saranno ottenute mediante manicotti saldati o filettati. Nel tratto di fondazione i tubi saranno dotati di valvole per l'iniezione, secondo le indicazioni di Progetto, e dovranno essere scovolati internamente dopo l'esecuzione dei fori di uscita della miscela, allo scopo di asportare le sbavature lasciate dal trapano.

Le valvole saranno costituite da manicotti di gomma di spessore minimo 3,5 mm, aderenti al tubo e mantenuti in posto mediante anelli di filo di acciaio (diametro 4 mm) saldati al tubo in corrispondenza dei bordi del manicotto.

La valvola più bassa sarà posta subito sopra il fondello che occlude la base del tubo.

Il tubo guaina dovrà essere dotato di distanziatori non metallici, posizionati di preferenza in corrispondenza dei manicotti di giunzione, per assicurare la centratura all'interno del perforo e quindi la protezione esterna del tubo mediante uno spessore uniforme di miscela cementizia.
La sezione interna del tubo guaina dovrà essere tale da consentire l'alloggiamento dei trefoli provvisti di distanziatori, in conformità a quanto previsto dalle presenti Norme.

10.3.4.3 Elementi di protezione dell'armatura

La protezione di base del tirante nel terreno è costituita dal corretto riempimento di ogni suo elemento mediante la miscela d'iniezione, che deve garantire su ogni elemento una copertura minima di 10 mm verso la parete del foro di alloggiamento.
In relazione poi all'aggressività dell'ambiente e alla durata di Progetto del tirante, il tirante stesso deve essere munito di ulteriori elementi di protezione.
In linea con quanto già detto al paragrafo 14.0, sono ammesse le seguenti due classi di protezione:
- classe 1, per tiranti temporanei, in ambiente aggressivo e non aggressivo, per un periodo di esercizio inferiore a ventiquattro mesi;
- classe 2, per tiranti permanenti, in ambiente aggressivo e non aggressivo, per un periodo di esercizio uguale o comunque superiore a ventiquattro mesi

Per la classe 1 è richiesto:
a) per il tratto vincolato la semplice protezione di ciascuna armatura mediante la già indicata copertura minima di 10 mm verso la parete del foro (salvo valutare ulteriori protezioni in caso di ambiente aggressivo);
b) per il tratto libero una guaina di plastica per ogni singola armatura, sigillata contro la penetrazione dell'acqua o riempita di un prodotto anticorrosione; la guaina può essere comune a tutte le armature e in questo caso può essere di plastica, ma anche di acciaio.

Per la classe 2 è richiesto invece una doppia protezione che può essere realizzata:
a) per il tratto vincolato ad esempio con:
   - a.1 – un tubo corrugato di plastica, contenente l'armatura, preiniettato con miscela cementizia (copertura minima di 5 mm tra tubo ed armatura; larghezza delle fessure nella miscela tra tubo ed armatura non superiore a 0,1 mm sotto il tiro di esercizio); il tubo avrà uno spessore di 1-2 mm a seconda del diametro e sarà a sua volta ricoperto da uno spessore di almeno 10 mm di miscela cementizia verso la parete del foro
   - a.2 – un tubo corrugato di plastica o un tubo di acciaio, contenente l'armatura (copertura minima di 5 mm tra tubo ed armatura), munito di valvole a manicotto (spessore minimo 3 mm); il tubo sarà ricoperto da uno spessore di almeno 20 mm di miscela cementizia iniettata in pressione attraverso le valvole (pressione minima di 0,5 MPa; larghezza delle fessure nella miscela non superiore a 0,2 mm sotto il tiro di esercizio).

b) per il tratto libero ad esempio con:
   - b.1 – una guaina di plastica per ciascuna armatura (riempita di composto protettivo lubrificante), con una guaina plastica comune per tutte le armature, riempita con prodotto anticorrosione molle o miscela cementizia;
   - b.2 - una guaina di plastica per ciascuna armatura (riempita di composto protettivo lubrificante), con un tubo d'acciaio comune per tutte le armature, riempito con miscela cementizia.

10.3.5 Miscele di iniezione

Negli ancoraggi in terreni o roccia, allo scopo di assicurare l'aderenza e soprattutto proteggere i cavi dalla corrosione, è necessario che le guaine o i fori vengano iniettati con miscela cementizia fluida, a ritiro compensato e con adeguata resistenza meccanica come nel seguito specificato.

Tale miscela costituita da cemento, additivi e acqua, non dovrà contenere cloruri, polvere di alluminio, coke o altri agenti che provocano espansione mediante formazione di gas aggressivi.
Per le prescrizioni sulle caratteristiche delle malte cementizie e relativi additivi, si rimanda ai paragrafi 6.7 e 6.8 della UNI EN-1537.

In funzione delle condizioni di aggressività del terreno, come riportato nella norma UNI EN 206, dovrà essere selezionato l'opportuno tipo di cemento dotato di marcatura CE e DoP in conformità alla norma europea armonizzata UNI EN 197-1 con sistema di attestazione della conformità di tipo 1+.

Per la produzione delle miscele dovranno essere impiegate i seguenti tipi di acqua conformi alla Norma UNI EN 1008:

- potabili: sono considerate idonee senza la necessità di essere sottoposte a prove;
- di ricupero dei processi dell'industria del calcestruzzo: sono considerate idonee se conformi ai requisiti dell'appendice A della UNI EN 1008;
- di origine sotterranea: sono considerate idonee se conformi ai requisiti del § 4 della UNI EN 1008 e devono essere sottoposte a prove;
- naturale di superficie e acque reflue industriali: sono considerate idonee se conformi ai requisiti del § 4 della UNI EN 1008 e devono essere sottoposte a prove.

Quando si combinano più tipi di acqua, i requisiti si applicano all'acqua combinata. Non sono ammesse acque marine o salmastre né acque nere.

Gli eventuali additivi utilizzati per modificare le proprietà della miscela devono essere muniti di attestato CE in conformità ai requisiti della norma UNI EN 934-2 con sistema di attestazione della conformità di tipo 2+.

In generale, a parità di caratteristiche tecniche, si dovrà preferire prodotti ad elevate prestazioni ambientali (ad es. biodegradabilità).

10.3.5.1 Miscele tipo a base di cemento

Saranno usate miscele a base di cemento, con rapporto acqua/cemento inferiore o uguale a 0,5.
Con riferimento alla Norma UNI EN 197/1 il cemento potrà essere:

- del tipo II 32,5 N, 32,5 R, 42,5 N o 42,5 R in presenza di ambiente non aggressivo;
- del tipo III A 32,5 R o 42,5 R oppure IV A 32,5 R o 42,5R in presenza di ambiente aggressivo; non sono ammessi cementi di tipo I 52,5 N o 52,5 R;

E' ammesso l'eventuale impiego di filler calcareo o siliceo con rapporto non superiore al 30% sul peso in cemento;
Il filler dovrà presentare un residuo al setaccio n. 37 della serie UNI n. 2332 (apertura 0,075 mm) inferiore al 3% in peso.
Sono ammessi additivi che hanno un contenuto totale di cloruri, solfuri e nitrati inferiore allo 0.1% in peso. Gli additivi non dovranno essere aeranti.
La miscela, confezionata con i cementi precedentemente menzionati, dovrà presentare i seguenti requisiti, periodicamente controllati durante le lavorazioni:

- peso specifico della miscela che non potrà discostarsi per più del 2% da quello ottimale definito in sede progettuale;
- fluidità MARSH da 40" a 50" (ugello 10mm e misure cono come indicato nella UNI EN 445).;
- decantazione < 2%;

La resistenza minima richiesta dovrà essere superiore a 25 Mpa, valutata con prova a compressione monoassiale, su campioni cilindrici di altezza pari a due volte il diametro semplice o pari a 30 Mpa su cubetti.

10.3.5.2 Miscele cementizie premiscelate e carattestiche dell'impianto

Qualora si verificasse l'esigenza di ottenere resistenze elevate alle brevissime od alle brevi stagionature (1d, 3d o 7d), anche in presenza di temperature minori di 5 °C, oppure in casi particolari in cui si verifichino critiche condizioni al contorno (acque di falda in condizioni dinamiche; terreni fortemente assorbenti, che possono ostacolare la connessione del tirante e provocare lo sfilamento dello stesso in fase di tesatura; eccezionale aggressività ambientale ecc.), potrà risultare necessario l'utilizzo di malte cementizie premiscelate con granulometria dell'eventuale inerte non superiore a 0,3 mm formate da leganti solfato resistenti, additivi superfluidificanti ed espansivi.
Tale utilizzo può essere previsto negli elaborati progettuali, ordinato dal Direttore dei Lavori o scelto dall'Appaltatore per la realizzazione dei lavori in conformità alle specifiche d'appalto.

La miscela confezionata con boiacca premiscelata è in genere caratterizzata da un rapporto acqua/sostanza secca molto basso (0,20-0,25). Essa dovrà presentare i seguenti requisiti minimi, salvo diverse disposizioni indicate in Progetto o prescritte durante la fase esecutiva, da controllarsi periodicamente durante le lavorazioni

- peso specifico della miscela che non potrà discostarsi per più del 3% da quello ottimale definito in sede progettuale;
- fluidità MARSH da 40" a 50" (ugello 10mm e misure cono come indicato nella UNI EN 445).;
- decantazione < 1%;
- resistenza a flessione: a 1 giorno > 5 MPa; a 7 giorni > 9 MPa; a 28 giorni > 10 MPa;
- resistenza cubica a compressione: a 1 giorno > 30 MPa; a 7 giorni > 50 MPa; a 28 giorni > 60 MPa

Le miscele dovranno essere confezionate utilizzando impianti a funzionamento automatico o semi-automatico dotati di:

- bilance elettroniche per componenti solidi;
- vasca volumetrica per acqua o flussometri ad alta precisione;
- mescolatore primario a elevata turbolenza (min. 1500 giri/min);
- vasca di agitazione secondaria e dosatori volumetrici delle miscele cementizie.

L'impastatrice dovrà essere del tipo ad alta velocità con almeno 1500÷2000 giri/min. E' vietato l'impasto a mano e il tempo di mescolamento verrà fissato di volta in volta in base ai valori del cono di Marsh modificato.
Successivamente all'impianto del cantiere e prima dell'inizio delle lavorazioni dovrà essere eseguita la taratura delle bilance per i componenti solidi. Prima di essere immessa nella pompa la miscela dovrà essere vagliata con setaccio a maglia di 2 mm di lato.

L'impianto di produzione, qualora il materiale sia fornito in sacchi, deve disporre almeno di un dosatore dell'acqua, di termometri (per la misura della temperatura ambiente, dei componenti e della miscela), di un contasecondi e di idonei sistemi di riscaldamento/isolamento dei componenti se previsti a causa delle particolari condizioni ambientali. Tutti gli strumenti devono essere provvisti di idonea taratura non anteriore a 6 mesi.
Particolare attenzione dovrà essere posta in presenza di miscele espansive, nella determinazione dei tempi di miscelazione prima dell'iniezione, affinché venga garantita una corretta

omogeneizzazione dell'impasto senza però far iniziare l'effetto espansivo, che dovrà invece avvenire in foro garantendo i requisiti di progetto in termini di fattore di espansione, pressione di espansione, resistenza della miscela con ogni condizione di temperatura esterna, prevedendo eventualmente il riscaldamento della miscela.

10.3.6 Travi di ripartizione

Salvo diverse indicazioni progettuali gli acciai di carpenteria metallica utilizzati per ripartire i carichi saranno costituiti da:

- profili a sezione aperta laminati a caldo saldati:
  - dotati di marcatura CE e DoP conformemente alla norma UNI EN 10025-2 di qualità S355 J2 per spessori nominali t ≤ 40mm
  - dotati di marcatura CE e DoP conformemente alla norma UNI EN 10025-2 di qualità S355 K2 per spessori nominali t > 40mm
- profili a sezione aperta laminati a caldo non saldati:
  - dotati di marcatura CE e DoP conformemente alla norma UNI EN 10025-2 di qualità S355 J0
- profili a sezione cava:
  - dotati di marcatura CE e DoP conformemente alla norma UNI EN 10210-1 di qualità S355 J0H

Per tutti gli acciai il sistema di attestazione della conformità deve essere di tipo 2+.
Le dimensioni e il tipo di profilo sono indicati negli elaborati progettuali.

10.4 Criteri di accettazione per le perforazione

Le attrezzature di perforazione dovranno rispondere ai requisiti richiesti dalle norme UNI EN 16228 e EN 996 e dal § 10.7.1 del presente capitolato e dovranno essere in numero e capacità produttiva adeguato al rispetto delle produzioni attese nel programma esecutive dei lavori.
Le pompe di alimentazione del fluido di circolazione dovranno assicurare le opportune portate e pressioni richieste dalla metodologia di perforazione adottata.
Il fabbricante deve indicare le caratteristiche delle attrezzature per la messa in opera dei tiranti dallo stesso prodotti e fornire le istruzioni operative per la corretta procedura per la loro installazione e tesatura.

10.5 Prove di carico preliminari

10.5.1 Soggezioni geotecniche, idrogeologiche e ambientali

Le tecniche di perforazione e le modalità di connessione al terreno - messi a punto mediante l'esecuzione di tiranti di ancoraggio preliminari di prova, approvati dalla Direzione Lavori prima dell'inizio della costruzione dei tiranti di Progetto - dovranno essere definite in relazione alla natura dei materiali da attraversare e delle caratteristiche idrogeologiche locali.
Particolare cura dovrà essere posta relativamente alla verifica dell'aggressività dell'ambiente nei riguardi del cemento impiegato nella realizzazione della miscela di iniezione dei tiranti. Le classi di aggressività dell'ambiente nei riguardi del cemento sono individuate in base alla UNI EN 206 e il tipo di cemento da impiegare in funzione della classe di esposizione deve essere scelto in base alla norma UNI EN 197-1. In ogni caso si possono seguire le seguenti indicazioni per valutare l'aggressività dell'ambiente quando non incontrasto con la UNI EN 206:

- il grado idrotimetrico (durezza) dell'acqua del terreno o di falda risulti < 3 F;
- il valore del pH dell'acqua risulti < 6;

- il contenuto in CO_2 disciolta nell'acqua risulti > 30 mg/l;
- il contenuto in NH_4 dell'acqua risulti > 30 mg/l;
- il contenuto in ioni Mg dell'acqua risulti > 300 mg/l;
- il contenuto in ioni SO dell'acqua risulti > 600 mg/l o > 6000 mg/kg di terreno secco;
- i tiranti si trovino in vicinanza di linee ferroviarie o di altri impianti a corrente continua non isolati e con potenze maggiori di 50 kW;
- l'opera risulti situata a distanza $\leq$ 300 m dal litorale marino.

10.5.2 Obiettivi delle prove di carico preliminari

Prima di dare inizio ai lavori l'Appaltatore dovrà mettere a punto la metodologia esecutiva (perforazione, iniezione, ecc.) e testarne l'efficacia mediante un adeguato numero di prove di carico su tiranti di ancoraggio preliminari, i quali dovranno essere realizzati con lo stesso sistema costruttivo degli ancoraggi di progetto e, una volta sottoposti a prova di carico, non potranno più essere utilizzati per l'impiego successivo.

I tiranti preliminari di prova dovranno essere eseguiti in prossimità e nelle stesse condizioni ambientali degli ancoraggi di progetto, in condizioni comunque rappresentative dal punto di vista geotecnico e idrogeologico, dopo l'esecuzione di quelle operazioni - quali scavi e riporti - che possano influire sulla capacità portante della fondazione.

Il numero degli ancoraggi di prova sarà stabilito dalla Direzione Lavori in base all'importanza dell'opera e al grado di omogeneità del sottosuolo e, in ogni caso, non potrà essere inferiore a:

- 1 se il numero degli ancoraggi di progetto è inferiore a 30
- 2 se il numero degli ancoraggi di progetto è compreso tra 31 e 50
- 3 se il numero degli ancoraggi di progetto è compreso tra 51 e 100
- 7 se il numero degli ancoraggi di progetto è compreso tra 101 e 200
- 8 se il numero degli ancoraggi di progetto è compreso tra 201 e 500
- 10 se il numero degli ancoraggi di progetto è superiore a 500.

La realizzazione dei tiranti preliminari e le successive prove di carico dovranno svolgersi in presenza della Direzione Lavori, alla quale spetta l'approvazione delle modalità esecutive dei tiranti di progetto.

L'accettazione delle modalità esecutive sarà subordinata al buon esito delle prove di carico, ovvero all'idoneità dei tiranti in termini prestazionali (conferma sperimentale delle ipotesi analitiche avanzate in fase di predimensionamento delle lunghezze dei bulbi di ancoraggio, raggiungimento del carico limite di progetto, compatibilità degli spostamenti, …).

Le prove di carico dovranno essere spinte fino a portare a rottura il complesso tirante-terreno, determinando il carico limite e definendo significativi diagrammi dei cedimenti in funzione dell'entità e della durata di applicazione del carico, tali da cogliere gli effetti del comportamento viscoso del terreno e dei materiali che costituiscono l'ancoraggio del tirante.

Il programma di prova (modalità di applicazione, livelli intermedi e valore massimo del carico, sequenza dei cicli di carico-scarico, …) sarà quello riportato in Progetto o verrà prescritto dalla Direzione Lavori. In assenza di specifiche prescrizioni di Progetto, le prove potranno essere eseguite in accordo alla Norma UNI EN 1537 o come riportato nel successivo § 10.5.3, previa autorizzazione della Direzione Lavori.

L'Appaltatore dovrà in ogni caso provvedere all'esecuzione di tutte le prove di controllo che la Direzione Lavori riterrà necessarie per dirimere ogni dubbio sulla corretta realizzazione dei tiranti.

Ciò premesso, gli oneri per l'esecuzione delle prove di carico preliminari e delle prove di controllo ordinate dalla Direzione Lavori verranno compensate all'Appaltatore.

Qualora l'Appaltatore proponga di variare nel corso dei lavori la metodologia esecutiva già sperimentata e preliminarmente approvata, Egli dovrà dare nuovamente corso alle prove

sopradescritte, le quali, in tal caso, rimarranno totalmente a suo carico.

10.5.3 Linee guida per le prove di carico preliminari

Si prevede che vengano eseguite prove di carico su almeno tre tipologie di tiranti preliminari:

- n. 1 elemento avente una lunghezza del tratto di fondazione ridotta rispetto a quella di Progetto, con armatura equivalente a quella di Progetto, eseguito con la metodologia identica a quella prevista dall' Appaltatore. In fase di tesatura, l'elemento verrà portato alle condizioni limite della fondazione o comunque ad un carico Pp non superiore ad un limite di sicurezza dell' armatura pari al 95% Pyk (Pyk carico limite corrispondente allo snervamento dell' acciaio).
- n. 1 elemento avente una lunghezza del tratto di fondazione pari a quella di Progetto, con armatura sovradimensionata, eseguito con metodologia di perforazione ed iniezione simile a quella prevista; in questo caso sono ammessi calibri di perforazione maggiorati al fine di consentire l' installazione delle armature. In fase di tesatura, l'elemento verrà portato alle condizioni limite della fondazione o comunque ad un carico Pp non superiore ad un limite di sicurezza dell' armatura pari al 95% Pyk (Pyk carico limite corrispondente allo snervamento dell' acciaio).
- n. 1 elemento avente una lunghezza del tratto di fondazione e armatura pari a quella di Progetto, eseguito con metodologia di perforazione ed iniezione scelta sulla base dei risultati delle prime due prove. In fase di tesatura, l'elemento verrà portato ad un carico Pp non superiore ad un limite di sicurezza dell' armatura pari al 95%Pyk (Pyk carico limite corrispondente allo snervamento dell' acciaio).

Come linee guida principali della fase di tesatura si prevede quanto segue:

- ogni elemento dovrà essere caricato con cicli di carico-scarico, partendo dal carico di riferimento iniziale 0.1Pp sino al carico massimo della prova Pp (pari al presunto carico Ra -resistenza limite del tratto vincolato del tirante e comunque inferiore a 0.95Pyk).
- l'elemento dovrà essere caricato fino al carico Pp con almeno sei incrementi di carico, con misura degli allungamenti.
- per ogni gradino di carico si manterrà il valore raggiunto per un periodo di tempo (ΔT) almeno pari a 60' per terreni non coesivi e di 180' per terreni coesivi, e comunque prolungato sino a che la velocità di creep Ks (come definita nel seguito) risulti stabilizzata.
- su richiesta della Direzione Lavori e del progettista potranno essere richiesti, per un determinato livello di carico, periodi anche superiori alle 72 ore di osservazione degli allungamenti dell' elemento in condizioni di carico costante.

I criteri di accettazione del tirante si baseranno sulla valutazione della lunghezza libera apparente e sulla valutazione del valore limite a rottura della interfaccia terreno/fondazione del tirante, anche alla luce del fenomeni di allungamento a carico costante (creep caratteristico e creep critico).
La valutazione limite a rottura della interfaccia terreno/fondazione dovrà essere effettuata mediante analisi geotecniche che consentano di differenziare i contributi alla resistenza del tirante offerti dal tratto libero e dal tratto attivo.

10.5.3.1 Lunghezza libera apparente

Per calcolare la lunghezza libera apparente L_{app} si dovrà usare la seguente relazione:

$$L_{app} = At\ Et\ \Delta s\ /\Delta P$$

dove:

- At è l'area della sezione trasversale dell'armatura;
- Et è il modulo elastico dell'armatura;
- Δs s è l'allungamento elastico dell'armatura (valutato per l'intervallo di carico ΔP);

- ΔP è l' intervallo di carico corrispondente al massimo livello di carico raggiunto nel ciclo di carico-scarico analizzato, meno il carico iniziale di riferimento.

I limiti entro i quali deve trovarsi L_{app} sono:

limite superiore:

$L_{app} \leq L_l + L_e + 0.5\ L_b$

$L_{app} \leq 1.1\ Ll + Le$

considerando il maggiore dei due valori

limite inferiore:

$L_{app} \geq 0.8\ L_l + L_e$.

Ove:

- L_b = lunghezza del tratto vincolato
- Ll = lunghezza libera teorica del tirante (dalla testata di ancoraggio all' inizio del tratto vincolato)
- L_e = lunghezza del tratto libero dell' armatura compreso fra la testata di ancoraggio e il punto di presa del martinetto idraulico

Se la lunghezza libera apparente dell'armatura risulta fuori dei limiti, si può comunque sottoporre il tirante a cicli ripetuti di carico fino a Pp e nel caso in cui il comportamento carico/allungamento risulta di buona ripetibilità, il tirante potrà essere accettato dal progettista.

10.5.3.2 Creep critico

L'incremento degli spostamenti della testa d'ancoraggio rispetto a un punto fisso viene misurato per ciascun ciclo di carico al raggiungimento del carico massimo corrispondente e successivamente con il mantenimento di tale carico per un intervallo di tempo specificato.

Si definisce come velocità di creep K_s :

$$Ks = (s_2 - s_1)/ \log(t_2/t_1)$$

ove:

s_1 è lo spostamento della testa al tempo t_1;

s_2 è lo spostamento della testa al tempo t_2;

t è il tempo intercorso dopo l'applicazione dell'incremento di carico.

La velocità di creep caratteristica Ksc viene determinato dopo che K_s essa risulta costante su due intervalli di tempo consecutivi.

Le misurazioni degli spostamenti della testa di ancoraggio si svolgeranno ai tempi qui indicati (minuti):

1, 2, 3, 5, 10, 15, 20, 30, 45, 60, 180, ed eventuali tempi superiori.

Il creep critico K_{sc} è la velocità massima di creep ammessa ad uno specificato livello di carico corrispondente a 2.5 mm.

10.6 Documenti di prequalifica

L'Appaltatore deve trasmettere al Direttore dei Lavori per approvazione almeno 15 giorni prima dell'inizio delle attività, la documentazione di seguito elencata.

La mancata presentazione della documentazione preliminare comporta la non autorizzazione all'inizio dell'esecuzione dei lavori, né saranno accettate eventuali lavorazioni svolte prima dell'approvazione delle modalità esecutive.

Per gli interventi in oggetto si richiede la presentazione da parte dell'Appaltatore di una apposita "Procedura di lavoro", prevista all'art. CG.01.01 della sezione "Condizioni generali" del presente Capitolato Speciale. L'Appaltatore, deve altresì trasmettere alla Direzione Lavori per approvazione, un dossier di qualifica contenente:

- Marcatura CE, DoP, ETA e scheda tecnica con le condizioni climatiche limite di utilizzo, le modalità di posa dei materiali e i certificati eseguiti da un Laboratorio Ufficiale a dimostrazione della conformità del prodotto che intende proporre. Per i materiali ove è presente un articolo di capitolato specifico si rimanda ai contenuti di qualifica dell'articolo di riferimento. Per gli elementi di acciaio strutturale occorre altresì presentare:
  - Attestato di qualificazione, rilasciato dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici in conformità al § 11.3.1.2 delle NTC2018
  - Attestato di denuncia dell'Attività di centro di trasformazione di cui al § 11.3.1.7 delle NTC2018, rilasciato dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici;
  - Certificato UNI EN ISO 3834 parti 2, 3 e 4 del centro di trasformazione o di produzione degli acciai nel caso di esecuzione di operazioni di saldatura di cui al § 11.3.4.5 delle NTC2018;
- Per le armature in vetroresina le schede tecniche e i certificati eseguiti da un laboratorio ufficiale a dimostrazione dei requisiti indicati al § 10.3.1.2 e nel progetto;
- La certificazione del sistema di controllo della produzione (FPC) e il Certificato UNI EN ISO 9001 del sistema di gestione qualità delle società produttrici dei materiali;
- Lo studio dettagliato delle prove di carico preliminari con i contenuti di cui al § 10.5;
- Lo studio tecnologico della miscela da utilizzare nel rispetto dei contenuti di cui al § 10.3.5;
- Le specifiche dell'impianto per le miscele cementizie ove presente nel rispetto dei contenuti di cui al § 10.3.5.2;
- La descrizione delle attrezzature di perforazione ed inizione nel rispetto dei contenuti di cui ai §§ 10.4 e del sistema di acquisizione dei parametri per la ricostruzione stratigrafica di cui al § 10.8.1.2;
- Il pantentino degli operatori per perforatori piccolo-grande diametro che saranno impegnati nelle lavorazioni;
- La planimetria con la numerazione e la posizione dei tiranti e la sequenza di lavorazione.

Le prove e i certificati di accettazione iniziale della fase di prequalifica sono da ripetere ad ogni cambio fornitore o tipo di materiale a cura ed onere dell'Appaltatore.
I requisiti d'accettazione potranno inoltre essere accertati con ulteriori prove a cura della Direzione Lavori sia in in fase di prequalifica (controllo non vincolante per l'autorizzazione), sia in corso d'opera, prelevando il materiale in sito, prima e dopo avere effettuato le lavorazioni.

10.7 Modalità esecutive

10.7.1 Perforazioni

La perforazione (rif.paragrafo 8 norma UNI EN 1537) dovrà essere condotta in modo tale da comportare il minimo disturbo del terreno e da evitare danni alle opere circostanti. Il metodo di perforazione dovrà essere scelto con riferimento alle condizioni del terreno, in modo da non alterare la migliore capacità di ancoraggio, permettendo di mobilitare la resistenza (Rd) del tirante di progetto.
Le ragioni della necessità di una minima modifica nel terreno sono:

- prevenire il collasso delle pareti del foro durante la perforazione e la posa in opera dell'armatura (dove necessario dovrebbe essere usato un rivestimento);
- limitare al minimo la decompressione della massa circostante in terreni incoerenti;
- limitare al minimo le variazioni nei livelli di falda;
- limitare al minimo il disturbo sulle pareti del foro in terreni coesivi e rocce degradabili.

Le modificazioni sul terreno devono risultare contenute in misura tale da ridurre gli effetti negativi, per esempio fessurazione, preconsolidamento e post-consolidamento, associati a ogni manovra.

La perforazione potrà essere eseguita a rotazione o a rotopercussione, in materie di qualsiasi natura e consistenza, compreso calcestruzzi, murature, trovanti e/o roccia dura, anche in presenza di acqua.
Per la circolazione del fluido di perforazione dovranno essere utilizzate pompe a pistoni con portate e pressioni adeguate alla tecnologia prescelta. Di norma sono richiesti valori minimi di 200 l/min e 2.5 MPa rispettivamente.
Nel caso di perforazione a roto-percussione con martello a fondo foro si utilizzeranno compressori di adeguata potenza; le caratteristiche minime richieste sono:

- portata non inferiore a 10 m^3/min;
- pressione non inferiore a 0.8 MPa.

Il perforo potrà essere eseguito a qualsiasi altezza e l'Appaltatore dovrà provvedere ad eseguire idonei ponteggi ed impalcature.
Il foro dovrà essere rivestito mediante rivestimenti tubolari metallici provvisori nel caso che il terreno sia rigonfiante o non abbia coesione sufficiente ad assicurare la stabilità delle pareti del foro durante e dopo la posa delle armature.
Il fluido di perforazione potrà essere acqua, aria, una miscela di entrambe eventualmente additivata con tensioattivi (schiume). Per perforazioni in terreni sciolti, in alternativa al rivestimento provvisorio del foro, è anche ammesso l'uso di fanghi polimerici, purché biodegradabili, e di miscele cementizie di opportuna densità. L'impiego di aria non è consentito in terreni incoerenti sotto falda.
Quando sia previsto dal Progetto e sia compatibile con la natura dei terreni, si potranno eseguire, mediante l'impiego di appositi utensili allargatori, delle scampanature di diametro noto, regolarmente intervallate lungo la fondazione del tirante.
In tutte le fasi esecutive, comprese le fasi di preparazione e di sistemazione finale delle aree, per gli aspetti e le problematiche relative a temi ambientali, quali impatti acustici e vibrazionali, emissioni in atmosfera, impatto sulle acque superficiali, sotterranee e sul suolo, impatti sulla componente fauna e vegetazione, si rimanda integralmente a quanto prescritto dalla Normativa Nazionale e Regionale vigente, alle prescrizioni degli Enti preposti alla tutela ambientale, nonché alle condizioni ambientali contenute nelle autorizzazioni ed alle disposizioni del Capitolato Ambientale e Piano di Gestione Terre/Piano di Utilizzo allegati al progetto esecutivo.

In base alle indicazioni emerse nel corso della esecuzione dei tiranti preliminari di prova, in presenza di falde artesiane o quando la testa del foro si trovi a livello inferiore rispetto alla falda freatica in terreni particolarmente permeabili, dovranno essere messe in atto tutte le opportune precauzioni al fine di evitare fenomeni di espulsione incontrollata di materiale da bocca-foro ed il successivo dilavamento delle miscele durante la formazione del fusto del tirante. L'Appaltatore dovrà provvedere a sua cura e spese, a preventive iniezioni di intasamento che si rendessero necessarie all'interno del foro con miscele e modalità approvate dalla Direzione Lavori.

10.7.2 Assemblaggio e posa delle armature

Per l'impiego di armature a trefoli (di norma in acciaio controllato in stabilimento con fili aventi tensione caratteristica al limite elastico convenzionale dello 0,1% $f_{p(1)k} \geq 1670$ MPa e tensione caratteristica a rottura $f_{ptk} \geq 1860$ MPa) gli elementi costitutivi dell'ancoraggio dovranno essere preferibilmente confezionati in stabilimento e pervenire in cantiere già arrotolati e inguainati, salvo eventualmente il dispositivo di bloccaggio che potrà essere montato in cantiere.
Ove, per particolari motivi, fosse necessario effettuare l'assemblaggio degli elementi costitutivi degli ancoraggi in cantiere, dovrà essere predisposta a cura e spese dell'Appaltatore, ed in prossimità del luogo di impiego, una adeguata attrezzatura per confezionare correttamente gli ancoraggi stessi.

In tal caso i componenti ed in particolare l'acciaio, dovranno essere immagazzinati convenientemente, possibilmente al coperto, in modo che non subiscano danneggiamenti durante la giacenza. Dovrà essere inoltre accuratamente evitato il contatto con il terreno o altri materiali che possono danneggiare l'ancoraggio.
Pertanto la confezione degli ancoraggi dovrà avvenire sempre su apposito banco e non a terra. La confezione degli ancoraggi dovrà essere affidata a personale esperto e consisterà nelle seguenti fasi principali:
- taglio dei trefoli a misura;
- interposizione dei distanziatori interni ai trefoli;
- montaggio dei condotti di iniezione;
- infilaggio delle guaine su tutta la lunghezza dell'ancoraggio o sulla parte libera dello stesso;
- esecuzione del tampone di separazione tra la fondazione e la parte libera dell'ancoraggio;
- montaggio degli eventuali distanziatori, necessari al centraggio dell'ancoraggio nel foro di alloggiamento;
- eventuale montaggio del dispositivo di bloccaggio nei casi in cui questa operazione sia prevista prima dell'infilaggio dell'ancoraggio nel foro;
- accurata sigillatura di tutte le giunzioni per evitare le perdite di impermeabilità della guaina.

Per l'impiego di ancoraggi con armature a barre o tubolari, nei quali l'assemblaggio è fatto in opera, le operazioni di assemblaggio dovranno essere eseguite da personale esperto ed essere effettuate via via che la barra viene infilata nel foro avendo cura che il collegamento dei vari tronchi, mediante manicotti di giunzione, avvenga secondo le modalità previste dal costruttore e che parallelamente le sigillature della eventuale guaina siano accuratamente eseguite.
La posa in opera delle armature dovrà avvenire secondo modalità approvate dalla Direzione Lavori che ne assicurino il corretto posizionamento e l'efficacia della connessione al terreno.
I trefoli o barre ed i condotti d'iniezione dovranno fuoriuscire a bocca-foro per un tratto adeguato a consentire le successive operazioni di iniezione e di tesatura.
Si procederà quindi con le seguenti operazioni:
- introduzione del tirante;
- riempimento del foro con miscela cementizia (cementazione di 1a fase);
- riempimento dei dispositivi di separazione e protezione interni (sacco otturatore, bulbo interno);
- esecuzione delle iniezioni selettive a pressioni e volumi controllati;
- posizionamento della testata e dei dispositivi di tensionamento;
- prove di carico di collaudo;
- tensionamento del tirante;
- iniezione della parte libera;
- protezione della testata.

Si dovranno rispettare le seguenti prescrizioni:
- la perforazione dovrà essere interamente rivestita nel caso di terreni sciolti o rocce fratturate;
- il tirante dovrà essere dotato della valvola di fondo esterna all'ogiva;
- il riempimento dovrà avvenire contemporaneamente all'estrazione dei rivestimenti e dovranno essere operati gli eventuali rabbocchi finali;
- i trefoli e i condotti di iniezione dovranno essere opportunamente prolungati fino a fuoriuscire a bocca foro per un tratto adeguato a consentire le successive operazioni di iniezioni e di tesatura.

10.7.3 Connessione al terreno

La connessione del tirante al terreno è realizzata mediante la posa in opera (iniezione) della miscela d'iniezione. Questa avviene in fasi successive a seconda del tipo di tirante:

- iniezione semplice o di prima fase
- riempimento dei dispositivi di separazione e protezione interni del tirante (sacco otturatore e tampone interno, ove non prefabbricato)
- iniezione selettiva ripetuta in pressione
- iniezione di riempimento del tratto libero del tirante.

Le fasi d'iniezione saranno effettuate in accordo a quanto previsto successivamente.

10.7.3.1 Iniezione semplice o di prima fase

L'iniezione semplice o di prima fase consiste nel riempimento, per tutta la lunghezza del foro, dello spazio tra la struttura del tirante e le pareti del foro stesso. Essa viene di norma eseguita immediatamente dopo la posa in opera del tirante, ma può essere eseguita anche immediatamente prima della posa del tirante, quando questa procedura possa costituire un'ulteriore garanzia della stabilità del foro e dell'agevole introduzione del tirante in esso.
Il riempimento sarà fatto con la miscela precedentemente descritta e, per i tiranti permanenti a trefoli, interesserà oltre all'intercapedine tra la guaina ed il foro, anche tutto lo spazio tra l'eventuale guaina corrugata e l'armatura lungo la fondazione del tirante. Tale spazio dovrà essere collegato alla bocca del foro da un tubetto di sfiato che consenta la fuoriuscita di tutta l'aria contenuta e l'iniezione dovrà essere proseguita fino alla fuoriuscita della miscela dal tubetto di sfiato.
L'iniezione semplice è adatta :

- in terreni di granulometria grossolana (ghiaie, ciottoli) nei quali una porzione rilevante della malta iniettata va a compenetrare il terreno intorno al foro;
- in rocce lapidee ed in terreni coesivi mediamente compatti, congiunta eventualmente alla tecnica di perforazione con allargatori.

In questi tipi di terreno l'iniezione semplice è normalmente sufficiente ad assicurare le prestazioni del tirante (cioè la sua resistenza esterna intesa come resistenza a trazione all'interfaccia tra fondazione e terreno), mentre in terreni di caratteristiche diverse si rende necessaria l'iniezione ripetuta in pressione.
Il riempimento dello spazio tra struttura del tirante e foro, e quindi anche dell'intercapedine tra foro e guaina della parte libera, sarà assicurato immettendo la miscela nel punto più profondo del foro tramite gli appositi condotti ed osservando che essa risalga fino a boccaforo e vi permanga finché interviene la presa: ove occorra si provvederà a riprese dell'iniezione o a rabbocchi per ottenere che la condizione di riempimento sia rispettata.

10.7.3.2 Iniezione ripetuta in pressione

Se la struttura del tirante prevede la presenza di un sacco otturatore per l'ulteriore separazione tra tratto libero e tratto vincolato (fondazione) del tirante, l'iniezione di riempimento del sacco viene di norma eseguita prima dell'iniezione ripetuta in pressione, attraverso le valvole del condotto d'iniezione assiale, che intercettano il sacco. L'iniezione deve essere condotta lentamente ed a bassa pressione (non superiore a 0,5 MPa) per evitare di lacerare il sacco.
L'iniezione ripetuta in pressione consente di ottenere la resistenza esterna richiesta al tirante in terreni di qualunque natura, caratterizzati da un modulo di deformazione a breve termine sensibilmente inferiore a 500 MPa. L'iniezione di quantità controllate della miscela cementizia in più fasi successive, fino ad ottenere pressioni di iniezione residue di 0,8-1,5 Mpa, dovrà avere lo scopo di ottenere una serie di sbulbature lungo la fondazione del tirante e ad instaurare nel terreno circostante un campo tensionale di compressione, favorevole alla mobilitazione di elevate resistenze al taglio per attrito.

L'iniezione in pressione avverrà tramite un tubo a perdere dotato di valvole di non ritorno a manicotto, regolarmente intervallate a 50 cm di interasse lungo il tratto di fondazione del tirante.
Il tubo potrà essere disposto:

- coassialmente all'armatura ed avere diametro adeguato nel caso di tiranti senza guaina lungo la fondazione;
- esterno all'armatura, in acciaio, posto in opera preventivamente alla posa dell'armatura;
- coassiale all'armatura, ma interno alla guaina grecata di protezione e dotato di valvole che sboccano all'esterno di essa per la formazione delle sbulbature nel terreno; altre valvole, interne alla guaina, servono per il riempimento dell'intercapedine guaina/armatura.

Le fasi dell'iniezione saranno le seguenti:
I) Riempimento della cavità a ridosso delle pareti della perforazione, ottenuta alimentando la miscela dalla valvola più profonda in modo da ottenere la risalita fino alla bocca del foro (iniezione di prima fase di cui al paragrafo 14.7.1). Al termine si effettuerà un lavaggio con acqua all'interno del tubo a valvole per renderlo agibile per le successive fasi d'iniezione.
II) Avvenuta la presa della malta precedentemente posta in opera, si inietteranno valvola per valvola (isolando ciascuna valvola mediante un otturatore doppio) volumi di miscela non eccedenti le seguenti quantità:

Diametro foro (mm)	Volume max (l/valvola)
da 90 a 120	45,0
da 121 a 170	65,0
da 171 a 220	90,0

Tali iniezioni dovranno essere effettuate senza superare la pressione corrispondente alla fratturazione idraulica del terreno (claquage).
La massima pressione di apertura delle valvole non dovrà superare il limite di 6 MPa. In caso che una valvola non si apra entro questo limite, la valvola stessa potrà essere abbandonata, salvo diverse istruzioni impartite dalla Direzione Lavori.
Al termine si effettuerà un lavaggio con acqua all'interno del tubo.
III) Avvenuta la presa della miscela precedentemente iniettata, si ripeterà l'iniezione in pressione, osservando gli stessi limiti di volume, limitatamente alle valvole per le quali, nella fase II):

- il volume non abbia raggiunto i limiti sopra indicati a causa della incipiente fratturazione idraulica del terreno;
- le pressioni residue di iniezione misurate a bocca foro al raggiungimento del limite volumetrico non superino 0,8 MPa.

IV) L'iniezione può essere ripetuta ulteriormente, sempre senza superare i limiti di volume anzidetti e dopo la presa delle iniezioni delle fasi precedenti, qualora ciò risultasse necessario per il raggiungimento della desiderata capacità portante (resistenza esterna) del tirante.
Al termine delle operazioni di connessione al terreno del tirante si procederà alla posa in opera del dispositivo di bloccaggio, il quale dovrà essere in perfette condizioni e privo di ruggine e di incrostazioni di qualsiasi natura.

10.7.3.3 Iniezione in terreni/rocce ad elevata permeabilità

In terreni altamente permeabili o in rocce fessurate si potranno verificare perdite incontrollate di miscela che potrebbero pregiudicare la formazione del tratto vincolato. In tali condizioni, preliminarmente alla posa del tirante dovranno essere eseguite nel foro prove in sito di permeabilità (prove d'acqua).
Nel caso che tali prove indicassero, per il tratto ancorato perdite superiori a 5.0 lt/min con pressioni di 0.1 Mpa, si dovranno attuare misure preventive di riduzione del grado di permeabilità quali pre-iniezioni con apposite miscele di intasamento.

A seguito di tali operazioni, per la posa in opera del tirante si renderà necessaria la riperforazione del foro di alloggiamento, a cui seguiranno la posa del tirante e le normali iniezioni.

10.7.4 Tesatura e collaudo

Trascorsi ventotto giorni dall'ultima iniezione, o secondo la tempistica indicata nella documentazione della miscela in fase di qualifica ed approvata dal Direttore dei Lavori, ogni tirante verrà sottoposto a tesatura di collaudo.
L'inizio delle operazioni di collaudo dovrà essere comunque autorizzato dalla Direzione Lavori.
Il carico di collaudo (Pc) è pari a 1.2 volte il carico di esercizio (Pes) e comunque non superiore a 0.9 Pt0.1k (carico di snervamento dell' acciaio).
La prova di collaudo si eseguirà assegnando dapprima al tirante un carico di riferimento iniziale Po = 0.10 Pc e misurando la corrispondente posizione delle armature rispetto alla piastra di testata.
Il tirante dovrà essere caricato fino Pc con almeno tre incrementi uguali. Poi il tirante dovrà essere scaricato al carico Po e caricato di nuovo al tiro di bloccaggio Pb.
Al carico Pc la durata del periodo di controllo delle deformazioni a carico costante per la definizione della velocità di creep Ks (§ 10.5.3.2) dovrà essere:
- 5' per tiranti in roccia o in terreni non coesivi;
- 15' per tiranti con fondazione in terreni coesivi compatti (coesione non drenata > 0,2 MPa).
- 30' per tiranti con fondazione in terreni coesivi non compatti (coesione non drenata < 0,2 MPa).

In caso di non raggiunta determinazione della velocità caratteristica di creep, dovranno essere considerati tempi maggiori di attesa, tali da garantire l' ottenimento di tale valore.
Per l' accettazione del singolo tirante dovranno essere verificate le seguenti condizioni:
- lunghezza libera apparente Lapp in accordo con il § 10.5.3.1
- la velocità di creep Ks non superiore a 1 mm

Valori più elevati di Ks potranno comunque essere ammessi se considerati accettabili nelle precedenti prove preliminari.
I tiranti che non soddisferanno i predetti requisiti di collaudo verranno sostituiti con nuovi tiranti di caratteristiche e posizione concordate con la Direzione Lavori, sentito il Progettista.
Resta inteso che comunque i maggiori oneri che ne deriveranno saranno a totale carico dell'Appaltatore.
E' facoltà della Direzione Lavori accettare diverse modalità di prova, facendo riferimento a quanto previsto nella norma UNI EN 1537.
Le apparecchiature impiegate dovranno consentire le seguenti precisioni di misurazione:
- per gli allungamenti di 0,01 mm;
- per le forze, del 2% della trazione massima di esercizio (Nes).

Esse dovranno essere tarate presso un laboratorio Ufficiale; è facoltà della Direzione Lavori richiedere la ripetizione della taratura in caso di impieghi prolungati, o ripetuti per più di 50 tiranti, o in caso di risultati che diano adito a dubbi sulla loro attendibilità.

10.7.5 Operazioni finali e protezione della testata

La protezione anticorrosiva del tratto libero del tirante sarà completata iniettando all'interno della guaina la miscela, dopo il completamento delle operazioni di tesatura del tirante.
L'iniezione nel tratto libero della miscela cementizia prima della tesatura o di fasi eventuali di ritesatura, potrà avvenire solo per armature costituite da trefoli a sezione compatta, ingrassati e protetti da guaine individuali in P.V.C., in modo che sia assicurato lo scorrimento tra guaina e trefolo con minime resistenze.

Per la testa di ancoraggio del tirante il grado di protezione richiesto è diverso a seconda che il tirante rientri nella classe 1 o nella classe 2. Sarà cura dell'Appaltatore sia per i tiranti permanenti (classe 2), sia per quelli temporanei (classe 1) mettere in atto tutti i provvedimenti perché le teste d'ancoraggio mantengano la loro funzionalità per tutto il tempo di esercizio previsto, anche in vista di eventuali controlli o riprese del tiro dei tiranti.
La protezione della testa d'ancoraggio si esplica in due direzioni: la protezione del piccolo tratto d'armatura immediatamente sotto la piastra di appoggio e la protezione della piastra stessa con i dispositivi di bloccaggio.
Per la prima sarà predisposto un sistema d'iniezione atto a procurare un'efficace estensione all'ultimo tratto dell'armatura della protezione applicata al tratto libero: normalmente si provvede iniettando resine o miscele cementizie con additivi antiritiro attraverso condotti appositamente inseriti nella testa di ancoraggio.
Per la seconda si applicheranno alla piastra ed agli altri componenti di acciaio della testa le protezioni previste dalla relativa norma EN per il rivestimento delle strutture in acciaio. Inoltre si provvederà all'incapsulamento della testa mediante calotte o involucri protettivi di polietilene o polipropilene o anche di acciaio (spessore minimo pari a 2 mm), completi di guarnizione di tenuta.
L'appaltatore potrà porcedere al taglio delle fruste solo previa autorizzazione della D.L.
Per un periodo non inferiore a 60 giorni decorrente dalla data della ultimazione delle operazioni di tesatura di collaudo dei tiranti dell'ultimo ordine di ribasso della paratia, le fruste di tutti i tiranti dovranno essere lasciate accessibili per le operazioni di controllo e ripresa di tiro eventualmente necessaria nelle quantità che saranno prescritte dalla Direzione Lavori.
Nel caso la paratia tirantata sia soggetta a monitoraggio geotecnico, una volta ultimate le operazioni di tesatura e collaudo dei tiranti dell'ultimo ordine di ribasso della paratia le fruste potranno essere rimosse qualora il sistema di monitoraggio trascorsi 60gg non evidenzi particolari trend di movimento: la D.L. in questo caso, sulla base dei risultati di monitoraggio, potrà autorizzare l'appaltatore a procedere al taglio delle fruste.
Per i tiranti permanenti con fruste corte, evitare il taglio dei trefoli in corrispondenza delle boccole, lasciando in sede la massima lunghezza consentita dal cappuccio di protezione, in modo da consentire l'eventuale futura regolazione della tesatura mediante l'impiego di prolunga (manicotto e spezzone di frusta aggiuntiva).
Una volta terminati le riprese ed i controlli di tiro, l'interno della calotta sarà riempito con resine o altri prodotti sigillanti. Infine un getto di calcestruzzo, armato con rete, proteggerà ulteriormente all'esterno la testa dagli urti e dalle abrasioni.
I tiranti devono essere integrati con una strumentazione di monitoraggio, qualora il progetto preveda il controllo dell'opera di sostegno in corso d'opera e/o anche in fase di esercizio e qualora l'intervento in oggetto condizioni la sicurezza e la funzionalità dell'opera in progetto o di opere circostanti così come indicato al § 6.9.2. delle NTC2018. Si deve rispettare quanto prescritto nel progetto sul numero di tiranti da sorvegliare e la cadenza di misurazione. In certi casi può essere necessaria una periodica rimessa in tiro dei tiranti per mantenere la forza residua di ancoraggio sopra il livello minimo richiesto. La protezione anticorrosione delle parti accessibili della testa di ancoraggio deve essere periodicamente ispezionata e se necessario rinnovata.

10.8 Controlli

10.8.1 Controlli dell'Appaltatore

10.8.1.1 Tiranti e travi di ripartizione

Per ogni tirante, sia preliminare di prova che di Progetto, L'Appaltatore è tenuto a documentare in apposito report l'esito delle seguenti verifiche da trasmettere alla Direzione Lavori:

- diametro, lunghezza e sistema di perforazione;
- eventuali iniezioni preliminari di intasamento;
- tipo e dimensioni delle armature metalliche;
- lunghezza del tratto attivo;
- quantità di miscela iniettata nelle varie fasi e sua composizione;
- date di perforazione, iniezione e tesatura di collaudo.

Operativamente, poiché le lavorazioni relative ad ogni singolo tirante si svolgono in fasi successive distanziate nel tempo, per consentire la tempestiva trasmissione dei dati parziali alla Direzione Lavori, la scheda citata sarà costituita da almeno tre sezioni concernenti rispettivamente:

- perforazione, posa del tirante ed iniezione di prima fase
- iniezione ripetuta in pressione
- collaudo e messa in tiro.

Per le travi di ripartizione l'Appaltatore deve controllare la rispondenza della posa in merito a tipo e geometria delle carpenterie rispetto agli elaborati di progetto.

10.8.1.2 Ricostruzione stratigrafica della perforazione

Per un tirante ogni 50, e comunque su almeno un tirante se il numero totale dei tiranti risulta inferiore a 50, dovrà essere eseguita una ricostruzione stratigrafica qualitativa in funzione delle informazioni ricavate dalla velocità di avanzamento degli utensili di perforazione impiegati e dall'osservazione dei materiali di risulta.

Tale ricostruzione stratigrafica, la quale dovrà essere eseguita in contraddittorio con il personale tecnico della Direzione Lavori, è finalizzata alla conferma delle ipotesi avanzate in fase di dimensionamento in merito alla natura geologica-geotecnica delle formazioni che saranno coinvolte nella realizzazione dei bulbi di fondazione dei tiranti.

Le sonde di perforazione impiegate per la realizzazione dei "tiranti geognostici" dovranno essere attrezzate con un sistema di registrazione automatica computerizzata per il rilievo, la registrazione, l'elaborazione e la restituzione in continuo dei seguenti parametri (DAC test):

- profondità di perforazione
- velocità di perforazione
- velocità di rotazione in fase di perforazione
- spinta in fase di perforazione
- portata del fluido di perforazione
- pressione del fluido di perforazione
- energia specifica.

Le risultanze (grafici e dati numerici) dei DAC test dovranno essere tempestivamente trasmesse alla Direzione Lavori, in forma cartacea e su supporto informatico.

Qualora le risultanze stratigrafiche ed i diagrammi dei DAC test rivelassero formazioni "peggiori" di quelle ipotizzate in fase di dimensionamento, il Direttore dei Lavori dovrà dare evidenze al Progettista per le valutazioni del caso.

10.8.1.3 Controlli dei documenti di accompagno delle forniture all'arrivo in cantiere

L'Appaltatore deve sempre verificare la rispondenza tra le forniture in arrivo in cantiere e i documenti seguenti:

- Copia del Documento di trasporto DDT
- Copia della Marcatura CE, DoP, ETA
- Certificato di controllo interno 3.1. di cui alla norma UNI EN 10204

10.8.1.4 Controlli sulle miscele

Ogni giorno, preliminarmente alla prima operazione di getto, l'Appaltatore a suo carico con un proprio tecnico preposto purchè munito di idonea attrezzatura certificata, in contraddittorio con un tecnico della D.L. dovrà verificare la conformità della massa volumetrica, della viscosità e della fluidità di getto con le specifiche della prequalifica e di progetto in campo presso il luogo di esecuzione.
A prove ultimate l'Appaltatore e la D.L. dovranno condividere il report e le minute di campo.

Valori non conformi comporteranno l'impossibilità di eseguire il getto dei fusti dei tiranti;

10.8.2 Controlli del Direttore dei lavori

I seguenti controlli di accettazione in cantiere devono essere eseguiti, in contraddittorio e con l'assistenza dell'Appaltatore.

10.8.2.1 Prove e prelievi in cantiere per l'accettazione degli acciai di armatura dei tiranti

I controlli di accettazione in cantiere sono obbligatori e devono essere effettuati, entro 30 giorni dalla data di consegna del materiale, a cura di un laboratorio di cui all'art. 59 del DPR n. 380/2001.
Essi devono essere eseguiti in ragione di 3 campioni ogni 30 t di acciaio impiegato della stessa classe proveniente dallo stesso stabilimento o Centro di trasformazione, anche se con forniture successive.
Il prelievo dei campioni va eseguito a cura dell'Appaltatore alla presenza del Direttore dei Lavori o di un tecnico di sua fiducia che provvede alla redazione di apposito verbale di prelievo ed alla identificazione dei provini mediante sigle, etichettature indelebili, ecc. Il prelievo potrà anche essere eseguito dallo stesso laboratorio incaricato della esecuzione delle prove.
Qualora la fornitura di elementi sagomati o assemblati provenga da un Centro di trasformazione, il Direttore dei Lavori può recarsi presso il medesimo Centro di trasformazione ed effettuare in stabilimento tutti i controlli di accettazione prescritti al presente paragrafo. In tal caso il prelievo dei campioni viene effettuato dal Direttore Tecnico del Centro di trasformazione secondo le disposizioni del Direttore dei Lavori; quest'ultimo deve assicurare, mediante sigle, etichettature indelebili, ecc., che i campioni inviati per le prove da effettuarsi presso il laboratorio di cui all'art. 59 del DPR n. 380/2001 incaricato delle prove di accettazione in cantiere, siano effettivamente quelli prelevati, nonché sottoscrivere la relativa richiesta di prove contenente l'indicazione delle strutture cui si riferisce ciascun prelievo.
La richiesta di prove al laboratorio incaricato deve essere sempre firmata dal Direttore dei Lavori, che rimane anche responsabile della trasmissione dei campioni che nel caso di prelievi eseguiti presso Centro di trasformazione è delegata al Direttore Tecnico dello stabilimento.
Resta nella discrezionalità del Direttore dei Lavori effettuare tutti gli eventuali ulteriori controlli ritenuti opportuni.

Si determinano i corrispondenti valori minimi di f_{pt}, f_{py}, $f_{p(1)}$, $f_{p(0,1)}$, A_{gt} e E_p secondo le norme UNI EN ISO 15630-1, 2 e 3. I risultati delle prove sono considerati accettabili se:

- nessuno dei valori di tensione sopra indicati è inferiore al corrispondente valore caratteristico dichiarato dal fabbricante;
- tutti i valori di tensione al carico massimo f_{pt} non superano il valore caratteristico f_{ptk} corrispondente, incrementato del 15%.
- tutti i valori dell'allungamento totale percentuale al carico massimo Agt non sono inferiori al limite della Tab 11.3.VIII di cui al § 10.3.1.1 tratta dalle NTC2018 o a più restringenti prescrizioni progettuali.

È da determinare altresì l'analisi chimica secondo UNI EN 10315, UNI EN ISO 15350 o al CR 10320.

Nel caso che anche uno solo dei valori delle tensioni o dell'allungamento totale percentuale al carico massimo non rispetti la corrispondente condizione, verranno eseguite prove supplementari su un campione costituito da almeno 10 saggi prelevati da altrettanti rotoli, bobine o fasci. Se il numero dei rotoli, bobine o fasci è inferiore a 10, da alcuni fasci sono prelevati due saggi da due barre diverse, mentre da alcuni rotoli o bobine verranno prelevati due saggi, uno da ciascuna estremità.
Ogni saggio deve recare contrassegni atti ad individuare il lotto ed il rotolo, bobina o fascio di provenienza.
Effettuato il prelievo supplementare si determinano, mediante prove effettuate sempre presso un laboratorio di cui all'art. 59 del DPR n. 380/2001, i valori di f_{pt}, f_{py}, $f_{p(1)}$, $f_{p(0,1)}$, A_{gt} e E_p.
La fornitura è considerata conforme se:

- la media dei risultati ottenuti per le grandezze f_{pt}, f_{py}, $f_{p(1)}$, $f_{p(0,1)}$ sugli ulteriori saggi è almeno uguale al valore caratteristico garantito dal fabbricante e i singoli valori sono superiori allo stesso valore caratteristico garantito, diminuito del 1,5%;
- la media dei risultati ottenuti per la grandezza fpt sui 10 ulteriori saggi è al massimo uguale a 1,15 volte il valore caratteristico f_{ptk} garantito dal fabbricante e i singoli valori sono inferiori allo stesso limite, incrementato del 1,5%;
- la media dei risultati ottenuti per la grandezza Agt sui 10 ulteriori saggi è al minimo uguale al limite indicato nella Tab. 11.3.VIII di cui al § 10.3.1.1 tratta dalle NTC2018 e i singoli valori sono superiori allo stesso limite, diminuito del 5%.

L'ulteriore risultato negativo comporta la non idoneità della fornitura e la trasmissione dei risultati da parte del Direttore dei Lavori al fabbricante, nel caso di fornitura di acciaio non lavorato presso un centro di trasformazione, o al centro di trasformazione, che sarà tenuto a farli inserire tra i risultati dei controlli statistici della sua produzione.

10.8.2.2 Prove e prelievi in cantiere per l'accettazione degli acciai di carpenteria

Il Direttore dei Lavori deve effettuare n. 3 prove ogni 90 tonnellate: il numero di campioni, prelevati e provati nell'ambito di una stessa opera, non può comunque essere inferiore a tre. Per opere per la cui realizzazione è previsto l'impiego di quantità di acciaio da carpenteria non superiore a 2 tonnellate, il numero di campioni da prelevare è individuato dal Direttore dei Lavori, che terrà conto anche della complessità della struttura.
Le prove da eseguire sui prelievi di cui sopra a cura della Direzione Lavori per gli elementi di carpenteria sono le seguenti:

- Prove dimensionali di spessore, lunghezza, larghezza e massa:
  - secondo la UNI EN 10029 per acciai di cui alle UNI EN 10025-2: si riterranno conformi le lamiere con tolleranza sullo spessore pari alla classe B o D di cui ai limiti della tabella 1 del § 6.1 della UNI EN 10029, mentre per lunghezza e larghezza si riteranno conformi elementi rispondenti ai limiti delle tabelle 3 e 2 dei §§ 6.3 e 6.2 della UNI EN 10029;
  - secondo la UNI EN 10210-2 per acciai di cui alla UNI EN 10210-1: si riterranno conformi le lamiere con tolleranza di cui ai prospetti 2, 3 e 4 della UNI EN 10210-2;

- Prove di trazione (snervamento f_y, rottura f_t, allungamento): per impieghi strutturali a temperatura ambiente secondo la norma UNI EN ISO 6892-1. Si riterranno conformi elementi rispondenti ai limiti:

- del prospetto 6 della norma UNI EN 10025-2 per acciai laminati a caldo non legati;
- del prospetto A.3 o B.3 della norma UNI EN 10210-1 per profilati cavi finiti a caldo di acciai non legati e a grano fine;

- Prove di resilienza su provetta Charpy secondo la norma UNI EN ISO 148-1. Si riterranno conformi elementi rispondenti ai limiti:
  - del prospetto 8 della norma UNI EN 10025-2 per acciai laminati a caldo non legati;
  - del prospetto A.3 o B.3 della norma UNI EN 10210-1 per profilati cavi finiti a caldo di acciai non legati e a grano fine;

- Analisi chimica secondo UNI EN 10315, UNI EN ISO 15350 o al CR 10320:
  - del prospetto 3 della norma UNI EN 10025-2 per acciai laminati a caldo non legati;
  - del prospetto 1 della norma UNI EN 10210-1 per profilati cavi finiti a caldo di acciai non legati e a grano fine;

10.8.2.3 Controlli sulle miscele

Dopo che l'Appaltatore in contraddittorio con la D.L. avrà effettuato le prove sulle miscele fresche di cui al § 10.8.1.4, verificata la conformità di queste, condiviso il report e le minute di campo, la Direzione Lavori con il proprio laboratorio eseguirà con frequenza giornaliera le seguenti prove:

- sulle miscele indurite: la resistenza a 28 giorni dovrà rientrare nei limiti di cui al § 10.3.5.

10.8.2.4 Protezione alla corrosione

Per i sistemi di protezione anticorrosione è previsto che venga eseguita almeno una prova del sistema per verificarne l'ammissibilità a mezzo di prova elettrica della protezione anticorrosione, cioè la misurazione dell'isolamento elettrico tra un tirante e il terreno circostante o la struttura. Le modalità di prova sono illustrate nell'Appendice A della Norma UNI EN 1537.

10.8.2.5 Prove e prelievi in cantiere per l'accettazione dell'armatura dei tiranti in vetroresina

Il Direttore dei Lavori deve effettuare n. 3 prove ogni 10 tonnellate con un minimo di 3 prove per WBS per la verifica di:

Per i tubi

- Massa volumica – ISO 1183-1
- Contenuti in vetro in percent. della massa
- Resistenza a trazione – EN ISO 527-5
- Resistenza al taglio - ASTM D-732
- Modulo di elasticità – EN ISO 527-5

Per le barre dovranno essere prelevati n.3 campioni per ogni lotto di spedizione

Per le barre

- Massa volumica – ISO 1183-1
- Resistenza a trazione – ISO 10406-1
- Modulo di elasticità – ISO 10406-1

I valori devono rispettare i parametri prescritti al § 10.3.1.2 o a più restringenti indicazioni progettuali.

10.9 Tolleranze geometriche

Le tolleranze ammesse nella realizzazione dei fori di alloggiamento dei tiranti sono le seguenti:

- il diametro dell'utensile di perforazione dovrà risultare non inferiore al diametro di Progetto e non superiore del 10% di tale diametro;
- la lunghezza totale di perforazione dovrà risultare conforme al Progetto;
- la variazione di inclinazione e di direzione azimutale non dovrà essere maggiore di ±2°;
- la posizione della testa foro (intersezione dell'asse del tirante con il piano d'intestazione) non dovrà discostarsi più di 10 cm dalla posizione di Progetto.

La lunghezza totale dell'armatura e la lunghezza del tratto attivo, posizionato nella parte terminale della perforazione, dovranno risultare conformi alle indicazioni progettuali.

Art. 11 Bulloni e chiodi (all'aperto ed in sotterraneo)

11.1 Descrizione e campo di applicazione

11.1.1 Bulloni di ancoraggio

I bulloni di ancoraggio trovano applicazione essenzialmente in roccia; essi sono elementi strutturali in esercizio sollecitati a trazione ed a taglio.
L'armatura è costituita da una unica barra metallica solidarizzata alla roccia per semplice cementazione o per frizione concentrata o diffusa su tutta la lunghezza mediante dispositivi ad espansione meccanica.
Per quanto riguarda:
- parti componenti
- modalità di sollecitazione
- durata di esercizio

i bulloni non presentano differenza dai tiranti di ancoraggio, salvo essere generalmente caratterizzati dalla peculiarità di rappresentare dispositivi di ancoraggio provvisorio o definitivo ad espansione meccanica.
L'art. 16 di questo capitolato tratta altre tipologie di intervento sulle scarpate.

11.1.2 Chiodi

I chiodi trovano applicazione essenzialmente in roccia; essi sono elementi strutturali passivi (non presollecitati in quanto nell'armatura non viene indotta alcuna forza di tesatura) operanti in un dominio, di taglio e trazione, conseguente ad una deformazione da taglio.
Possono avere sia funzione di ancoraggio, sia di riqualificazione dell'ammasso interessato.
L'armatura è costituita da un unico elemento resistente di varia tipologia:
- barra in acciaio ad aderenza migliorata;
- profilato metallico;
- barra, tubo in vetroresina o altro materiale composito con superficie corrugata o scabra.

I chiodi non presentano differenze realizzative in funzione della durata di esercizio.
La connessione al terreno può essere ottenuta mediante cementazione con miscele cementizie o chimiche, o mediante mezzi meccanici.

11.2 Normativa di riferimento

Per quanto non espressamente descritto in questa sezione si farà riferimento alle seguenti norme o raccomandazioni:
- D.M. 17 Gennaio 2018 Norme Tecniche per le Costruzioni
- C.S.L.L.PP. 21/01/2019 n.7 Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento norme Tecniche per le Costruzioni» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018
- UNI EN 1537: Esecuzione di lavori geotecnici speciali – Tiranti di ancoraggio
- UNI EN 14490: Esecuzione di lavori geotecnici speciali – Chiodature nel terreno (soil nailing)
- UNI EN 16228: Attrezzature per perforazioni e fondazioni – Sicurezza
- ETAG013 Sistemi di pre-tensioamento per la pre-compressione di strutture – Linee guida
- ISO 22477-5 Geotechnical investigation and testing - Testing of geotechnical structures - Part 5: Testing of grouted anchors
- C.S.LL.PP. 22.12.2011 Linee guida per la certificazione dell'idoneità tecnica dei tiranti di ancoraggio per uso geotecnico di tipo attivo
- C.S.LL.PP. Ottobre 2020 - Linee guida per la identificazione, la qualificazione e il controllo di accettazione di sistemi di ancoraggio di tipo passivo per uso geotecnico realizzate con barre piene e barre cave auto-perforanti in acciaio

- Raccomandazioni AICAP"Ancoraggi nei terreni e nelle rocce" Giugno 2012

11.3 Criteri di accettazione dei materiali

11.3.1 Specifiche per la qualifica

I bulloni di ancoraggio e i chiodi per uso geotecnico di tipo attivo e passivo, temporanei e permanenti, dovranno essere qualificati secondo quanto disciplinato al § 11.5.2 delle NTC 2018. Il fabbricante dovrà pervenire alla marcatura CE sulla base della pertinente ETA (Valutazione Tecnica Europea) oppure dovranno possedere un Certificato di Valutazione Tecnica rilasciato dal Presidente Superiore dei Lavori Pubblici sulla base di linee guida approvate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici:

- Per i tiranti di tipo attivo si applica la "*Linea Guida per il rilascio della certificazione di idoneità tecnica all'impiego di tiranti per uso geotecnico di tipo attivo*" del dicembre 2011;
- Per gli ancoraggi di tipo passivo si applica la "*Linea guida per la identificazione, la qualificazione e il controllo di accettazione di sistemi di ancoraggio di tipo passivo per uso geotecnico realizzate con barre piene e barre cave auto-perforanti in acciaio*" dell'ottobre 2020.

11.3.2 Componenti e materiali

Il progetto definisce specificatamente tutte le caratteristiche dei bulloni e chiodi da utilizzare: tipo di acciaio/vetroresina, tensione caratteristica al carico massimo, tensione caratteristica di snervamento, protezione contro la corrosione, diametro dell'elemento e della perforazione, numero, posizione, malte e resine per la cementazione ecc.

11.3.3 Elementi costituenti il sistema di ancoraggio

11.3.3.1 Ancoraggi

In genere, per la realizzazione di bulloni e chiodi, si utilizzeranno barre in acciaio del tipo ad aderenza migliorata (a.m.), di qualità e caratteristiche conformi a quanto specificato nelle Linee Guida - C.S.LL.PP. Ottobre 2020.
E' consentito, ove espressamente previsto dai disegni di Progetto o autorizzato dalla Direzione Lavori, l'impiego di barre in acciai speciali ed anche a filettatura continua.
Per la realizzazione di chiodi si utilizzeranno anche tubolari metallici pre-schiacciati (tipo Swellex/ Omega Bolt), di caratteristiche certificate dal produttore, da verificare secondo regolamenti citati.

11.3.3.1.1 Elementi in vetroresina

Per l'armatura di bulloni e chiodi si possono utilizzare elementi in vetroresina quando previsto a progetto. Qualora l'armatura di ancoraggi in vetroresina sia riferita ad elementi passivi temporanei non occorre la marcatura CE secondo quanto indicato al § 11.3.1.
Con "vetroresina" si definisce un materiale composito le cui componenti di base sono tessuti di fibre di vetro e/o fibre di vetro o aramidiche (fibre sintetiche ad alta resistenza meccanica), legati fra loro da una matrice di resine termoindurenti opportunamente polimerizzate (poliesteri e resine epossidiche). Il materiale è fortemente anisotropo e quindi si dovrà tenere conto, per il suo corretto impiego, della disposizione delle fibre di rinforzo.
Potranno essere impiegati:

- barre a sezione circolare piena o forata;
- tubi ciechi o valvolati per passi definiti in sede progettuale;
- profilati in vetroresina accoppiati a tubi in PVC, valvolati o meno, per l'iniezione del foro;
- piatti, messi in opera singolarmente o accoppiati in elementi strutturali compositi ad Y, abbinati a tubi in PVC, valvolati o meno, per l'iniezione del foro;

Ove necessario, o espressamente richiesto dal Progetto o dalla Direzione Lavori, le barre dovranno essere del tipo ad aderenza migliorata, ottenuta mediante sistemi alternativi:
- filettatura continua
- spiralatura sulla superficie esterna
- trattamento superficiale con sabbia di quarzo

L'impiego di profilati con sezioni di geometria particolare (a doppio T, ad U, prismatica) è consentito previa autorizzazione della Direzione Lavori.
Si riportano di seguito i requisiti per alcuni utilizzi specifici di armature in vetroresina per chiodi o tiranti.

11.3.3.1.1.1 Tirante attivo

Gli elementi in vetroresina (in barra, tubo o a sezione rettangolare) che funzioneranno da tiranti attivi dovranno essere dotati di un terminale che consenta di applicare e successivamente mantenere, attraverso opportuno dispositivo di tensionamento, il carico totale previsto in progetto.
Il terminale potrà consistere in una testata in acciaio con foro passante conico che si accoppia con cunei di bloccaggio che esercitando opportuna compressione sugli elementi in VTR consentono il trasferimento di carichi assiali per attrito.
Il dispositivo di tensionamento potrà consistere in una coppia di cilindri idraulici dotati di opportune valvole proporzionali per garantire il parallelismo di azionamento che si collega alla testata attraverso una ghiera filettata.
L'azione dei cilindri provoca una traslazione della testata. Tra la testata e la piastra di ripartizione sarà posizionata una contropiastra dotata di perni di contrasto che, una volta avvitati fino a recuperare l'intero spazio creatosi in seguito a tale traslazione, consentono di mantenere il tensionamento dell'elemento in VTR ed il recupero del dispositivo di tensionamento.
Gli elementi sono caratterizzati dalle caratteristiche geometriche e meccaniche riassunte nella seguente tabella.

Tipo di barra	Sezione totale resistente (mm^2)
Barra a sezione circolare Φ 32 mm	804
N° 3 barre a sezione rettangolare 40x7 mm	840

Per l'accettazione del materiale in fase di qualifica di cui al § 11.5 occorre il certificato emesso da un laboratorio ufficiale su prove effettuate sull'insieme testata/barra per verificare la capacità di tale insieme di trasmettere i carichi di trazione previsti secondo il seguente schema:
- l'elemento in VTR viene inserito in un cilindro a canna forata tipo ENERPAC RCH606 (o di caratteristiche similari);
- due testate vengono montate su entrambi i lati del cilindro in modo che immettendo olio in pressione l'elemento in VTR venga sollecitato a trazione;
- si aumenta la pressione nel cilindro con un velocità di ca. 20 bar al minuto fino al raggiungimento della pressione corrispondente a 20 tonnellate di trazione sull'elemento in VTR (valore di pretensione) che viene mantenuta per un'ora;
- si incrementa la pressione (sempre con velocità di ca. 20 bar a minuto) fino ad un valore corrispondente a 30 tonnellate di trazione sull'elemento in VTR verificando che non avvengano rotture;
- si incrementa il valore di pressione fino alla rottura registrando il valore di carico corrispondente.

11.3.3.1.1.2 Barre ad aderenza migliorata in vetroresina

Le barre afferente tale tipologia sono a sezione circolare e composte in resina poliestere termoindurente rinforzata con fibre di vetro ad aderenza migliorata costituita da una sagomatura elicoidale a rilievo senza l'ausilio di lavorazioni meccaniche che comportino asportazione di materiale con conseguente taglio delle fibre di rinforzo, utilizzate principalmente per la realizzazione di gabbie di armatura o come chiodi o tiranti (attivi e passivi) aventi le caratteristiche geometriche e meccaniche riassunte nella seguente tabella.

Diametro Tondino (mm)	Area Sezione (mm^2)	Resistenza a trazione Media (MPa)	Resistenza a trazione caratteristica (MPa)	Tiro resistente a trazione caratteristico (Ton)	Modulo Elastico (GPa)
10	78	1000	900	7	41
12	113	900	900	10	41
16	201	900	800	16	41
22	380	900	780	29	41
25	490	900	730	35	41
26	530	900	730	38	41
30	706	900	690	48	41
32	804	900	670	53	41

Per l'accettazione del materiale in fase di qualifica di cui al § 11.5 occorre il certificato emesso da un laboratorio ufficiale di prove eseguite secondo il documento CNR DT203/2006 " Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Strutture di Calcestruzzo armato con Barre di Materiale Composito Fibrorinforzato".

11.3.3.2 Testata di ancoraggio

La testata blocca l'estremità dell'ancoraggio all'elemento di contrasto, qualora presente; essa è costituita dalla piastra di ripartizione, con eventuale elemento aggiuntivo per compensare l'angolo di deviazione tra armatura e superficie del rivestimento, e dal dado di bloccaggio. L'ancoraggio può anche essere posto in opera privo della testata di estremità, qualora previsto dal progetto.

11.3.3.2.1 Piastra di ripartizione

La piastra di ripartizione è, in genere, ottenuta per lavorazione a freddo da acciaio conforme alla norma UNI EN 10025, con dimensioni a scelta del fabbricante ed in funzione della capacità resistente prevista per la stessa piastra. La piastra non ha forma geometrica predefinita anche se in genere è di forma quadrata o circolare. Può essere provvista di sede tronco conica per favorire un migliore accoppiamento col dado provvisto di calotta e per compensare piccoli angoli di deviazione tra piastra e barra. Qualora l'angolo di inclinazione della barra rispetto al piano di appoggio della piastra di ripartizione sia tale da non potere essere compensato dall'uso di un dado con calotta, si

farà uso di un apposito elemento aggiuntivo di compensazione angolare da porre tra piastra di ripartizione e dado

11.3.3.2.2 Dado

Il dado è in genere ottenuto per lavorazione a freddo da una barra di acciaio piena o per stampaggio. Il foro e la filettatura sono realizzati successivamente con lavorazione a freddo. Può essere piano o provvisto di testa a calotta (a segmento sferico o semisferica).

11.3.3.3 Manicotto di giunzione

Il manicotto di giunzione deve avere lunghezza e spessore adeguati ed è costituito di acciaio di opportuna resistenza per assicurare che sotto carico la giunzione possegga la richiesta efficienza; è di forma cilindrica cava, con la filettatura nella parte interna. Il manicotto di giunzione può essere ottenuto da barra piena (generalmente per i diametri più piccoli) o da tubo liscio di adeguato spessore, sempre con lavorazione a freddo; deve essere provvisto di una battuta a metà della parte interna filettata, per assicurare la corretta lunghezza di avvitamento a ciascuna delle due barre (piene o cave) che esso collega e per rendere più efficace il trasferimento al corpo del manicotto dell'energia sviluppata durante la roto-percussione nel caso di barre cave auto-perforanti.
Qualora l'armatura degli ancoraggi sia costituita da barre piene nervate B450C, qualificate ai sensi del § 11.1.B) delle NTC 2018 e provviste di attestato in corso di validità, la loro giunzione dovrà essere eseguita con manicotti aventi le caratteristiche indicate nelle norme UNI 11240-1 e UNI 11240-2.

11.3.3.4 Punta di perforazione

Nel caso delle barre cave auto-perforanti la realizzazione del foro di alloggiamento dell'ancoraggio avviene con la stessa barra cava a filettatura continua, provvista di una punta di perforazione a perdere, avente caratteristiche specifiche in funzione del terreno in cui la perforazione è praticata.

11.3.3.5 Guaina

La guaina di protezione delle barre piene, qualora presente, è corrugata e di materiale idoneo a svolgere la funzione di protezione dell'armatura dalla corrosione per la vita nominale di progetto. La guaina può essere pre-iniettata in stabilimento di fabbricazione con malta di cemento di caratteristiche equivalenti a quelle richieste per la successiva solidarizzazione dell'ancoraggio al terreno dopo la sua posa in opera.

11.3.3.5.1 Dispositivi di centraggio

I dispositivi di centraggio, esterni all'armatura o alla guaina pre-iniettata, hanno la finalità di mantenere la stessa al centro del foro, anche per garantire il loro corretto ed uniforme ricoprimento di miscela di iniezione; devono essere di materiale non ossidabile, conforme alle norme di prodotto ad essi applicabili.

11.3.3.6 Ancoraggio meccanico a fondo foro

È in genere costituito da un dispositivo ad espansione o di altro tipo meccanico, posizionato all'estremità della barra a fondo foro. Qualora non sia prevista la solidarizzazione della barra alle pareti della perforazione con uno dei modi previsti al punto seguente, questo dispositivo non può essere utilizzato per gli ancoraggi permanenti.

11.3.3.7 Solidarizzazione dell'armatura alla parete del foro perforato

L'armatura, eventualmente inserita in una guaina pre-iniettata, è generalmente solidarizzata alla superficie laterale del foro precedentemente realizzato (nel caso di barre piene) o auto-perforato (nel caso di barre cave) su tutta la lunghezza dell'ancoraggio; in casi particolari la solidarizzazione è limitata ad una sola parte della lunghezza o a fondo foro.
La solidarizzazione può essere realizzata mediante:

- Iniezione di boiacca cementizia, anche espandente nel caso di foro realizzato in roccia; le sue caratteristiche compatibili con le armature utilizzate e la scelta del tipo di cemento per la boiacca deve tenere in conto dell'aggressività dell'ambiente, della permeabilità del terreno e della durata di vita nominale di progetto dell'ancoraggio. La classe di resistenza della boiacca cementizia deve essere non inferiore a C 25/30.
- Iniezione di resine epossidiche o poliuretaniche, anche espandenti nel caso di foro realizzato in roccia, purché aventi caratteristiche equivalenti a quelle indicate per la boiacca cementizia e di durabilità commisurata alla vita nominale di progetto dell'ancoraggio. Sono possibili miscele di boiacca cementizia e resine.
- Nessuna iniezione. In casi particolari, frequenti nella realizzazione di opere in sotterraneo in ammassi rocciosi, non si effettua alcuna iniezione e la barra è ancorata a fondo foro mediante un opportuno dispositivo e fissata, all'estremità libera, all'elemento di contrasto. In questa circostanza l'ancoraggio deve essere considerato provvisorio.

L'iniezione deve avvenire il più presto possibile dopo l'introduzione dell'ancoraggio nel foro. Per fori inclinati verso il basso, l'iniezione deve avvenire sempre dall'estremità della perforazione; per fori inclinati verso l'alto, oltre al posizionamento di un otturatore per evitare perdite della miscela di iniezione, il punto di immissione della miscela deve essere posizionato poco dopo l'otturatore.

11.3.3.8 Tubi di iniezione e sfiato

I tubi di iniezione e di sfiato, quando presenti, devono essere differenziati e identificabili in modo univoco e installati in modo da non essere danneggiati durante le operazioni di manipolazione e infilaggio dell'ancoraggio. Devono essere di materiale conforme alle norme di prodotto ad essi applicabili e dotati di una pressione di scoppio non inferiore a 1,5 MPa; devono, altresì, essere impermeabili all'acqua, resistenti alla fragilità da invecchiamento, ai danni da radiazione ultravioletta durante l'immagazzinamento, il trasporto e l'installazione e conservare le proprie caratteristiche fisico-meccaniche nel tempo.

11.3.3.9 Tampone e sacco otturatore

Qualora l'armatura debba essere solidarizzata ad una porzione limitata della parete del foro, è necessario predisporre elementi di separazione e di confinamento tra la parte libera, non vincolata al terreno, e la parte vincolata (fondazione dell'ancoraggio).

11.3.3.10 Durabilità

Tutti i componenti di acciaio devono essere protetti contro la corrosione per la durata di vita nominale di progetto prevista per l'ancoraggio, tenuto conto dell'aggressività dell'ambiente, del tipo di ancoraggio, del tipo di acciaio e dell'intensità della sollecitazione di progetto.
Particolare attenzione deve essere dedicata alla resistenza alla corrosione quando la tensione di snervamento nominale dell'armatura (classe di resistenza) è superiore a 600 N/mm^2. In quest'ultimo caso la protezione dalla corrosione dovrà essere conforme alla norma UNI EN 1537.
Per aumentare la resistenza alla corrosione dell'armatura, quest'ultima può essere fornita con rivestimento di zinco ottenuto a caldo in accordo con la norma EN ISO 1461.

Negli ancoraggi con vita nominale di progetto inferiore a due anni non sono in genere previsti specifici provvedimenti di protezione contro i fenomeni di corrosione. Possono tuttavia essere richieste e previste nel progetto protezioni integrative dell'armatura a maggior garanzia della tenuta dell'ancoraggio, seppure quest'ultimo abbia vita nominale di progetto limitata.

11.3.4 Bulloni e chiodi speciali

Di seguito si elencano alcuni usi speciali per i bulloni e chiodi. Tali realizzazioni necessariamente seguiranno le istruzioni operative del fabbricante, ove non in contrasto con le indicazioni riportate.

11.3.4.1 Bulloni attivi ad ancoraggio meccanico

a) Caratteristiche delle teste di ancoraggio

Le teste di ancoraggio dovranno essere dotate esclusivamente di dispositivo a espansione automatico in modo che, anche a distanza di tempo dalla posa e a seguito di deformazioni dell'ammasso roccioso, la testa possa continuare a espandere mantenendo efficace l'ancoraggio.
Le parti dell'ancoraggio, destinate a trasmettere sforzi di attrito, dovranno essere costituite da materiale duttile in leghe resistenti all'azione aggressiva delle acque.
La conformazione dell'ancoraggio (contatto tra le parti interne e i corpi espandenti) dovrà garantire l'invariabilità della posizione durante le operazioni di posa e tensionamento.
Le teste di ancoraggio dovranno essere scelte in funzione del tipo di ammasso roccioso (lunghezza delle alette) e del diametro di perforazione (calibro).
La tolleranza sul diametro della testa di ancoraggio non dovrà essere superiore a 0,15 mm rispetto al diametro nominale.
La testa di ancoraggio dovrà avere una espansione massima superiore di almeno 6 (sei) mm al diametro di perforazione.

b) Caratteristiche delle barre

Le barre dovranno essere realizzate con acciai a elevata resistenza aventi le seguenti caratteristiche:
- resistenza al limite di snervamento non inferiore a 420 N/mm2;
- resistenza a rottura non inferiore a 700 N/mm2;
- allungamento a rottura non inferiore al 15%;
- resilienza a 20°C non inferiore a 30 Joule.

c) Piastra di ripartizione

La piastra di ripartizione dovrà avere una sede semisferica opportunamente sagomata, atta all'alloggiamento del dado di bloccaggio.
L'inclinazione delle perforazioni rispetto alla superficie di appoggio della piastra di ripartizione non dovrà discostarsi di un angolo superiore a 20° dalla perpendicolare.

Qualora il Progetto preveda che i bulloni siano sollecitati da sforzi di taglio, dovranno essere iniettati con miscele cementizie, preparate in conformità alle prescrizioni del precedente § 10.3.5.

11.3.4.2 Bulloni frizionali a espansione idraulica o similari

Sono ancoraggi ad aderenza continua su tutta la lunghezza del foro, in profilato tubolare d'acciaio speciale zincato o preresinato mediante immersione, dopo opportuna pulizia e sgrossatura, in una vernice gommosa mono-componente a base di bitume modificato (ciclizzato) e componenti attivi allo zinco avente le seguenti caratteristiche:

a) Acciaio:

Le caratteristiche dell'acciaio dovranno soddisfare i seguenti valori:
- resistenza a trazione maggiore di 390 N/mm2;
- allungamento a rottura maggiore del 37%

b) Ancoraggio:
- diametro minimo 35 - 37 mm (prima dell'espansione);
- diametro max 54 mm (dopo l'espansione);
- spessore 3 mm;
- diametro della perforazione 43 ÷ 52 mm;
- carico di rottura 200 KN;
- allungamento a rottura maggiore del 10%;

c) Resinatura:

c1) Caratteristiche della vernice protettiva

Di tipo monocomponente a base di gomme ciclizzate e di bitumi modificati aventi le seguenti caratteristiche:

1- contenuto secco: 49% in volume;
2- potere coprente (su superficie asciutta) : 3.3 m2/litro per 150 micron;
3- massa volumica: 1,10 g/cm3;
4- viscosità: 116 KV a 20°C;
5- solvente: acquaragia;
6- pigmento: fosfato di zinco e altri composti attivi allo zinco;
7- legante: bitume ciclizzato;

c2) Preparazione della superficie da resinare

La superficie del bullone da trattare dovrà essere lucida e pulita, priva di trattamenti anticorrosivi a base di oli viscosi o cere per non diminuire le caratteristiche meccaniche e di adesione della resinatura.

La superficie non dovrà essere umida o bagnata ma perfettamente asciutta e avere una temperatura di circa 3°C più elevata dell'ambiente circostante e ciò per evitare fenomeni di condensa che possano inficiare l'efficacia del trattamento.

c3) Trattamento

Il trattamento non va eseguito in condizioni di temperatura inferiori a + 5°C.

I bulloni devono essere immagazzinati alla temperatura del bagno almeno un giorno prima del trattamento, fermo restando l'ulteriore riscaldamento dei bulloni medesimi come indicato al precedente punto c.2).

Il bagno di resina deve essere mantenuto almeno alla stessa temperatura dell'ambiente e mantenuto in agitazione mentre avviene il trattamento.

I bulloni vanno posti in bagno singolarmente e appoggiati su apposite rastrelliere.

c4) Asciugatura

Dopo aver controllato accuratamente che tutta la superficie del bullone sia stata uniformemente ricoperta dalla resina è necessario che la stagionatura duri almeno 10 giorni, se la temperatura dell'ambiente è di 20°C.

Lo spessore finito della guaina protettiva, da misurare su almeno 2 campioni per ogni singolo trattamento, deve risultare di 150 micron ± 50 micron. Spessori inferiori a 100 micron sono considerati di scadente qualità e la partita dovrà essere scartata.

c5) Stoccaggio

Poiché la resina protettiva ha un indurimento ritardato, per garantire elasticità e flessibilità nel lungo termine, i bulloni devono venire conservati, durante il periodo di maturazione della resina medesima della durata di almeno 2-3 settimane, singolarmente su apposite gabbie in legno o similari e non impilati o con le superfici a contatto.

Non saranno ammessi in alcun caso ancoraggi preresinati direttamente in cantiere o con modalità difformi da quelle sopraindicate.

d) Modalità di installazione

Prima dell'inserimento del bullone il foro dovrà essere accuratamente pulito rimuovendo i residui di perforazione.
L'installazione dovrà avvenire al massimo dopo 2 ore dall'ultimazione della perforazione.
L'ancoraggio dovrà essere inserito nel foro completo della piastra di bloccaggio atta a trasferire il carico sul paramento ed espanso mediante iniezione di acqua avente pressione non inferiore a 30 Mpa in modo da adattare il profilo alle irregolarità del foro e aumentare la resistenza al taglio della roccia per effetto della completa adesione e serraggio meccanico dei giunti rocciosi all'esterno del perimetro dell'ancoraggio medesimo.
Ultimata l'espansione l'interno del bullone dovrà essere accuratamente drenato.
Qualora il Progetto preveda che i bulloni siano sollecitati da sforzi di taglio, l'espansione dovrà essere realizzata con miscela o pasta cementizia con rapporto a/c pari a 0,5, iniettata a pressione non inferiore a 30 MPa.

11.3.4.3 Bulloni autoperforanti

Sono bulloni costituiti da una barra filettata per rullatura in continuo, cava all'interno, alla cui estremità viene montato un attrezzo tagliente a perdere per la perforazione a distruzione di nucleo in terreni eterogenei o intensamente fratturati nei quali le operazioni di perforazione e inserimento del bullone risultino molto difficili per la assoluta mancanza di stabilità del foro.
a) Caratteristiche del bullone
- Acciaio: Carico minimo di snervamento a trazione 450 N/mm2
- Carico minimo di rottura a trazione 550 N/mm2
- Deformazione a rottura ≥5% dimensioni, carico minimo di rottura a trazione e diametro di perforazione indicativi (vedi seguente tabella):

Diametro nominale barre (mm)	Carico min. di snervamento a trazione (kN)	Carico min. di rottura a trazione (kN)	Dimensione testa di perforazione (mm)	Piastra di ancoraggio Lung. X Largh. X Spess. (mm)
32	220	280	51-76	200x200x8 200x200x10
38	350	420	76-90	200x200x12 200x200x15
51	450	550	90-115	200x200x15 200x200x20

- i singoli elementi, della lunghezza da 2 a 6 m, dovranno essere giuntabili solo mediante idoneo manicotto autocentrante esterno od interno;
- la piastra di ripartizione, di dimensioni e spessore variabili in relazione al carico massimo da sopportare, dovrà avere una sede semisferica per l'alloggiamento del dado di bloccaggio;
- i singoli elementi potranno avere i fori per le iniezioni aperti o chiusi da apposite valvole per consentire di eseguire le iniezioni ripetute e a pressione controllata.

Sulla testa di ciascun bullone dovranno essere inoltre punzonati i dati caratteristici per consentire l'identificazione del materiale e del luogo di produzione.
b) Modalità esecutive
Per la posa in opera si dovrà utilizzare un martello perforatore ad aria compressa od idraulico montato su slitta.
A foro ultimato l'asta dovrà essere lasciata in sito e si procederà subito con l'iniezione di miscela cementizia a una pressione da concordare con la Direzione Lavori e comunque non superiore a 1÷2 MPa in modo da riempire lo spazio anulare tra bullone e parete del foro e l'interno del bullone.

La pasta o malta cementizia, fornita anche in sacchi premiscelati, dovrà avere resistenza caratteristica non inferiore a 30 MPa.
Lo studio preliminare della miscela e le modalità di iniezione dovranno essere approvate dalla Direzione Lavori prima dell'inizio dei lavori.
Successivamente le caratteristiche della miscela dovranno essere verificate almeno una volta alla settimana.

11.3.4.4 Bulloni costituiti da lamiere, barre o profilati infissi a pressione

Le lamiere, barre o profilati di acciaio dovranno essere infisse a pressione senza perforazione preventiva mediante spinta con idonea attrezzatura.
L'attrezzatura dovrà applicare una spinta continua all'elemento e impedire lo svergolamento dello stesso e dovrà inoltre essere dotata di un sistema per la registrazione continua della spinta applicata per l'infissione.

11.4 Criteri di accettazione per le perforazioni

Le attrezzature di perforazione dovranno rispondere ai requisiti richiesti dalle norme UNI EN 16228 e EN 996 e dal § 10.7.1 e dovranno essere in numero e capacità produttiva adeguato al rispetto delle produzioni attese nel programma esecutive dei lavori.
Le pompe di alimentazione del fluido di circolazione dovranno assicurare le opportune portate e pressioni richieste dalla metodologia di perforazione adottata.
Il fabbricante deve indicare le caratteristiche delle attrezzature per la messa in opera degli ancoraggi dallo stesso prodotti e fornire le istruzioni operative per la corretta procedura per la loro installazione e per la loro manutenzione.

11.5 Documenti di prequalifica

L'Appaltatore deve trasmettere al Direttore dei Lavori per approvazione almeno 15 giorni prima dell'inizio delle attività, la documentazione di seguito elencata.

La mancata presentazione della documentazione preliminare comporta la non autorizzazione all'inizio dell'esecuzione dei lavori, né saranno accettate eventuali lavorazioni svolte prima dell'approvazione delle modalità esecutive.

Per gli interventi in oggetto si richiede la presentazione da parte dell'Appaltatore di una apposita "Procedura di lavoro", prevista all'art. CG.01.01 della sezione "Condizioni Generali" del presente Capitolato Speciale. L'Appaltatore, deve altresì trasmettere alla Direzione Lavori per approvazione, un dossier di qualifica contenente:

- Marcatura CE e DoP, o ove non applicabile ETA e le relative schede tecniche con le condizioni climatiche limite di utilizzo e le modalità di posa dei materiali. Laddove la DoP non riporti uno specifico requisito richiesto l'Appaltatore deve allegare anche un certificato eseguito da un Laboratorio Ufficiale a dimostrazione della conformità del prodotto che intende proporre. Per i materiali ove è presente un articolo di capitolato specifico si rimanda ai contenuti di qualifica dell'articolo di riferimento. Per gli elementi di acciaio strutturale occorre altresì presentare:
  - Attestato di qualificazione, rilasciato dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici in conformità al § 11.3.1.2 delle NTC2018
  - Attestato di denuncia dell'Attività di centro di trasformazione di cui al § 11.3.1.7 delle NTC2018, rilasciato dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici;

- Malte premiscelate e resine per uso strutturale devono essere provviste di marcatura CE, DoP classificazione di sistema 2+, o ove non applicabile ETA e scheda tecnica con le condizioni climatiche limite di utilizzo e le modalità di posa dei materiali.
- Malte premiscelate e resine per uso non strutturale devono essere provviste di marcatura CE, DoP classificazione di sistema 4, o ove non applicabile ETA e scheda tecnica con le condizioni climatiche limite di utilizzo e le modalità di posa dei materiali.
- Per le armature in vetroresina le schede tecniche e i certificati eseguiti da un laboratorio ufficiale a dimostrazione dei requisiti indicati al § 11.3.3.1.1 e nel progetto;
- La certificazione del sistema di controllo della produzione (FPC) e il Certificato UNI EN ISO 9001 del sistema di gestione qualità delle società produttrici dei materiali;
- Lo studio tecnologico della miscela da utilizzare nel rispetto dei contenuti di cui al § 11.3.3.7;
- Le specifiche dell'impianto per le miscele cementizie ove presente;
- La descrizione delle attrezzature di perforazione ed inizione nel rispetto dei contenuti di cui al § 11.4 oltre alle istruzioni operative per la corretta procedura per la loro installazione, tempo di tesatura dalla cementazione e coppia di serraggio;
- La descrizione delle operazioni di manutenzione degli elementi;
- Il pantentino degli operatori per perforatori piccolo-grande diametro che saranno impegnati nelle lavorazioni qualora applicabile.

I requisiti d'accettazione potranno inoltre essere accertati con ulteriori prove a cura della Direzione Lavori sia in fase di prequalifica presso il fornitore (controllo non vincolante per l'autorizzazione), sia in corso d'opera, prelevando il materiale in sito o ancora presso il fornitore, prima e dopo avere effettuato le lavorazioni.

11.6 Modalità operative

11.6.1 Generalità

Le modalità operative di realizzazione di bulloni e chiodi devono rispettare le indicazioni di qualifica approvate dal Direttore dei Lavori.
La posizione ed il numero degli elementi sono individuate negli elaborati progettuali. Generalmente la disposizione è a quinconce o a maglia quadrata. I bulloni andranno eseguiti ad una distanza non inferiore a 20 cm dai giunti/fessure presenti. Qualora la maglia della bullonatura interferisse con la presenza di eventuali impianti, la stessa potrà essere localmente adattata da disposizione a quinconce a disposizione allineata. In caso di interventi di ripristino di calotte di gallerie questi verranno estesi per almeno 2 m oltre il contorno della zona ammalorata salvo diversa indicazione progettuale.
Atteso almeno un tempo pari a 48 ore per la maturazione della cementazione e comunque pari al tempo approvato in fase di qualifica, si dovrà applicare la coppia di serraggio prevista nei documenti di qualifica stessi conformemente alle indicazioni progettuali. Il valore della coppia di serraggio è generalmente riportato all'interno degli elaborati progettuali. Se non presente, si deve intendere come il valore compatibile con il tipo di ancoraggio e comunque tale da conferire una forza di trazione al sistema sufficiente a non lasciare lasco l'elemento.

In tutte le fasi esecutive, comprese le fasi di preparazione e di sistemazione finale delle aree, per gli aspetti e le problematiche relative a temi ambientali, quali impatti acustici e vibrazionali, emissioni in atmosfera, impatto sulle acque superficiali, sotterranee e sul suolo, impatti sulla componente fauna e vegetazione, si rimanda integralmente a quanto prescritto dalla Normativa Nazionale e Regionale vigente, alle prescrizioni degli Enti preposti alla tutela ambientale, nonché alle condizioni ambientali

contenute nelle autorizzazioni ed alle disposizioni del Capitolato Ambientale e Piano di Gestione Terre/Piano di Utilizzo allegati al progetto esecutivo.

11.6.2 Bulloni di ancoraggio

Assemblato il bullone ed eseguita la perforazione, si procederà quindi con le operazioni in analogia a quanto previsto per i tiranti, tenendo conto che:

- nel caso di bulloni ad ancoraggio continuo eseguiti in calotta di galleria naturale, quando l'inclinazione sull'orizzontale sia superiore a 30°, si dovrà procedere preliminarmente al loro bloccaggio entro il foro mediante espansione di un ancoraggio meccanico posizionato all'estremità del bullone a fondo foro;
- nel caso di bulloni con ancoraggio meccanico, la connessione alla roccia si otterrà direttamente in fase di tensionamento.

11.6.2.1 Connessione al terreno

Completata la perforazione e rimossi i relativi detriti mediante adeguato prolungamento della circolazione dei fluidi, si dovrà provvedere a realizzare l'ancoraggio, procedendo, ad eccezione dei bulloni frizionali e dei bulloni ancorati con resine, in sequenza analoga a quella prevista per i tiranti. Si terranno in conto specifiche indicazioni del fabbricante del bullone.

11.6.2.2 Connessione mediante iniezioni di resine

Nell'esecuzione di iniezioni con resine sintetiche di bulloni e chiodi si adotteranno modalità operative conformi alle raccomandazioni fornite dal produttore, previa approvazione della Direzione Lavori.
Per barre di piccolo diametro (Ø = 15 ÷ 20 mm), e di lunghezza limitata a 3÷5 m, si potrà adottare il sistema a "cartuccia":

- la cartuccia, in vetro o in materiale plastico sottile, contenente i componenti della resina opportunamente separati, viene posizionata al fondo foro
- si infila quindi la barra, facendola ruotare per rompere la cartuccia e mescolare i componenti della resina, dando così luogo al processo di polimerizzazione.

Per barre di diametro e lunghezze superiori si adotteranno di norma malte cementizie o resine fluide, iniettate tramite un condotto di mandata con ugello di fuoriuscita posto in prossimità del fondo del foro. La testata sarà dotata di un tubicino di sfiato, di norma in rame, che sarà occluso per piegatura a iniezione completata.

11.6.3 Chiodi

La posa in opera dei chiodi dovrà essere eseguita attraverso le seguenti operazioni:
- perforazione, da condurre in accordo con le prescrizioni indicate per le precedenti tipologie di ancoraggio; in relazione alla natura della roccia e alla geometria del foro è ammesso l'impiego di attrezzature leggere, operanti a percussione esterna ad aria compressa;
- introduzione dell'armatura;
- esecuzione dell'iniezione, fino al completo riempimento dell'intercapedine.

In casi, e per tipologie od applicazioni particolari, i chiodi potranno essere inseriti a pressione, con o senza battitura, con o senza jetting attraverso la sezione cava, in funzione della metodologia indicata dal costruttore e preventivamente approvata da parte della Direzione Lavori.

11.6.4 Collaudo finale

Il collaudo di bulloni e chiodi va eseguito in conformità alla norma UNI EN 14490 e alle raccomandazioni AICAP "Ancoraggi nei terreni e nelle rocce" del Giugno 2012.
La frequenza del collaudo è da eseguire secondo le seguenti indicazioni, salvo diversa specifica contenuta negli elaborati progettuali:

- 100% di bulloni e chiodi installati in opere di sostegno per garantirne la staticità, l'equilibrio all'opera, il contenimento degli spostamenti e il superamento delle verifiche di resistenza strutturale degli elementi costitutivi;
- 2% di bulloni e chiodi installati all'aperto per interventi di consolidamento del terreno;
- 10 % di bulloni e chiodi installati in sottorraneo sia per la realizzazione di nuove gallerie che per il ripristino delle difettosità di gallerie esistenti. Tale percentuale di verifica potrà essere:
    - incrementata fino al 30% nel caso si fossero riscontrati vuoti in fase di perforazione o elevati assorbimenti in fase di pretattamento/cementazione rispetto a quello teorico;
    - decrementata fino al 5% massimo, ad insindacabile giudizio del Direttore dei Lavori, quando dopo l'esecuzione di almeno 500 ancoraggi nella stessa wbs, le prove di collaudo hanno sempre riscontrato un valore di allungamento al carico di prova entro i limiti di accettazione.

La prova di collaudo si esegue a carico costante nella seguente modalità e deve essere altresì eseguita a maturazione della cementazione avvenuta di almeno 48h o secondo le tempistiche di qualifica:

- tesatura fino al carico iniziale Pa pari al valore minimo tra 50 kN e il 10% di P_e dove P_e è il carico di esercizio;
- tesatura fino al carico Pe con almeno 5 incrementi di carico con sosta, a ciascun incremento, per il solo tempo necessario alla misura del corrispondente allungamento. La velocità di applicazione del carico, così come quella di scarico, dovrà essere inferiore a 10 kN al minuto;
- al massico carico di tesatura di prova Pc= P_ex1.2 il tiro viene mantenuto costante per un periodo di tempo Δt pari a 5 minuti in rocce o terreni incorente o 15 minuti in terreni a grana fine, misurando gli allungamenti dell'ancoraggio ai seguenti tempi: 1—>2—>3—>5—>10—>15 minuti

Qualora l'allungamento, al carico di prova, risultasse superiore a quello previsto in fase di accettazione, il tempo di osservazione deve essere prolungato fino a poter determinare il corrispondente valore del rapporto di creep α:

- per ancoraggi in roccia o in terreni incorenti almeno 30 minuti con lettura dell'allungamento a 5, 10, 20 e 30 minuti;
- per ancoraggi in terreni a grana fine almeno 60 minuti con misura dell'allungamento a 15, 30, 45 e 60 minuti.

Al termine del periodo di osservazione al carico di Prova Pc, dopo aver rilevato l'incremento di allungamento a tale carico (ΔLpc), l'ancoraggio viene scaricato al valore della forza iniziale Pa in almento tre fasi, con sosta ad ogni fase per il tempo necessario a rilevare il relativo allungamento.

I dati raccolti servono per valutare se sono rispettati i valori attesi progettualmente e in caso affermativo l'ancoraggio può essere ritenuto idoneo. Se il Progetto prevede ancoraggi di tipo "attivo", la testa verrà bloccata al valore della forza di tesatura P prevista.

Gli ancoraggi che manifestano non accettabili livelli deformativi nelle attività di tesatura prevista nella procedura di collaudo, vanno sostituiti con ancoraggi di nuova realizzazione, il cui numero, caratteristiche costitutive (area resistente, lunghezza, diametro di perforazione) e posizioni andranno

definiti, a cura ed onere dell'Appaltatore, in un'apposita nota di calcolo, a firma di tecnico abilitato, da sottoporre per approvazione al Direttore Lavori e al parere del Progettista.
Nel caso in cui, uno o più ancoraggi non rispettassero i requisiti di collaudo, la mancata realizzazione di ancoraggi sostitutivi e/o integrativi deve essere adeguatamente motivata introducendo nelle analisi dei coefficienti di declassamento, per un numero di ancoraggi calcolato applicando la percentuale di insuccessi osservata nei collaudi eseguiti alla numerosità complessiva dei chiodi.

11.7 Controlli in corso d'opera

11.7.1 Controlli dell'Appaltatore

L'Appaltatore è tenuto ad eseguire i seguenti controlli da trasmettere in apposito report alla Direzione Lavori al termine di ogni ciclo realizzativo.

11.7.1.0 Controlli dei documenti di accompagno delle forniture all'arrivo in cantiere

L'Appaltatore deve sempre verificare la rispondenza tra le forniture in arrivo in cantiere con i documenti di progetto e della qualifica approvata dal Direttore dei Lavori. Deve inoltre verificare la presenza e coerenza dei documenti seguenti:

- Copia del Documento di trasporto DDT
- Copia della Marcatura CE, DoP, ETA
- Certificato di controllo interno 3.1. di cui alla norma UNI EN 10204

11.7.1.1 Controlli sulle attrezzature

L'Appaltatore deve sempre verificare prima dell'utilizzo di ogni attrezzatura quali: perforatrici, piattaforme, miscelatori, pompe ecc., l'idoneità all'utilizzo previsto anche in base ai documenti di qualifica.

11.7.1.2 Controlli di esecuzione degli ancoraggi

L'Appaltatore è tenuto a documentare in apposito report l'esito delle seguenti verifiche da trasmettere alla Direzione Lavori:

- Rilievo topografico del posizionamento delle perforazioni rispetto alle indicazioni progettuali prima dell'inizio delle perforazioni. Tale rilievo deve essere trasmesso alla Direzione Lavori per approvazione prima dell'inizio delle perforazioni;
- Modalità di perforazione: correttezza del tipo di perforatrice utilizzata, della lunghezza finale del foro e delle eventuali problematiche accorse durante l'esecuzione dei fori (presenza eccessiva acqua, roccia competente). Occorre altresì verifica il corretto allontanamento dei materiali di risulta e l'esecuzione del lavaggio del foro;
- Posa dell'ancoraggio nel rispetto delle procedure indicate dal fabbricante previo accertamento dell'idoneità della fornitura:
- Tipo e modalità dell'iniezione con verifica del tipo di miscela adottata per la cementazione, della quantità di volume iniettato e l'eventuale scostamento rispetto alle previsioni progettuali.
- Verifica del corretto tensionamento nelle modalità indicate dal fabbricante. Nel caso di utilizzo di chiave dinamometrica occorre verificare la presenza del certificato di taratura con data non inferiore a 3 mesi.

11.7.1.3 Controllo sulle malte e sulle miscele

Nel caso di miscele confezionate in cantiere, ogni giorno, preliminarmente alla prima operazione di iniezione, l'Appaltatore dovrà verificare la rispondenza delle caratteristiche delle miscele o delle malte ai documenti di prequalifica a mezzo del proprio laboratorio di cantiere. Quando la miscela è conforme l'Appaltatore condivide il report o il certificato e chiama la Direzione Lavori che con il proprio laboratorio eseguirà le seguenti prove di cui al § 11.7.2.2:

11.7.1.4 Collaudo

Assistenza al collaudo nelle modalità di cui al § 11.6.4.

11.7.2 Controlli della Direzione Lavori

La Direzione Lavori, in contraddittorio e con l'assistenza dell'Appaltatore, eseguirà i controlli di seguito descritti.

11.7.2.1 Prove e prelievi per l'accettazione dei requisiti meccanici degli ancoraggi

I controlli devono essere effettuati, entro 30 giorni dalla data di consegna del materiale, a cura di un laboratorio di cui all'art. 59 del DPR n. 380/2001. Le frequenze di seguito indicate devono essere applicate per ogni stabilimento o Centro di trasformazione di provenienza del materiale, anche se con forniture successive. Il prelievo dei campioni va eseguito a cura dell'Appaltatore alla presenza del Direttore dei Lavori o di un tecnico di sua fiducia che provvede alla redazione di apposito verbale di prelievo ed alla identificazione dei provini mediante sigle, etichettature indelebili, ecc. Sono da effettuarsi le seguenti prove:

- Per le barre piene in acciaio con frequenza ogni 30 ton, prove di:
  - tensione minima di snervamento $f_{y,min} \geq 0,97\ f_{y,nom}$ - UNI EN ISO 15630-1;
  - tensione massima di snervamento $f_{y,man} \leq 1,29\ f_{y,nom}$ - UNI EN ISO 15630-1;
  - rapporto $f_y/f_{y,nom} \leq 1,27$;
  - rapporto $f_t/f_y \geq 1,13$;
  - valore dell'allungamento percentuale totale al carico massimo $A_{gt,min} \geq 4,5$ (%) - UNI EN ISO 15630-1;
  - analisi chimico fisica - UNI EN 10315, UNI EN ISO 15350 o al CR 10320.
- Per le barre cave in acciaio autoperforanti con frequenza ogni 30 ton, prove di:
  - tensione minima allo 0,2% di scostamento dalla proporzionalità $f_{(0,2),min} \geq 0,97\ f_{(0,2),nom}$ - UNI EN ISO 15630-1;
  - Tensione massima allo 0,2% di scostamento dalla proporzionalità $f_{(0,2),max} \leq 1,29\ f_{(0,2),nom}$ - UNI EN ISO 15630-1;
  - Rapporto $f_{(0,2)}/f_{(0,2),nom} \leq 1,27$;
  - Rapporto $f_t/f_{(0,2)} \geq 1,13$;
  - valore dell'allungamento percentuale totale al carico massimo $A_{gt,min} \geq 4,5$ (%) - UNI EN ISO 15630-1
  - Prove di resilienza su provetta Charpy secondo la norma UNI EN ISO 148-1;
  - analisi chimico fisica - UNI EN 10315, UNI EN ISO 15350 o al CR 10320.
- Per le barre piene e cave in VTR con frequenza ogni 10 ton o frazione di tubi posati di pari diametro e tipo, prove di:
  - Resistenza a trazione – UNI EN 61
  - Resistenza a taglio – ASTM D732
  - Modulo Elastico – UNI EN 61

  La prova si ritiene superata se, per ciascuno dei provini, non si registrano valori delle resistenze meccaniche inferiori al 97% dei valori caratteristici di qualificazione. La media dei

risultati dei tre provini deve avere una resistenza uguale o superiore al valore caratteristico. Per quanto riguarda il modulo elastico, il valore medio ottenuto dai tre provini non deve risultare inferiore al 97% del valore medio di qualificazione.

- Per i manicotti di giunzione con frequenza di 3 prove ogni 1.000 pezzi o frazione di elementi posati di pari diametro e tipo, prove di:
  - Trazione sul sistema barra-giunzione-barra: verifica che applicando la forza F=ft,nom * Anom (F=ft,nom * A'nom per le barre filettate alle sole estremità) non si manifestino rotture o fessurazioni nel manicotto di giunzione o che quest'ultimo scorra rispetto agli spezzoni di barra uniti dallo stesso manicotto – (C.S.LL.PP. Ottobre 2020 Linee guida per la identificazione, la qualificazione e il controllo di accettazione di sistemi di ancoraggio di tipo passivo per uso geotecnico realizzate con barre piene e barre cave auto-perforanti in acciaio – allegato C);
  - Scorrimento differenziale in corrispondenza della giunzione barra-manicotto: Lo scorrimento differenziale non dovrà superare 0,1 mm (si trascura l'allungamento elastico della barra) per le barre di diametro fino a 40 mm e 0,2 mm per le barre di diametro 100 mm o superiore. Per diametri intermedi si adotterà una legge lineare di variazione tra 0,1 mm (40 mm) e 0,2 mm (100 mm). – (C.S.LL.PP. Ottobre 2020 Linee guida per la identificazione, la qualificazione e il controllo di accettazione di sistemi di ancoraggio di tipo passivo per uso geotecnico realizzate con barre piene e barre cave auto-perforanti in acciaio – allegato C).

11.7.2.2 Prove e prelievi per l'accettazione delle miscele di iniezione

Quando l'Appaltatore dopo le verifiche di cui al § 11.7.1.4 valuta conforme le miscele, condivide il report o il certificato di prova e chiama la Direzione Lavori che con il proprio laboratorio eseguirà con frequenza giornaliera le seguenti prove

- sulle miscele fresche: decantazione a 24h, massa volumica, fluidità, essudazione e ritiro in conformità alle specifica dellla prequalifica e progetto qualora applicabili. Valori non conformi comporteranno l'impossibilità di eseguire le iniezioni;
- sulle miscele indurite: la resistenza a 28 giorni.

11.7.2.3 Controllo del serraggio dei bulloni

I controlli sul serraggio dei bulloni dovranno essere eseguiti in misura del 10% del numero totale in contraddittorio con l'Appaltatore. Per il controllo del serraggio si procederà nel modo seguente:

- Marcatura con pennarello indelebile di dado, vite e lamiera per identificarne la posizione relativa;
- Serraggio del dado con la coppia prescritta e controllo che l'angolo di rotazione tra vite e dado non risulti > di +15°.

Se il bullone risulta sotto serrato dovrà essere riportato al corretto serraggio e dovranno essere verificati tutti i bulloni del campo.

11.8 Tolleranze

Le tolleranze ammesse nella realizzazione dei fori sono le seguenti:

- il diametro foro effettivo e teorico tra lo 0 e il 10% del valore nominale di progetto;
- la lunghezza totale di perforazione dovrà risultare pari a ±150 mm;
- inclinazione asse di perforazione non dovrà essere maggiore di +1%;
- la posizione della testa foro (intersezione dell'asse bullone con il piano d'intestazione) non dovrà discostarsi più di 5 cm dalla posizione di Progetto.

Art. 12 Lavori in sotterraneo

12.1 Generalità e campo di applicazione

Il presente articolo di capitolato si applica a quei lavori di nuova costruzione o ripristino da eseguire in sotterraneo e specificatamente in: galleria naturale (o a foro cieco), caverna, cunicolo o pozzi d'aerazione, con esclusione delle fondazioni o contrafforti a pozzo.
In particolare le lavorazioni trattate riguardano:

- Gli scavi in sotterraneo
- Gli interventi di precontenimento, preconsolidamento e presostegno
- I sostegni di prima fase
- L'impermeabilizzazione
- Il rivestimento definitivo e di ripristino
- I drenaggi
- Le opere di finitura
- I ripristini delle difettosità

Si precisa che il progetto definisce, per ogni tratta di galleria a comportamento geotecnico omogeneo, una sezione tipo di scavo, sostegno e rivestimento. Le sezioni tipo comprendono:
- tipologia ed intensità degli interventi di prima fase;
- fasi esecutive e cadenze di avanzamento, fornendo in particolare le distanze massime dal fronte d'avanzamento entro cui porre in opera gli interventi di sostegno e rivestimento (sostegno di prima fase, murette, arco rovescio e rivestimento definitivo di calotta).

Di norma le sezioni tipo sono applicate considerando la possibilità di variazione degli interventi stessi per quanto riguarda, ad esempio, l'interasse delle centine o l'intensità delle chiodature. Conseguentemente un apposito elaborato progettuale, definito "linee guida per l'applicazione delle sezioni tipo", sulla base dei dati ottenuti dal monitoraggio mediante i rilievi geologico – strutturali del fronte di scavo, i rilievi sistematici della risposta deformativa (estrusione, convergenze, ecc.) e delle fasi esecutive e delle cadenze di avanzamento, permette di verificare la corretta applicazione delle sezioni tipo e di gestire le eventuali relative variabilità degli interventi di preconsolidamento, presostegno e sostegno di prima fase.
L'Appaltatore è tenuto ad adottare a propria cura e spese tutti gli accorgimenti e le cautele necessarie per garantire il rispetto delle normative relative alle lavorazioni in galleria, l'incolumità delle Maestranze e di Terzi presenti in sotterraneo, la sicurezza e l'igiene dei lavori, impiegando, nella misura adeguata alle singole circostanze, secondo propri criteri e sotto la propria diretta responsabilità tutti i provvedimenti necessari.
Inoltre, in tutte le fasi esecutive, comprese le fasi di preparazione e di sistemazione finale delle aree, per gli aspetti e le problematiche relative a temi ambientali, quali impatti acustici e vibrazionali, emissioni in atmosfera, impatto sulle acque superficiali, sotterranee e sul suolo, impatti sulla componente fauna e vegetazione, si rimanda integralmente a quanto prescritto dalla Normativa Nazionale e Regionale vigente, alle prescrizioni degli Enti preposti alla tutela ambientale, nonché alle condizioni ambientali contenute nelle autorizzazioni ed alle disposizioni del Capitolato Ambientale e Piano di Gestione Terre/Piano di Utilizzo allegati al progetto esecutivo.
Infine, per tutti gli aspetti legati alla sicurezza si richiama il Piano di Sicurezza e Coordinamento a cui l'Appaltatore è tenuto sempre ad ottemperare.

12.2 Criteri di accettazione degli scavi in sotterraneo

12.2.1 Norme generali

Oltre alle prescrizioni contenute nel presente articolo, valgono, per gli scavi in sotterraneo, tutte quelle relative agli scavi all'aperto di cui all'art. 1 di questo capitolato ed in particolare in quanto indicato al § 1.1.6 "Materiali di risulta: riutilizzo e sistemazione a deposito".

Dovrà essere garantita la corretta gestione dei materiali di risulta degli scavi in conformità a quanto previsto da Capitolato Ambientale e Piano di Gestione Terre/Piano di Utilizzo sia per quanto riguarda le terre e rocce da scavo che per i rifiuti.

L'Appaltatore dovrà curare che gli scavi ad essa affidati siano eseguiti con la massima diligenza, prudenza e perizia, adottando tutte le precauzioni, limitazioni, mezzi di sostegno provvisionali, attrezzature e modalità esecutive ritenute idonee al fine di non danneggiare le proprietà di terzi (immobili, gallerie o viadotti ferroviari o stradali, acquedotti, elettrodotti, ecc.) interessate e/o sottopassate dai lavori stessi, considerando anche che normalmente detti scavi sono soggetti ad una sequenza di attività anche interferenti (interventi di preconsolidamento e contenimento, aggottamento venute d'acqua, montaggio e smontaggio di macchine e attrezzature, rivestimenti, ecc.).

L'Appaltatore resta in ogni modo responsabile d'ogni eventuale danno che dovesse derivare a persone o a cose anche di terzi in dipendenza della mancata osservanza delle precauzioni e cautele di cui sopra e in nessun caso potrà addurre, a diminuzione della propria responsabilità, il fatto di non avere ricevuto ordini in proposito dalla Direzione Lavori.

L'attività di scavo in sotterraneo, di qualunque genere esso sia, richiede in fase di qualifica di cui al seguente § 12.10, la presentazione da parte dell'Appaltatore di apposita "Procedura di lavoro", prevista al all'art. CG.01.01 della sezione "Condizioni generali" del presente Capitolato Speciale.

12.2.1.1 Scavo in presenza d'acqua

Dovranno essere garantiti opportuni sistemi di regimazione delle acque di galleria (drenaggio calotta arco rovescio, fronte di scavo ecc.) in conformità a quanto previsto da Capitolato Ambientale.

Tutte le acque che si raccolgono negli scavi di galleria, anche se connesse con le lavorazioni di cantiere, dovranno essere convenientemente raccolte e completamente estratte, a cura e onere dell'Appaltatore, al fine di mantenere le zone di Lavoro perfettamente libere dall'acqua in modo che non derivi alcun intralcio allo svolgimento dei lavori e nessun danno alle opere. In particolare, dovrà essere evitata la formazione di ristagni d'acqua, di qualunque provenienza, al piede degli scavi ed in corrispondenza delle zone di appoggio del prerivestimento o di parte dei rivestimenti definitivo per evitare rammollimenti del terreno che possono innescare instabilità degli scavi o cedimenti delle strutture. Per i tratti in discesa o quando sia necessario allontanare acqua proveniente da tratti in discesa, l'Appaltatore dovrà installare tutti gli impianti elettrici e le postazioni fisse e mobili necessarie per la sua eduzione all'esterno prevedendo:

- stazioni di pompaggio anche se da ubicare in appositi nicchioni;
- gruppi elettrogeni di adeguata potenza e tali da garantire, nel caso di interruzioni di energia elettrica dovute a qualsiasi causa anche di forza maggiore, il funzionamento immediato e contemporaneo degli impianti di pompaggio;
- un adeguato numero di pompe mobili del tipo sommerso al fronte di avanzamento;
- tubazioni e impianti idraulici necessari per l'eduzione dell'acqua dall'interno della galleria e/o dagli eventuali attacchi intermedi in discenderia od a pozzo e per lo smaltimento all'esterno;

- la continua vigilanza diurna e notturna delle pompe e degli impianti in genere e quanto altro occorra per garantire, in ogni momento, il regolare funzionamento degli impianti stessi.

La capacità totale delle pompe per ciascun attacco in discesa dovrà garantire lo smaltimento di una volta e mezzo la quantità di acqua di infiltrazione più quella utilizzata per il funzionamento delle attrezzature di perforazione al fronte.

L'Appaltatore dovrà mettere in opera all'inizio dei tratti da eseguire in discesa ed all'inizio di ciascun tratto servito da attacco intermedio in discenderia o a pozzo, uno o, se necessario, più apparecchi per misurare la quantità di acqua edotta e smaltita all'esterno.

Ogni giorno lavorativo l'Appaltatore dovrà redigere un verbale di constatazione, in contraddittorio con la Direzione Lavori, nel quale riportare:

- la portata di acqua edotta (l/sec);
- la temperatura;
- la progressiva di avanzamento del fronte;
- estremi dell'eventuale prelievo per la determinazione delle caratteristiche chimico fisiche dell'acqua;

In presenza di venute d'acqua, l'Appaltatore è tenuto a eseguire prelievi sistematici al fronte di scavo per analizzare l'eventuale aggressività delle acque stesse comunicandone tempestivamente l'esito alla Direzione Lavori.

La valutazione dei provvedimenti da adottare dovrà tenere conto sia dell'esito delle suddette analisi sia della situazione idrogeologica della zona interessata dagli scavi con particolare riguardo alla permeabilità dei terreni e alle possibili modifiche dei flussi idrici sotterranei conseguenti alla costruzione della galleria.

L'Appaltatore dovrà realizzare, preliminarmente alle operazioni di scavo, l'impianto di trattamento delle acque derivanti dalle lavorazioni in galleria, predisponendo trattamenti specifici, quali trattamento del pH, abbattimento dei solidi sospesi e disoleatura, per consentire un adeguato trattamento nel rispetto della normativa vigente in relazione alle attività effettivamente svolte nei cantieri e, comunque, in conformità a quanto previsto da Capitolato Ambientale

Per venute d'acque cospicue, inoltre, la Direzione Lavori potrà richiedere all'Appaltatore di prendere adeguati provvedimenti per irregimentare l'acqua e scaricarla all'esterno evitando che questa venga a contatto con il piano di lavoro caricandosi di impurità.

Le acque restitiute al ricettore dovranno rispettare i limiti previsti dal Dlgs 152/06.

12.2.1.2 Gestione rischio presenza atmosfera esplosiva

Qualora gli studi allegati al Progetto dovessero evidenziare la presenza di ammassi rocciosi, potenzialmente "grisutosi" e un rischio connesso alla presenza di eventuali miscele esplosive, costituite essenzialmente dalla presenza di gas metano, anche solo per tratte limitate di galleria, dovranno essere definite:

- modalità e frequenze previste per il monitoraggio della eventuale presenza di gas metano,
- misure di sicurezza da predisporre,
- soglie di preallarme ed allarme,
- procedure di sicurezza da adottare nel caso di superamento delle soglie.

Tali elementi condizionano l'organizzazione dei lavori e la scelta delle attrezzature da impiegare, che, dove richiesto, dovranno essere in assetto antideflagrante.

12.2.2 Scavo in tradizionale

Con il termine 'avanzamento tradizionale' si intende l'insieme delle tecnologie esecutive finalizzate alla esecuzione di scavi a foro cieco con avanzamento discontinuo, ovvero con esplosivo o con mezzo meccanico (escavatore, martellone, fresa puntuale), senza l'impiego di macchine di scavo continuo ed integrale.
Gli scavi in sotterraneo potranno essere effettuati in terreni di qualsiasi natura, durezza e consistenza costituiti anche da materiali eterogenei e comunque sciolti.
Immediatamente dopo la messa in sicurezza del cavo, l'appaltatore è tenuto a verificare che il profilo di intradosso coincida con il profilo previsto dagli elaborati grafici di progetto, in caso contrario dovrà provvedere alle eventuali ribattiture o al riempimento dei vuoti o delle cavità come di seguito indicato. Non è conseguentemente ammessa alcuna tolleranza in meno sullo spessore del rivestimento definitivo.

12.2.2.1 Scavo con esplosivo

Quando si affronta lo scavo in una formazione lapidea non convenientemente scavabile con mezzi meccanici il progetto può prevedere l'abbattimento con esplosivo.

È onere e responsabilità dell'APPALTATORE la richiesta di tutte le autorizzazioni di legge per l'acquisto, trasporto, custodia e l'impiego dell'esplosivo. Tutte le operazioni di caricamento e sparo devono essere condotte da personale in possesso delle abilitazioni prescritte dalla legge.

Negli scavi eseguiti con l'impiego d'esplosivo dovrà essere adottato il sistema di sparo a profilatura controllata, con adeguata perforazione sul profilo ed uso di cariche specifiche con adeguati microritardi, così da ottenere sezioni di scavo regolari e ridurre al tempo stesso il disturbo ai materiali circostanti. Subito dopo ogni volata le pareti dello scavo dovranno essere disgaggiate con la massima cura, sia in prossimità del fronte di scavo che a distanza da esso. Qualora, anche per motivi indipendenti dalla volontà dell'Appaltatore, la sezione di scavo fosse inferiore a quella di progetto, l'Appaltatore dovrà riprendere lo scavo a sua cura e spese con fori e cariche d'esplosivo rapportate all'ottenimento della sezione tipo di Progetto o con qualsiasi altro mezzo ritenuto idoneo.

Nel caso di formazione di fornelli, qualora la Direzione Lavori ritenesse l'evento non imputabile a deficienza d'armatura provvisionale o a mezzi e sistemi non adeguati alla natura del terreno attraversato o in ogni modo non dovuto a negligenza dell'Appaltatore, potrà proporre alla Committente la contabilizzazione del materiale franato, seguendo la procedura utilizzata per i danni di forza maggiore.

Quando devono essere attraversate formazioni aventi consistenza tale da richiedere di norma l'uso d'esplosivo per lo scavo ed emerga la necessità di limitare le vibrazioni ed il rumore, verificata sulla base dei dati forniti da apposito monitoraggio, per salvaguardare l'integrità dei manufatti esistenti in prossimità del cavo o in edifici e manufatti adiacenti e/o sovrastanti il cavo stesso, la Direzione Lavori potrà ordinare formalmente all'Impresa specifiche limitazioni nell'impiego dei mezzi di scavo.
Tali limitazioni possono così riassumersi:

- scavo eseguito solo con impiego di microcariche ritardate, mediante volate ad abbattimento controllato;
- scavo eseguito solo con impiego di mezzi meccanici, compreso la fresa ad attacco puntuale, con assoluto divieto dell'uso d'esplosivo.

La messa a punto, in tali circostanze, delle modalità di scavo dovrà essere basata sulla misura delle velocità delle vibrazioni indotte dallo scavo, mediante apposito monitoraggio, adottando limiti di accettabilità indicati dalla Direzione Lavori.

12.2.2.2 Scavo con mezzi meccanici

In accordo con quanto indicato sugli elaborati grafici di progetto lo scavo potrà essere eseguito esclusivamente con impiego di mezzi meccanici (escavatori, martelloni demolitori, ecc.), con assoluto divieto d'impiego di mine.

Nel caso la sezione tipo di scavo preveda l'esecuzione di interventi di precontenimento, preconsolidamento, presostegno, per ogni campo di avanzamento, prima dell'esecuzione dell'intervento, il fronte, sagomato a forma concava, dovrà essere rivestito con uno spessore di calcestruzzo proiettato (§ 12.4.2) e l'applicazione di uno strato di 5 cm di calcestruzzo proiettato fibrorinforzato (NIR n°41-43). La realizzazione delle murette e dell'arco rovescio per il completamento della struttura anulare resistente, dovrà seguire il fronte di scavo secondo le distanze previste dal progetto od ordinate dalla Direzione Lavori.

In tutti quei casi in cui le dimensioni dello scavo della galleria sono contenute, l'Appaltatore potrà ricorrere a frese puntuali o attrezzature fresanti montate su escavatori. Tali attrezzature potranno essere altresì munite di un sistema autocaricante per lo smarino, che verrà convogliato a tergo del macchinario stesso tramite nastro e direttamente caricato su autocarro. Le frese puntuali compatte potranno essere utilizzate su materiali aventi una resistenza alla compressione monoassiale compresa fra 50 MPa e 120 MPa, a seconda della tipologia, e ben si impiegano in terreni duri e abrasivi, garantendo al tempo stesso un'ottima profilatura della galleria, in particolare con sezioni a ferro di cavallo. Il peso dell'escavatore dovrà essere proporzionato alla potenza della testa fresante montata. Le frese puntuali dovranno essere preferibilmente munite di motori elettrici, con potenze installate tali da soddisfare le produzioni previste dal progetto.

Al fine di ridurre la presenza di maestranze al fronte e di migliorare il rispetto della geometria del cavo, gli scavi di avanzamento in calotta e quelli in arco rovescio dovranno essere realizzati con sistemi di assistenza al controllo del profilo di scavo. La tecnologia da utilizzare a tale scopo dovrà consentire all'operatore di visualizzare su un monitor a bordo macchina e in tempo reale la posizione del martellone rispetto al modello tridimensionale delle opere da realizzare. Trattandosi di opere in sotterraneo, gli apparati dovranno georiferenziarsi con caposaldi precedentemente posizionati dall'Appaltatore in galleria. Il sistema deve inoltre consentire la memorizzazione dei dati relativi alle sezioni di scavo realizzate ed il loro raffronto con la geometria di progetto.

12.2.2.3 Scavo per l'allargamento di gallerie esistenti senza interruzione di traffico

Ove si debba procedere con l'allargamento della sezione utile di gallerie esistenti, il progetto può prevedere metodologie di scavo che consentano di realizzare l'intervento senza deviare il traffico, con idonei sistemi atti a garantire il transito in sicurezza (gusci prefabbricati in c.a. o altro materiale), su un minore numero di corsie e/o su corsie di larghezza ridotta.

Il procedimento di scavo comprende:

- una prima fase nella quale si esegue lo scavo per campioni del terreno compreso tra il profilo teorico della futura galleria allargata e quello della vecchia galleria esistente, dopo avere eventualmente operato sul terreno compreso tra il profilo teorico della futura galleria allargata e quello della vecchia galleria esistente con interventi di rinforzo del fronte di scavo e di precontenimento del cavo di allargo,
- una seconda fase nella quale si esegue la posa in opera, per campioni, a ridosso del fronte di scavo, del rivestimento definitivo costituito da uno o più archi di conci prefabbricati, secondo il principio della "volta attiva".

Le varie fasi del procedimento vengono di seguito descritte più approfonditamente.
La fase preparatoria del procedimento prevede la realizzazione di interventi di rinforzo del fronte di scavo e l'esecuzione, in funzione del contesto geologico – geotecnico in cui si opera, di interventi di precontenimento alternativi tra loro, quali: il jet grouting in orizzontale, il pretaglio meccanico od il consolidamento in avanzamento mediante tubi in vetroresina valvolati ed iniettati al contorno del cavo.

Nella prima fase del procedimento, vengono eseguiti lo scavo di allargo e la demolizione della vecchia galleria.

Queste operazioni vengono eseguite per campioni di ridotta profondità, in funzione della situazione tensionale e deformativa del terreno in cui si opera e delle dimensioni dei conci prefabbricati, previsti per la realizzazione del rivestimento definitivo.

Qualora la situazione lo consenta, è possibile scavare per una profondità multipla di quella dei conci previsti e poi porre in opera più archi di conci prefabbricati.

Il macchinario previsto per lo scavo è costituito da una o più frese e da potenti cesoie per il taglio delle centine e degli elementi metallici costituenti il rivestimento della vecchia galleria da demolire. Esso opera completamente al di sopra del guscio di protezione del traffico.

La seconda fase esecutiva prevede la messa in opera del rivestimento definitivo della galleria allargata, costituita da archi di conci prefabbricati.

Le lavorazioni si svolgono con le seguenti modalità:

- trasporto dei conci fino al fronte, mediante opportune attrezzature;
- applicazione, alle due estremità trasversali del concio da posare in opera e su quella longitudinale che andrà a contatto dell'arco di rivestimento già montato, di resina epossidica a presa ritardata;
- sollevamento e posizionamento del concio mediante macchina posa conci, movimentando per primi quelli che saranno collocati più in basso, da entrambi i lati della galleria, e poi a salire gli altri, fino a chiudere la volta con il concio di chiave;
- messa in opera di un riempimento di betoncino fra la volta di conci prefabbricati ed il materiale a tergo;
- messa in pressione del martinetto del concio di chiave per fare aderire perfettamente i vari conci e produrre immediatamente la necessaria pressione di contenimento sull'ammasso al contorno della galleria allargata, secondo i principi della "volta attiva".

In questo modo, anche in seguito, sarà sempre possibile aumentare la pressione attraverso il concio di chiave, in funzione del comportamento del terreno.

Nella terza fase esecutiva, la struttura di fondazione, qualora necessaria, viene realizzata mediante la messa in opera di un semplice collegamento tra il rivestimento della nuova galleria allargata e l'arco rovescio di quella vecchia, oppure mediante il getto di un vero e proprio arco rovescio.

Durante questa terza fase esecutiva, organizzando opportunamente le lavorazioni di realizzazione della fondazione e di allargo della sede stradale, il traffico può essere sempre mantenuto in esercizio su almeno una o due corsie per ogni senso di marcia, alternando opportunamente tra le due canne le lavorazioni necessarie per l'esecuzione delle opere di fondazione di ampliamento delle sede stradale ed eventualmente deviando il traffico secondo le necessità sulle corsie di volta in volta disponibili

12.2.3 Scavo meccanizzato a piena sezione con TBM

Lo scavo meccanizzato a piena sezione è realizzato con macchina TBM (Tunnel Boring Machine) che, oltre ad eseguire lo scavo, è in grado di sostenere ed evitare i cedimenti del fronte, di portare all'esterno lo smarino (tramite un nastro trasportatore) e di mettere in opera il rivestimento definitivo che è costituito da conci prefabbricati in calcestruzzo armato in ciclo di lavoro discontinuo.
La scelta della tipologia di TBM dipende da numerosi parametri tra cui:

- Litologie attraversate, presenza di strutture tettoniche, eterogeneità del mezzo;
- Parametri geotecnici e geomeccanici dei litotipi attraversati
- Aspetti idrogeologici
- Presenza di minerali amiantiferi
- Sezione utile, spessore del rivestimento, extrascavo
- Necessità di prevedere o meno la possibilità di effettuare iniezioni di consolidamento
- Usura della componentistica e necessità di manutenzione
- Modalità di allontanamento del materiale scavato
- Condizioni di trasporto, montaggio, smontaggio a fine scavo e allontamento dal cantiere.

Conseguentemente si hanno 3 tipologie di macchine TBM:

- TBM aperte senza scudo
- TBM scudate in modalità aperta
- TBM scudate in modalità chiusa

La classificazione di cui sopra a sua volta si diversifica ulteriormente in funzione di altri parametri da scegliere e dimensionare in funzione dello specifico utilizzo e delle condizioni al contorno pertanto la descrizione di tutte le caratteristiche e i requisiti di una TBM sono rimandate a documenti specifici del progetto esecutivo unitamente alle specifiche del sistema di monitoraggio dei parametri della macchina.

12.3 Criteri di accettazione degli interventi di precontenimento, preconsolidamento e presostegno

Il fronte e le pareti dello scavo possono presentare caratteristiche di autosostegno non adeguate, con la possibilità di innesco di fenomeni deformativi che, se non immediatamente controllati, potrebbero condurre a rotture locali o generalizzate estese al fronte ed alla calotta. Si rende quindi spesso necessario ricorrere ad interventi di stabilizzazione dei terreni per prevenire l'insorgenza di tali fenomeni come di seguito specificato.

12.3.1 Precontenimento e preconsolidamento del fronte e del contorno del cavo con elementi in vetroresina

12.3.1.1 Tubi in vetroresina

I tubi in vetroresina utilizzati per il preconsolidamento al fronte saranno delle dimensioni previste in progetto generalmente con diametro esterno pari a 60 mm (con perforazioni ≥ Ø 100 mm) o 76 mm, quest'ultimo utilizzato con sistema autoperforante.
Il tubo in vetroresina dovrà essere prodotto con resina poliestere termoindurente rinforzata con fibre di vetro con superficie esterna ad aderenza migliorata ottenuta per tornitura (filettatura di passo max 60 mm e profondità minima 0.5 mm) o, in alternativa, mediante riporto con resinatura di sabbia sferoidale al quarzo; il contenuto in peso della fibra di vetro non dovrà essere inferiore al 55%.
Le caratteristiche geometriche dei tubi sono esplicitate nella seguente tabella:

Diametro esterno 60 mm		
Caratteristica	Unità di misura	Valore
Sezione resistente	mm^2	1500

Diametro esterno	mm	60
Diametro interno	mm	40
Diametro esterno 76 mm		
Caratteristica	Unità di misura	Valore
Sezione resistente	mm^2	1700
Diametro esterno	mm	76
Diametro interno	mm	60
Tolleranze dimensionali secondo ASTM D3917		

Le caratteristiche meccaniche dei tubi sono esplicitate nella seguente tabella:

Diametro esterno 60 mm			
Caratteristica	Unità di misura	Valore minimo	Norma di riferimento
Massa volumica	g/cc	1,9	ISO 1183-1/2
Resistenza a trazione	MPa	600	ISO 527-5~~UNI EN61 **~~
Resistenza a flessione	MPa	600	EN ISO 14125~~ASTM D790 **~~
Modulo elastico	MPa	30.000	ISO 527-5~~UNI EN61(ASTM D790 A FLEX)**~~
Resistenza a taglio	MPa	100	ASTM D732 **
Diametro esterno 76 mm			
Caratteristica	Unità di misura	Valore minimo	Norma di riferimento
Massa volumica	g/cc	1,9	ISO 1183-1/2
Resistenza a trazione	MPa	600	ISO 527-5~~UNI EN61 **~~
Resistenza a flessione	MPa	600	ISO 1183~~ASTM D790 **~~
Modulo elastico	MPa	30.000	ISO 527-5~~UNI EN61(ASTM D790 A FLEX)**~~
Resistenza a taglio	MPa	100	EN ISO 14125~~ASTM D732 **~~
** vedi § 12.3.1.1.1 prove			

Relativamente alla resistenza allo scoppio, sono previsti due diversi tipi di materiale:

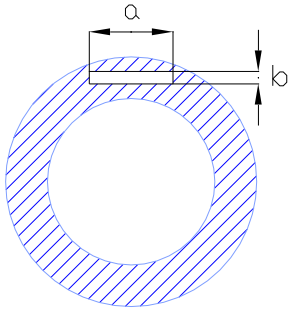
- tubo diametro 60 mm e spessore 10 con resistenza allo scoppio fino a 4 Mpa (nel caso della cementazione);
- tubo diametro 60 mm e spessore 10 con resistenza allo scoppio fino a 8 Mpa (nel caso di iniezione a pressione).

La lunghezza dell'elemento dovrà essere conforme a quella di progetto, ottenuta preferibilmente con un'unica barra senza giunzioni; ove si dovessero effettuare giunzioni, resta a carico dell'Appaltatore la fornitura dei necessari manicotti e collanti che dovranno garantire, anche in corrispondenza del giunto, la medesima resistenza a trazione e taglio della sezione non giuntata. La geometria della giunzione dovrà inoltre garantire la presenza di un intercapedine fra ingombro esterno della giunzione e parete del foro non inferiore a 3 cm, nonché garantire il passaggio del packer per l'esecuzione di iniezioni ripetute, dove previste.
L'utilizzo di barre giuntate dovrà comunque essere adeguatamente motivato e preventivamente sottoposto all'approvazione del Direttore dei Lavori, che valuterà la completezza della documentazione tecnica fornita dal produttore a certificazione delle caratteristiche di resistenza della giunzione e l'adeguatezza del programma di prove previste a verifica dell'equivalenza fra giunzione e sezione non giuntata. Tale programma dovrà comprendere l'esecuzione di almeno n. 3 prove di trazione dell'elemento giuntato, secondo modalità analoghe a quelle previste al punto 1.4 del capitolo "Materiali" per tiranti attivi, ed eventuali ulteriori prove che la Direzione Lavori potrà richiedere a suo insindacabile giudizio, restando a carico dell'Appaltatore il relativo onere.

Per i consolidamenti da valvole, ad eccezione di quelli al fronte, in alternativa agli elementi in vetroresina il progetto potrà prevedere l'impiego di tubi a valvola in polietilene di diametro non inferiore a 40 mm, eventualmente giuntato tramite manicotti o quanto altro occorra per la perfetta efficienza del tubo.

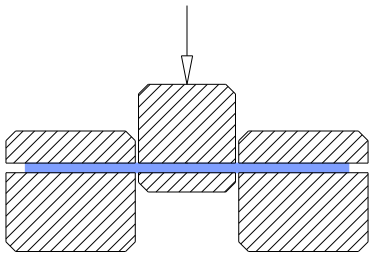
12.3.1.1.1 Prove per la qualifica e l'accettazione in cantiere

Il presente paragrafo tratta solo degli adattamenti e precisazioni - derivanti dalla particolare natura e geometria del manufatto in esame - necessari per un corretto utilizzo delle normative citate.
I provini devono essere ricavati dal tubo secondo lo schema sotto riportato.

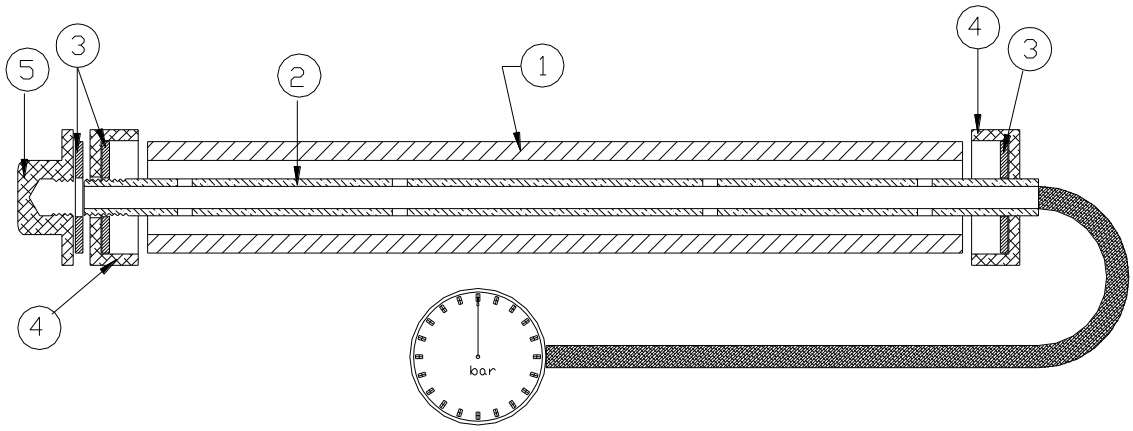


Le provette prismatiche di sezione axbxl (lunghezza) indicate nelle normative citate, devono essere ricavate per asportazione meccanica della parte tratteggiata avendo cura che l'ultima fase di lavorazione sia una rettifica refrigerata di 0.5 mm per lato sulle superfici di dimensioni axl.

- **Prova a flessione:** la prova di flessione va eseguita su provette tali che il rapporto luce libera/spessore sia almeno 40 per minimizzare gli effetti del taglio. Il valore di resistenza ricavato da tale prova può essere considerato come una determinazione indiretta, conservativa e molto agevole di quello a trazione;
- **Prova di taglio:** la prova di resistenza a taglio per tranciatura secondo ASTM D 732 sarà eseguita su di un disco di materiale di 50 mm di diametro (o su di una placca 50x50) che deve essere incastrato totalmente nella matrice di punzonatura. Il punzone è a sezione circolare da 1 pollice di diametro. In realtà dal tubo possono essere ricavate provette di non più di 20 – 25 mm di larghezza e, pertanto non è possibile ripetere le condizioni di prova previste dalla norma. La punzonatura viene allora effettuata incastrando il provino alle estremità secondo lo schema a lato ed usando un punzone di sezione quadra o circolare di diametro > 50 mm su provini di sezione indicativa 20x3 mm;



- **Prova di resistenza allo scoppio:** lo schema di prova è il seguente:
  1 - Tubo in prova Ø 60/40
  2 - Tubo – tirante forato per immissione olio
  3 - Guarnizione piane
  4 - Tappo di fondo
  5 - Collari terminali ciechi di sigillatura



- Il campione di tubo in prova viene stretto attraverso l'avvitamento del collare terminale cieco sul tubo-tirante;
- viene immesso olio nel circuito avendo cura di effettuare una serie di cicli carico/scarico per l'eliminazione di sacche di aria fino a quando l'azione manuale sulla pompa determina direttamente un aumento di pressione;
- si aumentata la pressione con una velocità di ca 20 bar al minuto fino alla rottura del tubo in prova;
- il valore massimo di pressione raggiunto viene definito valore di resistenza allo scoppio.

12.3.1.2 Miscela cementizia e iniezione

Per le miscele di guaina degli elementi in vetroresina cementati la miscela avrà, di norma, la seguente composizione:

- cemento tipo I o II 42,5 o 42,5R
- resistenza a compressione dopo 48h 5÷6 MPa
- rapporto acqua / cemento in peso pari a 0.4÷0.5
- additivo antiritiro e superfluidificante tra il 4 ed il 6% sul peso del cemento.

Per le miscele di guaina degli elementi in vetroresina valvolati la miscela, avrà, di norma, la seguente composizione differente da quella per la semplice cementazione degli elementi in vetroresina, al fine di facilitare la sua rottura nella fase di iniezione delle valvole:

- cemento tipo I o II 42,5 o 42,5R
- rapporto acqua / cemento in peso pari a 1
- bentonite pari a circa l'8% del peso di cemento

In generale, a partità di caratteristiche tecniche, si dovrà preferire prodotti ad elevate prestazioni ambientali (ad es. biodegradabilità).

Per quanto concerne le iniezioni mediante valvole, in funzione della permeabilità equivalente dell'ammasso interessato dalle iniezioni di consolidamento, potranno essere utilizzati dei cementi microfini con superficie specifica Blaine > 7000 cm^2/g, con granuli di dimensioni 1-25 µm, e fuso granulometrico delle particelle solide nella sospensione caratterizzato dai seguenti valori del diametro equivalente passante, rispettivamente, al 98 e al 50%: D_{98}=10-20 µm, D_{50}= 3-5 µm.

La resistenza a compressione, su provini cubici di 10 cm di lato, dovrà essere quella prevista in progetto e comunque:

- non inferiore a 48 ore a 5÷6 MPa;
- superiore a 7 giorni a 7÷8 MPa;

- superiore a 28 giorni a 28÷35 MPa.

12.3.1.2.1 Caratteristiche impianto di produzione delle miscele e di iniezione

Indipendentemente dalla miscela iniettata, le iniezioni saranno eseguite mediante tubi iniettori a doppio pistoncino di tenuta secondo le fasi, passate e pressioni indicate dal progetto e verificate mediante il campo prova. Il macchinario dovrà in ogni caso garantire il raggiungimento di una pressione di almeno 50 bar controllabile mediante apposito manometro.
Tutte le miscele saranno preparate mediante adatto mescolatore meccanico in modo da garantire la massima diffusione dei composti nell'acqua e l'intima mescolanza delle materie e sostanze impiegate. La misura delle quantità di sostanze iniettate sarà effettuata tramite apposite apparecchiature da applicare ai serbatoi dei vari prodotti, quali contatori sigillati, di cui l'Appaltatore è obbligato a dotare l'impianto. Per trattamenti di notevole importanza la centrale di iniezione dovrà essere munita di modulo di comando a controllo centralizzato per la registrazione automatica e continua delle pressioni e delle quantità di sostanze iniettate. In tutte le varie fasi e passate il valore della pressione di iniezione sarà inferiore a quella che produrrebbe fratture e fessure nel terreno circostante (fenomeni di cracking), onde evitare la concentrazione delle miscele iniettate nelle fratture prodotte e la conseguente disuniformità del trattamento

12.3.1.2.2 Campo prove

Nel caso di iniezioni mediante valvole, il tipo e il dosaggio della miscela iniettata, le pressioni di iniezione, il numero di fasi e passate con i relativi assorbimenti previsti dal progetto per conseguire le caratteristiche del terreno trattato dovranno essere verificate e messe a punto mediante un apposito campo prova.
L'Appaltatore dovrà eseguire una serie di iniezioni di prova atte a dimostrare la fattibilità e l'efficacia delle modalità prescelte, nonché a verificare l'idoneità del tipo di miscela, degli assorbimenti nelle varie fasi e passate, delle pressioni di iniezione e di qualunque altra tecnica esecutiva atta al raggiungimento delle caratteristiche meccaniche dei terreni trattati specificate nel progetto.
Le iniezioni di prova saranno eseguite in terreni aventi caratteristiche identiche a quelle su cui si dovrà operare. Il numero e le lunghezze delle iniezioni di prova saranno stabilite sulla base della eterogeneità dei terreni da consolidare, dei parametri progettuali e dell'importanza dell'intervento.
Successivamente, a cura e spese dell'Appaltatore, saranno eseguiti sondaggi a carotaggio continuo con prelievo di campioni indisturbati e prove in sito comparative su terreni trattati e non trattati.
Le carote estratte da ciascun sondaggio dovranno essere catalogate in apposite cassette ed accompagnate da una descrizione dettagliata del grado di continuità dei campioni estratti, della lunghezza di ciascun pezzo di carota, del numero di giunti e della eventuale presenza di lenti di terreno non consolidato. Saranno inoltre effettuate prove di laboratorio su campioni indisturbati per accertare rigidezza, resistenza e, ove richiesto, permeabilità del materiale consolidato.
Qualora la serie delle iniezioni di prova non fornisse soddisfacenti garanzie in ordine alla uniformità e alla efficacia del trattamento o i risultati dei carotaggi e delle prove in sito ed in laboratorio fossero giudicati inaccettabili, si renderà necessaria, a cura e spese dell'Appaltatore, la realizzazione di nuove serie di iniezioni di prova fino ad ottenere risultati soddisfacenti. Nel caso in cui ciò non risultasse possibile per la natura dei terreni, il trattamento dovrà essere considerato non realizzabile e si dovrà procedere con un altro tipo di trattamento, in accordo con il progettista, senza che l'Appaltatore possa reclamare maggiori tempi e oneri per fermo cantiere.

12.3.2 Presostegno con infilaggi

Con il termine "infilaggi" si intendono tutte le tecnologie esecutive atte al sostegno di terreni, rocce o manufatti, in anticipo agli scavi, ottenuto tramite armature comunque inclinate cementate al terreno circostante la galleria ovvero retrostante il fronte di scavo.
Indipendentemente dalla funzione degli infilaggi, che possono essere realizzati per il precontenimento provvisorio del fronte di scavo ovvero per il sostegno della calotta e dei piedritti in anticipo agli scavi, gli infilaggi vengono classificati e distinti sulla base delle seguenti caratteristiche:
- diametro, lunghezza ed interasse della perforazione;
- caratteristiche dell'armatura;
- sovrapposizione delle armature in direzione longitudinale;
- tipo di miscela cementante.

12.3.2.1 Armature tubolari

L'armatura tubolare sarà costituita da profilati cavi finiti a caldo (senza saldatura), conformi alla norma UNI EN 10210-1. I tubi dovranno essere del tipo senza saldature, con giunzioni a mezzo di manicotto filettato esterno. Le caratteristiche delle giunzioni (filettatura, lunghezza, sezioni utili) dovranno consentire una trazione ammissibile pari almeno all'80% carico ammissibile a compressione.

L'Appaltatore dovrà eseguire un prelievo di tubazione giuntata, per ogni fornitura omogenea, in modo da poter effettuare le prove di verifica a trazione.

Nel caso i tubi di armatura siano anche dotati di valvole per l'iniezione, essi dovranno essere scovolati internamente per asportare le eventuali sbavature lasciate dal trapano.
Le valvole saranno costituite da manicotti di gomma di spessore minimo 3,5 mm, aderenti al tubo e mantenuti in posto mediante anelli in fili d'acciaio (diametro 4 mm) saldati al tubo in corrispondenza dei bordi del manicotto. La valvola più bassa sarà posta subito sopra il fondello che occlude la base del tubo.
Non sono ammesse valvole a scomparsa, in cui il foro di uscita della miscela non è protetto da una guaina in plastica di ripartizione.
Le armature tubolari dovranno essere dotate di distanziatori non metallici per assicurare il copriferro minimo richiesto. Lungo il fusto del micropalo, l'interspazio fra i distanziatori non dovrà superare i 3 m.
Si useranno tubi di acciaio delle dimensioni e spessore e qualità previsti in progetto.

12.3.2.2 Miscela cementizia e iniezione

Per quanto concerne le caratteristiche delle miscele di iniezione sia nel caso di tubi non valvolati sia di tubi valvolati si rimanda al precedente § 12.3.1.2.

12.3.3 Precontenimento mediante trattamenti colonnari (gettiniezione)

Nell'interno delle gallerie i trattamenti colonnari saranno eseguiti secondo le previsioni di progetto e le prescrizioni della Direzione Lavori:
- dal fronte di scavo, in anticipo sugli scavi in avanzamento, con andamento orizzontale o sub orizzontale e geometria tronco conica, per formare un arco di terreno consolidato intorno alla sezione di scavo;
- dal piano d'imposta della calotta, in anticipo sugli scavi di strozzo, con andamento verticale, sub verticale o comunque inclinato, per contrastare le spinte scaricate all'imposta dell'arco di calotta.

Per quanto riguarda gli aspetti generali, i criteri di accettazione, qualifica, controlli e modalità esecutive Valgono tutte le prescrizioni e disposizioni previste all'art. 7 ("Trattamenti colonnari) del presente Capitolato Speciale e quanto previsto nel § 12.1 "Campo di applicazione".

12.3.4 Attrezzature, tecniche di perforazione e campo prova

Le tecniche di perforazione a secco e le modalità d'iniezione dovranno essere definite in relazione alla natura dei materiali da attraversare ed alle caratteristiche idrogeologiche locali.
La scelta delle attrezzature ed i principali dettagli esecutivi dovranno essere messi a punto mediante l'esecuzione preliminare di infilaggi di prova. In particolare le attrezzature di perforazione dovranno rispondere ai seguenti requisiti:

- possibilità di eseguire, senza manovre d'asta, perforazioni con rivestimento provvisorio fino ad almeno 18.0 m di lunghezza, con agevole e preciso posizionamento dei fori secondo la geometria tronco-conica o cilindrica tipica dell'applicazione;
- testa di rotazione con foro passante e con ingombro verso l'esterno non eccedente 35 cm rispetto all'asse della perforazione;
- slitta di scorrimento di costruzione sufficientemente rigida, dispositivi di guida delle aste ed apparecchi di stazionamento dell'attrezzatura tali da assicurare il rispetto delle tolleranze geometriche prescritte; la slitta non dovrà comunque subire spostamenti elastici superiori a 5 mm a seguito dell'applicazione, ad una qualsiasi delle sue estremità, di una forza di 100 kg in qualunque direzione nel piano ortogonale dell'asse di perforazione;
- per la perforazione e la posa in opera degli infilaggi la Direzione Lavori potrà autorizzare il ricorso alla tecnologia tipo ODEX o equivalente.

La perforazione deve essere condotta impiegando utensili atti ad ottenere fori del diametro previsto in progetto ed a consentire la regolarità delle successive operazioni d'infilaggio dei tubi e d'iniezione. Di norma dovrà essere impiegato il rivestimento provvisorio, da tenere in opera fino ad avvenuto riempimento della cavità anulare tra il tubo e le pareti del foro.

12.3.5 Precontenimento del cavo mediante pretaglio meccanico a piena sezione

Il pretaglio meccanico a "piena sezione" consiste nel praticare un'incisione di spessore e lunghezza prederminati sul fronte di scavo, lungo la traccia del profilo d'estradosso della futura galleria.
L'incisione, ottenuta mediante una speciale macchina dotata di testa fresante a catena, movimentata su un portale a cremagliera che riproduce la sagoma della galleria, viene immediatamente riempita con calcestruzzo proiettato fibrorinforzato, opportunamente addittivato per ottenere eccellenti doti di resistenza in tempi brevi.
Si realizza così un "tegolo" di prerivestimento di forma tronco-conica ed elevate caratteristiche meccaniche, lanciato in avanzamento ben oltre il fronte di scavo, che permette di garantire un precontenimento radiale al terreno circostante, tale da impedirne l'allentamento.
Grazie alla forma tronco-conica è possibile la realizzazione di tegoli successivi parzialmente sovrapposti, alternando l'esecuzione di ciascuno con un appropriato sfondo di avanzamento. Si ottiene così una volta di rivestimento pressoché continua, che dopo il passaggio del fronte viene irrigidita al più presto chiudendola al piede col getto delle murette e dell'arco rovescio.
Il campo di applicazione del sistema va dai terreni argillosi a quelli limosi anche eterogenei e con presenza di acquiferi, purché consentano, magari con particolari artifici, di mantenere l'incisione aperta il tempo necessario per riempirla.
Prerogative importanti del metodo sono:

- l'eliminazione quasi totale del fuori sagoma e quindi la sensibile riduzione delle necessità d'iniezione d'intasamento tra prerivestimento e terreno;

- la riduzione dell'incidenza delle opere di contenimento provvisorie e definitive in quanto funge da sostegno a breve termine, collaborante anche a lungo termine (è necessario prevedere comunque un rivestimento definitivo anche se di ridotto spessore).

Il cavo dovrà essere ricavato mediante taglio del terreno con impiego di una speciale attrezzatura munita di una lama su cui scorrono delle catene a denti fresanti; la lama scorre su un portale a cremagliera che riproduce la sagoma della galleria. La lama di taglio a causa dello scorrimento della catena e del movimento del meccanismo, trasmette vibrazioni al terreno, che possono innescare o favorire il distacco di blocchi lungo superfici di rottura latenti o preesistenti. È quindi necessario che le maestranze impegnate, rimangano a distanza di sicurezza e che siano rispettate alcune fondamentali norme:

- è necessario che il profilo del pretaglio rispecchi fedelmente gli schemi progettuali allo scopo di evitare errori nella geometria del trattamento, errori che si traducono, per il successivo e necessario ripristino della sezione di scavo, in difficili interventi di rifilatura;
- l'esecuzione del guscio avviene per conci successivi il cui sviluppo è regolabile in funzione delle caratteristiche geotecniche del terreno secondo le prescrizioni progettuali;
- prima di iniziare il taglio di un concio è indispensabile che sia stato completato il getto di quello precedente;
- è necessario garantire la continuità strutturale del guscio curando in particolare le riprese di getto tra i vari conci ed evitando la giunzione di calotta in corrispondenza dell'asse della galleria;
- si deve sempre garantire, quale condizione necessaria per la stabilità globale del guscio di pretaglio anche in fase di scavo, l'incastro del piedritto del guscio di calcestruzzo proiettato per un tratto di lunghezza previsto in progetto al di sotto del piano di lavoro;
- nel caso in cui si verifichino difficoltà d'esecuzione dei tagli a causa di presenza di materiali incoerenti, è necessario dotare il terreno della coesione mancante per il sostegno del taglio eseguendo opportune iniezioni di malte cementizie nelle zone incoerenti in prossimità del profilo di scavo.

Il pretaglio della volta dovrà essere eseguito per conci successivi.
Per contrastare fenomeni di decompressione del terreno, appena completato il taglio di un concio, si dovrà procedere al suo riempimento mediante calcestruzzo proiettato, additivato con acceleranti di presa.

12.4 Criteri di accettazione dei sostegni di prima fase

La fase realizzativa del dei sostegni di prima fase (o prerivestimento), immediatamente successiva allo scavo, è necessaria per sostenere temporaneamente lo scavo in attesa del getto del rivestimento definitivo ed evitare problemi di rilascio di materiale della calotta.
A seconda della tipologia dei terreni interessati dallo scavo, il prerivestimento viene generalmente realizzato con la posa in opera di

- centine metalliche
- calcestruzzo proiettato – spritzbeton – (eventualmente armato con rete elettrosaldata o fibre)
- bulloni di ancoraggio

Durante le fasi di avanzamento, l'Appaltatore, indipendentemente dalle previsioni di progetto, dovrà provvedere, a sua cura e spese, a tutte le opere provvisionali tali da garantire in corso d'opera il regolare andamento dei lavori stessi e l'incolumità del personale che vi è addetto, nonché la tutela ambientale mediante il recepimento delle disposizioni da Capitolato Ambientale e della normativa vigente.

12.4.1 Centine metalliche

In genere le centine in acciaio sono costituite da profilati IPN che dovranno essere di qualità minima S 275 e comunque come indicato sugli elaborati grafici di progetto.

Le lamiere per la realizzazione dei profilati, delle piastre, degli angolari, ecc. costituenti le centine metalliche, dovranno essere dotate di marcatura CE ai sensi della norma armonizzata UNI EN 10025-1 e rispettare le prescrizioni di cui all'art. 25 di questo capitolato speciale e agli elaborati di progetto a cui si rimanda per la completa definizione dei criteri di accettazione, della qualifica e dei controlli.

Le centine potranno essere previste anche in acciaio reticolare e dovranno essere costituite, qualora non indicato diversamente nel progetto, da barre d'acciaio del tipo B 450 C e rispettare le prescrizioni di cui all'art. 24 di questo capitolato speciale e agli elaborati di progetto a cui si rimanda per la completa definizione dei criteri di accettazione, della qualifica e dei controlli.

Le unioni bullonate dovranno essere di classe non inferiore alla 8.8 e comunque del tipo indicato sugli elaborati grafici di progetto e dovranno essere dotate di marcatura CE ai sensi della norma armonizzata UNI EN 14399-1 e rispettare le prescrizioni di cui all'art. 25 di questo capitolato speciale e agli elaborati di progetto a cui si rimanda per la completa definizione dei criteri di accettazione, della qualifica e dei controlli.

12.4.1.1 Centina meccanizzata (centina sicura)

Con "centina meccanizzata" si intende una centina munita di un sistema di bloccaggio degli spezzoni e di catene studiati in modo da consentirne il montaggio denza presenza di operatori al fronte, migliorando quindi le condizioni di sicurezza delle maestranze.
Lo schema base è il consueto schema di centina suddivisa in tre spezzoni collegati da cerniere, che può quindi essere portata al fronte già assemblata e messa in opera con un posacentine. Le caratteristiche principali sono le seguenti:

- Sarà costituita da un profilo tubolare calandrato, di inerzia idonea
- In corrispondenza delle cerniere, in luogo delle consuete piastre terminali da imbullonare saranno previste piastre di irrigidimento solo sulla parte esterna, mentre sui terminali dei tubolari sarà installato un meccanismo di incastro "maschio-femmina" dotato di blocco automatico
- Se necessario, il piede centina sarà regolabile, potendo scorrere con un sistema telescopico e dispositivo di regolazione e blocco
- In luogo delle consuete catene, saranno disposti spezzoni di tubolari passanti rispetto al tubolare costituente la centina, aventi lunghezza pari al passo centine e muniti di dispositivo di aggancio e blocco automatico all'elemento corrispondente presente sulla centina già in posto
- La centina deve essere dotata di dispositivo per eseguire una iniezione di riempimento del tubolare.

12.4.2 Calcestruzzo proiettato

La tecnica dello spritzbeton, o calcestruzzo proiettato, è utilizzata per la formazione del guscio di prerivestimento delle gallerie, al fine di aumentare artificialmente la coesione superficiale degli ammassi rocciosi, evitando l'allentamento, il rilascio e la caduta di cunei, o per il contenimento di formazioni scarsamente coese e spingenti, prevenendo l'ossidazione delle superficie scavate e esposte all'aria.

Il calcestruzzo proiettato dovrà essere armato con fibre d'acciaio in ragione di 30 kg di fibre metalliche per metro cubo d'impasto salvo diverse indicazioni progettuali. La classe di resistenza a

compressione del calcestruzzo proiettato dovrà risultare conforme alle previsioni progettuali e comunque non inferiore a C30/37 dopo 28 giorni. Inoltre la resistenza media a compressione monoassiale non dovrà essere inferiore ai seguenti valori: 10 MPa a 24 ore e 15 MPa a 48 ore. Comuncque per le caratteristiche del materiale si dovrà fare riferimento al P.E.

Per la completa definizione dei criteri di accettazione, della qualifica e dei controlli del calcestruzzo proiettato, valgono tutte le prescrizioni e disposizioni previste dall'art. 20 del presente Capitolato Speciale a cui si rimanda integralmente.

12.4.2.1 Gabbie di armatura per calcestruzzo proiettato

Se previsto a progetto, il calcestruzzo proiettato potrà essere messo in opera previa posa di gabbie armatura preassemblate e modulari che, salvo non sia diversamente specificato negli elaborati, non rivestono carattere strutturale ai sensi delle NTC 2018. Le gabbie, costituite da reti elettrosaldate opportunamente sagomate e dotate di piastre di collegamento, dovranno avere caratteristiche geometriche, meccaniche ed interasse di messa in opera conformi alle sezioni tipo del progetto previste per le varie tratte o a quanto ordinato dalla Direzione Lavori e dovranno essere costituite, qualora non indicato diversamente nel progetto, da barre d'acciaio del tipo B450A.

Qualora l'armatura inglobata nel calcestruzzo proiettato rivesta carattere invece strutturale ai sensi delle NTC 2018, per la completa definizione dei criteri di accettazione, della qualifica e dei controlli si rimanda ai contenuti dell'art. 24 di questo capitolato.

Le lamiere costituenti le piastre di collegamento dovranno essere in acciaio di qualità non inferiore al tipo S275, conformi alla norma UNI EN 10025-1 e se rivestono carattere strutturale ai sensi delle NTC 2018, per la completa definizione dei criteri di accettazione, della qualifica e dei controlli si rimanda ai contenuti dell'art. 25 di questo capitolato.

I collegamenti tra i vari moduli dovranno essere assicurati tramite bulloni di classe non inferiore alla 8.8- UNI EN 14399-1 o barre filettate che se rivestono carattere strutturale ai sensi delle NTC 2018, per la completa definizione dei criteri di accettazione, della qualifica e dei controlli si rimanda ai contenuti dell'art. 25 di questo capitolato.

12.4.3 Bulloni di ancoraggio

Le loro caratteristiche dimensionali e la loro disposizione saranno conformi alle indicazioni di progetto. Sono previste le seguenti tipologie:

- chiodi (con barra in acciaio, in profilato o in VTR);
- bulloni ad ancoraggio meccanico;
- bulloni frizionali ad espansione;
- bulloni autoperforanti;
- bulloni infissi a pressione;
- bulloni in vetroresina.

Valgono tutte le prescrizioni e disposizioni previste dall'art. 11 del Capitolo "Bulloni e chiodi (all'aperto e in sotterraneo)" del presente Capitolato Speciale.

Gli interventi di ripristino su rivestimenti definitivi esistenti, qualora in corso dei lavori si evidenziassero diffuse bullonature preesistenti, dopo aver eseguito tutti i necessari approfondimenti diagnostici nel tratto in esame e aver verificato l'integrità dei bulloni, possono prevedere prove di trazione sui bulloni stessi per valutarne l'idoneità. I valori di prova saranno definiti facendo riferimento

ai relativi dimensionamenti (as-built e/o calcoli). Le prove potranno essere eseguite anche su tutti i bulloni che interessano l'area di intervento. Qualora le prove non fossero superate, si procederà come da indicazioni del progettista.

12.5 Criteri di accettazione della impermeabilizzazione

12.5.1 Generalità ed oneri

Lo scopo della impermeabilizzazione è quello di garantire l'assenza di venute d'acqua incontrollate nella galleria finita. Di norma la sezione tipo di impermeabilizzazione prevede che la calotta sia sistematicamente impermeabilizzata.
L'impermeabilizzazione deve essere realizzata all'intradosso del rivestimento di prima fase in modo da risultare compresa, a opera finita, tra il rivestimento di prima fase e quello definitivo e deve essere estesa fino alla quota indicata dal progetto.

In terreni che presentino all'atto dello scavo venute d'acqua nella zona dei piedritti o dell'arco rovescio l'impermeabilizzazione dovrà comprendere anche l'arco rovescio stesso ed essere chiusa ad anello intorno al rivestimento.

Inoltre, quando i terreni in cui viene realizzata la galleria sono potenzialmente sede di falda acquifera, la Direzione Lavori potrà richiedere di eseguire tra i sondaggi in avanzamento, se previsti, un sondaggio sub-verticale che indaghi la zona al di sotto dell'arco rovescio a qualche decina di metri davanti al fronte. Su richiesta della Direzione Lavori, nel foro potrà essere installato un piezometro a tubo aperto costituito da un tubo in PVC fessurato. Quando non sono previsti sondaggi in avanzamento, tale sondaggio potrà essere sostituito da un sondaggio verticale realizzato immediatamente dietro il fronte di scavo.

In questi casi la Direzione Lavori dovrà coinvolgere il progettista per valutare la necessità di collegare l'impermeabilizzazione al sistema di drenaggio e definire i dettagli di tale collegamento, ovvero per valutare le conseguenze dal punto di vista statico in relazione ai possibili aumenti di carico legati alla risalita della falda.

La Direzione Lavori potrà richiedere di estendere l'applicazione dell'impermeabilizzazione completa della sezione anche alle tratte per le quali, sulla base dei risultati così ottenuti, siano da prevedere, durante la vita dell'opera, consistenti venute d'acqua in relazione alle caratteristiche delle falde e delle condizioni idrogeologiche rilevate.

E' da privilegiare l'adozione di un sistema di compartimentazione dell'impermeabilizzazione in settori indipendenti per facilitarne la manutenzione a lungo termine e la possibilità di isolare i settori nei quali dovessero manifestarsi, nel tempo, problematiche riconducibili ad infiltrazioni d'acqua ed effettuare, così, un intervento mirato.

Per la realizzazione dell'impermeabilizzazione, inoltre, sono compresi i seguenti oneri a carico dell'Appaltatore:

- il montaggio e smontaggio delle attrezzature mobili (tubi di ventilazione, tubi di aria e acqua in pressione, cavi elettrici, ecc.) e dei ponteggi;
- la ventilazione al fine d'assicurare anche in sommità di calotta un'atmosfera sana;
- l'illuminazione del luogo di lavoro;
- la fornitura di aria compressa, energia elettrica e altre attrezzature ausiliarie;
- l'esecuzione di tutte le prove previste nelle presenti prescrizioni e delle eventuali prove aggiuntive previste dal progettista e/o richieste dalla Direzione Lavori in corso d'opera, per motivate esigenze;

- la disponibilità continua in cantiere delle attrezzature necessarie alle prove di controllo.

12.5.2 Caratteristiche dei materiali

La struttura di impermeabilizzazione dovrà essere generalmente costituita da uno strato di compensazione in geotessile non tessuto (a filo continuo o a fiocco) in polipropilene del peso minimo di 500 g/m², avente funzione antipunzonante, ed in una guaina impermeabilizzante, realizzata in PVC come da tabella al § 12.5.2.2.
Il progetto potrà altresì prevedere, in accoppiamento al geotessile, una membrana bugnata in HDPE con la funzione di proteggere lo strato impermeabilizzante e di drenaggio.
In alternativa al geotessile potrà essere utilizzata una struttura ad alto potere filtrante che dovrà, comunque, essere approvata dalla Direzione Lavori.
Lo strato di protezione dovrà essere scelto per assolvere alle funzioni di:

- captazione e di drenaggio delle acque di infiltrazione;
- protezione meccanica della membrana contro il punzonamento statico esercitato dal supporto durante il getto del rivestimento finale.

Ai fini della resistenza al fuoco, tutti i materiali utilizzati dovranno essere classificati in Classe E secondo la norma UNI EN 13501 dopo la prova di accendibilità eseguita secondo la norma UNI EN ISO 11925-2.

12.5.2.1 Geotessile non tessuto

Lo strato di geotessile non tessuti, costituito in fibre di polipropilene al 100 %, dovrà essere non rigenerato, coesionato meccanicamente mediante agugliatura, esente da trattamenti chimici o termici al fine di assicurare l'uniformità del piano di posa per evitare che imperfezioni, detriti inamovibili od altre irregolarità dello strato sottostante possano danneggiare, causando perforamenti o punzonamenti, lo strato impermeabile.
La funzione di questo strato è strettamente connessa con la preparazione del supporto e, in conformità a questa, dovrà essere scelta un'adeguata grammatura del tessuto, compresa tra i 500 ed i 1000 gr/mq e comunque nel rispetto dei contenuti del progetto esecutivo. Le fibre in polipropilene garantiscono una miglior capacità di resistenza alle aggressioni chimiche (causate per esempio da processi di indurimento dei cementi) rendendole idonee all'uso su supporti cementizi non totalmente maturati.
Tale geotessile deve essere dotato di marcatura CE e DoP secondo la norma UNI EN 13256 (o 13252) con sistema di attestazione della conformità di tipo 2+ e possedere le seguenti caratteristiche minime, determinate da prove effettuate da laboratori ufficiali certificati:

- Peso UNI EN ISO 9864:2005 > 500 g/m^2
- Resistenza a trazione su striscia di 20 cm (UNI EN ISO 10319) > 30 kN/m
- Allungamento (UNI EN ISO 10319) > 35% (MD e CD)
  > 50% (MD+CD)/2
- Resistenza a trazione MD e CD al 10% di allungamento (UNI EN ISO 10319) > 4 kN/m
- Punzonamento statico (UNI EN ISO 12236: 1999) > 5 kN
- Punzonamento dinamico (UNI EN ISO 13433:2006) $\leq$ 6 mm
- Permeabilità radiale all'acqua alla pressione di 20 kPa (UNI EN ISO 12958) > 3 x 10^{-3} l/ms
- Resistenza agli attacchi chimici (pH>9, metodo A, resistenza residua) (EN 14030) $\geq$80%
- Comportamento al fuoco (UNI EN ISO 11925-2): Classe E

Con riferimento alla UNI EN 13256 occorre prevedere una durabilità minima in esercizio di 50 anni.

12.5.2.2 Membrana impermeabile PVC GBR-P – TPO – a spruzzo

Ove previsto a progetto l'elemento di tenuta dovrà essere realizzato con manto in PVC-P atossico, o membrana sintetica TPO a base di poliolefine elastomerizzate, aventi caratteristiche conformi ai valori indicati nelle tabelle seguenti.
Tali membrane devono essere dotate di marcatura CE e DoP secondo la norma UNI EN 13491 con sistema di attestazione della conformità di tipo 2+.
La membrana impermeabile dovrà essere composta da due strati coestrusi di colore contrastante ma costituenti un corpo omogeneo. Lo strato a vista dovrà essere di colore contrastante con quello dello strato sottostante al fine di consentire una più agevole individuazione di eventuali strappi o danni arrecati alla membrana in fase di produzione, trasporto, installazione, oppure dalle attività di cantiere successive alla posa in opera e antecedenti o concomitanti con la fase di getto del rivestimento.

Tabella caratteristiche membrana in PVC

Caratteristiche	**Requisito minimo**	**Metodo di prova**
Spessore (mm)	≥2.0 mm escluso strato di segnalazione	EN 1849 - 2
Spessore strato di segnalazione	≤ 0.20mm	EN 1849 - 2
Resistenza alla trazione carico a rottura (N/mm^2)	≥ 15,0	UNI EN 12311-2 met. B UNI EN ISO 527 – 3 provino tipo 5 veloc. 100mm/min
Allungamento a rottura (%)	≥ 250	UNI EN 12311-2 met. B UNI EN ISO 527 – 3 provino tipo 5 veloc. 100mm/min
Resistenza alla lacerazione (N/mm)	≥ 45	ISO 34-1 (metodo B, provino ad angolo figura 2, velocità 500 mm/minuto)
Tenuta ai liquidi	Impermeabile.	UNI EN 14150
Comportamento a bassa temperatura (piegatura temp = -25°c)	Stabile (nessuna rottura o fessurazione)	UNI EN 495/5
Resistenza chimica 56 giorni a 50oC in soluzione acida (H2SO4) Variazione carico e allungamento a rottura	≤ ± 20%	EN 14414
Resistenza chimica 56 giorni a 50oC in soluzione basica (Ca(OH)2) Variazione carico e allungamento a rottura	≤ ± 20%	EN 14414
Comportamento al fuoco	classe E	EN 11925-2
Resistenza al taglio della giunzione (N/mm)	≥ 10,5 (rottura al di fuori della saldatura)	UNI EN 12317-2
Punzonamento statico (CBR)	≥2,5 kN	EN ISO 12236
Resistenza allo scoppio e allungamento Allungamento a rottura (%)	≥ 75%	EN 14151
Resistenza all'impatto	Nessuna perforazione con altezza di caduta di 1750mm (peso 500 g, Metodo B) Nessuna perforazione con altezza di caduta di 1000mm	UNI EN 12691

Caratteristiche	**Requisito minimo**	**Metodo di prova**
	(peso 500 g, Metodo A)	
Resistenza a compressione a lungo termine	Impermeabile con carico di 7 N/mm2 per 48h	SIA 280/14

Tabella caratteristiche membrana in TPO

CARATTERISTICHE TECNICHE				
Caratteristiche	Norme EN	U.M.	Tolleranza	Valori
Spessore standard	1849-2	mm	(-5/+10%)	2,0
Massa areica	1849-2	kg/m²	(-5/+10%)	1,80
Trazione				
• Resistenza L/T	12311-2/B - ISO 527	N/mm²		15/15
• Allungamento a rottura L/T	12311-2/B - ISO 527	%		600/600
Stabilità dimensionale	1107-2	%		≤0,5
Flessibilità a freddo	495	°C		≤-40
Resistenza alla lacerazione L/T	12310/1	N		650/600
Punzonamento statico	12730/B	kN		≥25
Impermeabilità all'acqua (60kPa-EN 1928)				Assoluta
Resistenza alle giunzioni				
• Trazione	12317-2	N/cm		Conforme (rottura del provino esterna alla zona di saldatura)
• Peeling	12316-2	N/cm		≥58
Durabilità				
• Impermeabilità dopo invecchiamento termico	1926-EN 1928			Supera la prova a 60 kPa
Resistenza alle alghe e ai microrganismi	ISO 846 Livello 2			Conforme
Resistenza alle radici	13948			Supera la prova

Nel caso in cui l'installazione di impermabilizzazione con telo in PVC-TPO non sia possibile potrà essere considerato in alternativa un intervento con impermeabilizzazione a spruzzo a freddo di una membrana polimerica elastica dello spessore minimo di 2 mm a fine essiccazione all'interno di strati di calcestruzzo proiettato dalle seguenti prestazioni:

- Durezza Shore (A) dopo 7 giorni a +23°C (DIN 53505): ≥ 40 ;
- Resistenza alla trazione (ISO R 527) (N/mm²) dopo 28 giorni a +23°C: ≥ 1,5 (allungamento 150%);
- Profondità di penetrazione dell'acqua sotto pressione (EN 12390/8) 3 mm: 5 bar per 28 gg;
- adesione al calcestruzzo ≥ 0,75 MPa;
- Crack bridging (EN 1062-7, metodo A) (µm): A5 > 2.500;
- Impermeabilità del sistema "sandwich" (spritz-membrana-spritz) (bar): 15;
- Classe di reazione al fuoco (EN 13501-1): B,s2, d0.

Tale membrana polimerica elastica deve essere dotata di marcatura CE e DoP secondo la norma UNI EN 1504-2 con sistema di attestazione della conformità di tipo 2+.

12.5.2.3 Tubo di drenaggio longitudinale a tergo dell'impermeabilizzazione

Qualora la sezione tipo di impermeabilizzazione preveda un drenaggio andrà posizionato, come indicato negli elaborati progettuali, un tubo di drenaggio in polietilene ad alta densità corrugato esternamente, liscio internamente e fessurato esternamente con fessurazioni a 240°.
Resistente allo schiacciamento > 300 N (prova su tubo corrugato non fessurato), con deformazione interna pari al 5% (specifica estrapolata da norma CEI EN 50626-1).

12.5.2.4 Sigillatura delle riprese di getto

Gli elaborati di progetto prevederanno, di norma, la sigillatura delle riprese di getto fra conci di arco rovescio o calotta successivi, e/o fra muretta e piedritto. Si potrà prevedere, in alternativa e a seconda dell'ubicazione della ripresa di getto:

- L'impiego di giunti waterstop in PVC del tipo indicato all'art. 34 di questo capitolato a cui si rimanda integralmente;
- L'impiego di cordolini idroespansivi a base bentonitica, fissati al getto preesistente secondo le specifiche del produttore con le seguenti caratteristiche
    - Forma quadrata di dimensioni di 25x25 mm o rettangolare
    - Espansione libera in acqua distillata pari minimo a 6 volte il suo volume iniziale senza perdita di coesione di massa
    - Massa maggiore di 1.10 kg/m
    - Pressione di rigonfiamento dopo 48 ore maggiore di 600 KPa
    - Stabilità alle soluzioni saline ed aggressive e resistenza all'azione inibente degli ioni calcio e magnesio
    - Temperatura di applicazione da -15°c a +50°c

12.6 Criteri di accettazione del rivestimento definitivo

12.6.1 Calcestruzzi e armature

Per quanto riguarda le prescrizioni relative ai calcestruzzi e alle armature, si rimanda a quanto disciplinato agli articoli 20 e 24 del Capitolo "Norme per l'esecuzione dei lavori" del presente Capitolato Speciale d'Appalto. Tali articoli sono da considerare non solo per i criteri di accettazione ma anche per tutte le altre tematiche quali la qualifica, i controlli, le modalità di prova. ecc.
Le prescrizioni di seguito riportate si intendono integrative a quelle contenute negli articoli citati.
Il conglomerato cementizio impiegato per il rivestimento definitivo dovrà avere classe di resistenza conforme alle indicazioni progettuali e comunque non inferiore a 30/37 MPa e che in ogni caso il dosaggio del cemento (42,5N o 42,5R) non dovrà essere inferiore a 320 kg/m³; la classe del conglomerato e lo spessore del rivestimento dovranno essere conformi alle previsioni di progetto, restando a carico dell'Appaltatore i maggiori spessori realizzati.
In particolari condizioni e quando previsto dal progetto, al fine di aumentare l'impermeabilità e la pozzolanicità del rivestimento e diminuire il calore d'idratazione del conglomerato potrà essere impiegata, in ragione del 10% sul peso del legante, della silice ad alta superficie specifica attivata e compattata in ragione di una percentuale sul peso del legante, in funzione delle prestazioni del conglomerato richieste dal progetto.
In assenza d'armature e previa indicazione progettuale o della Direzione Lavori, si dovrà procedere sul piano di posa dell'arco rovescio, alla posa in opera di un telo in geotessile non tessuto in poliestere a legamento per agugliatura meccanica, inattaccabile alla luce ed alle azioni chimiche e batteriche con impregnazione eseguita con legante bituminoso tipo 180 – 200 spruzzato a caldo in ragione di almeno 2 kg/m². Il geotessile dovrà presentare le seguenti caratteristiche: resistenza a

trazione ≥ 21 kN (UNI EN ISO 10319); allungamento > 50% (UNI EN ISO 10319); resistenza al punzonamento > 2,5 KN (UNI EN ISO 12236); coefficiente di permeabilità radiale sotto 200 kPa > 1x10-5 l/msec (UNI EN ISO 12958);

12.6.2 Casseforme

Per i getti del rivestimento di calotta dovranno essere impiegate casseforme metalliche montate su carro portaforme, munite di sistema di movimentazione autonoma. Le smorze potranno essere anche in legno.
La struttura dovrà essere opportunamente irrigidita e controventata, dimensionata per non subire deformazioni sotto il carico del conglomerato cementizio qualunque sia la sua consistenza.
La superficie a contatto con il conglomerato cementizio dovrà assicurare ai getti una rifinitura perfettamente regolare e conforme al profilo di progetto.
Il cassero per il getto della calotta deve essere provvisto di adeguate bocchette di ispezione e di manicotti per il pompaggio del calcestruzzo ad altezze intermedie.
Il cassero deve essere attrezzato con almeno un vibratore a parete ogni 4 m^2.
Le casseforme a sostegno del getto del rivestimento non dovranno interferire con i sostegni dello scavo.

E' onere dell'Appaltatore mantenere in buono stato di efficienza e manutenzione l'attrezzatura di getto ed il cassero.

Nel caso di utilizzo di oli disarmanti, a partità di caratteristiche tecniche, si dovrà preferire prodotti ad elevate prestazioni ambientali (ad es. biodegradabilità).

12.6.2.1 Lastre predalles come cassero a perdere

L'uso di lastre predalles come cassero a perdere può essere autorizzato, purché:

- Dovrà essere disposta una armatura a ridosso della lastra;
- Dovranno essere disposti ferri di armatura in corrispondenza delle giunzioni fra le lastre e le riprese di getto in corrispondenza delle murette;
- La sezione resistente costituita dalla lastra armata e dal getto, considerando l'armatura nella sua reale posizione, deve fornire un dominio di resistenza uguale o superiore a quello della sezione di progetto;
- La nuova sezione resistente deve essere determinata considerando gli scostamenti fra profilo interno della galleria di progetto e profilo reale secondo schema di installazione delle lastre;
- La verifica in corrispondenza della giunzione delle lastre dovrà essere fatta, di norma, con riferimento al solo getto in opera; potrà essere considerato il contributo delle lastre solo nel caso in cui la sezione in esame sia interamente compressa nella zona di giunzione e li momento flettente tenda le fibre esterne della sezione
- Il progetto costruttivo dovrà definire un sistema di puntelli idoneo a sostenere le lastre in ogni fase del getto.

12.6.3 Specifiche per conci prefabbricati

Il rivestimento della galleria deve creare un sostegno stagno che deve essere messo in opera all'interno del mantello dello scudo immediatamente a seguito della macchina di scavo.
Per sopportare gli sforzi d'avanzamento dello scudo, gli elementi in calcestruzzo devono avere un'elevata resistenza meccanica ed una precisione geometrica indispensabili per evitare lo sviluppo di sforzi che possano portare fino allo schiacciamento ed alla rottura.

La tenuta idraulica del rivestimento deve essere garantita da guarnizioni impermeabili montate sul perimetro esterno dei conci.
Il rivestimento definitivo consiste in anelli prefabbricati in calcestruzzo armato della lunghezza e spessore indicati in progetto.
Ogni anello è costituito da un set di elementi (conci) comprendenti:

- il concio di chiave (K)
- conci generici (A)

I conci devono avere la guarnizione di tenuta annegata nel calcestruzzo durante la fase di getto.
La geometria del concio e quindi dell'anello dovrà tenere conto dell'andamento plano-altimetrico di tracciato previsto in progetto.
I singoli conci vengono montati tra loro e collegati all'ultimo anello, già in opera, all'interno del mantello.
Nel montare un nuovo anello bisognerà assicurarsi che non ci siano giunti longitudinali allineati con l'anello precedente già montato. Bisognerà per ogni anello tenere nota della posizione del concio di chiave.
L'anello di tipo universale, consente, mediante la semplice rotazione attorno al proprio asse di un anello rispetto al precedente, di sfalsare i giunti longitudinali e di seguire l'andamento plano-altimetrico del tracciato e di apportare le eventuali necessarie correzioni in corso d'opera, senza ricorrere ad elementi speciali.
I conci devono essere assemblati mediante tre perni longitudinali, tra conci di anelli contigui, e barre guida posizionate sulle facce di contatto dello stesso anello montati prima del posizionamento del concio. Per quanto riguarda le prescrizioni relative ai calcestruzzi e alle armature, si rimanda a quanto disciplinato agli articoli 20 e 24 del Capitolo "Norme per l'esecuzione dei lavori" del presente Capitolato Speciale d'Appalto.

12.6.3.1 Connessione tra i conci

Il collegamento tra conci dello stesso anello e tra un anello ed il successivo, montati in corrispondenza dei giunti, devono:

- garantire l'allineamento dei conci
- assicurare la stabilità del concio in fase di montaggio dell'anello

I perni o spinotti "a perdere": sono realizzati con speciali materie plastiche ad alta resistenza, con eventuale anima d'acciaio. Tali perni vengono inseriti in appositi alloggiamenti (cuffie costituite da materiali plastici resistenti agli urti e all'abrasione che vengono annegate nel calcestruzzo) disposti sulla faccia libera del concio in fase di montaggio e trovano riscontro nell'ultimo anello posato in identici alloggiamenti. I pistoni di spinta provvedono poi all'inserimento forzato. Il numero e la posizione degli spinotti nell'ambito dell'anello è definita nel progetto.

12.6.3.2 Barre guida

Il sistema di connessione con i perni prevede l'impiego di barre guida incollate tra concio e concio di uno stesso anello, per garantire il corretto posizionamento ed il centraggio circonferenziale dei conci. Le barre guida sono prodotte in speciali materie plastiche infrangibili ad alto snervamento e sono perciò in grado di sopportare elevati sforzi di taglio. Le caratteristiche delle barre sono definite nel progetto.

12.6.3.3 Guarnizioni per la ripartizione delle pressioni

Nella sezione di contatto dei giunti deve essere presente una striscia di elastomero al fine di assicurare la corretta ripartizione delle pressioni.

12.6.3.4 Guarnizioni di gomma piuma

Lungo i bordi dell'estradosso del concio devono essere montate strisce di gomma piuma che hanno lo scopo di impedire l'entrata della miscela d'intasamento nei giunti fra i singoli elementi.

12.7 Criteri di accettazione dei drenaggi

12.7.1 Drenaggi in avanzamento di captazione d'acque di falda

Questo tipo di drenaggio ha la funzione di captare l'acqua di falda, qualunque sia la pressione, in avanzamento sugli scavi al fronte o al contorno di calotta, allo scopo di aumentare la stabilità del fronte di scavo.

Tale intervento potrà sussistere anche a lungo termine durante la fase d'esercizio della galleria; pertanto in tal caso si dovrà provvedere a raccogliere con apposito dispositivo le acque convogliate dai dreni a tergo del rivestimento ed incanalarle nel sistema di smaltimento dell'impermeabilizzazione della galleria realizzato secondo quanto previsto da Capitolato Ambientale e in conformità alla normativa vigente con particolare riferimento al Dlgs 152/06.

Per le caratteristiche dei dreni perforati che saranno costituiti da tubi microfessurati in pvc rigido rivestiti esternamente con idoneo materiale filtrante con unioni a manicotti, valgono tutte le prescrizioni e disposizioni previste dall'art. 9 del Capitolo "Norme per l'esecuzione dei lavori" del presente Capitolato Speciale d'Appalto. Le dimensioni dei dreni sono devono rispettare le indicazioni degli elaborati di progetto ma comunque non potranno avere un diametro interno inferiore a 50 millimetri e spessore non inferiore a 4 millimetri.

12.7.2 Drenaggi sotto l'arco rovescio

Il drenaggio sotto l'arco rovescio dovrà avere le dimensioni prescritte dal progetto e sarà realizzato da un sistema costituito:

- da un dreno longitudinale con ghiaia mista, lavata, avente diametro minimo non inferiore a 50 mm ed il diametro massimo non superiore a 150 mm con nessun sottovaglio ammesso nonché con passante al vaglio UNI 0,075 mm assente. Il materiale dovrà essere marcato CE ai sensi della norma UNI EN 13242 con sistema di attestazione di conformità 2+ e dichiarazione di prestazione DoP. Il materiale potrà provenire anche dal cantiere, previa opportuna selezione, frantumazione e, vagliatura e lavaggio;
- da elementi tubolari (fessurati a 220°) di raccolta acque posati sul fondo del dreno: saranno in calcestruzzo con giunzioni a bicchiere ed avranno diametro minimo pari a 40 cm;
- da uno strato in tessuto non tessuto con le seguenti caratteristiche:

Resistenze a trazione MD e CD (UNI EN ISO 10319)	$\geq$ 19 kN/m
Allungamento MD e CD (UNI EN ISO 10319)	$\geq$ 35 (MD e CD) $\geq$ 50 (MD+CD)/2
Resistenze a trazione al 10% di allungamento (UNI EN ISO 10319)	$\geq$ 3 kN/m
Permeabilità ortogonale al piano (UNI EN ISO 11058)	$\geq$ 60 l/m^{2}s
Diametro di filtrazione (UNI EN ISO 12956)	60÷150 µm

Il geotessile dovrà possedere marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA della norma europea armonizzata UNI EN 13252 (oppure anche 13249 se il materiale è già stato qualificato nell'ambito dei lavori di cui all'art. 3 di questo capitolato) con sistema di attestazione di conformità 2+ e dichiarazione di prestazione DoP.

La regimazione delle acque sarà realizzata secondo quanto previsto da Capitolato Ambientale e in conformità alla normativa vigente con particolare riferimento al Dlgs 152/06.

12.7.3 Drenaggi sopra l'arco rovescio

Sul fondo dell'arco rovescio verrà realizzato un sistema drenante (dreno in ghiaia, tubo di raccolta in calcestruzzo e tessuto non tessuto di contenimento) pari a quello descritto al paragrafo precedente.
L'arco rovescio delle gallerie sarà poi riempito, salvo se diversamente disciplinato dal progetto, con materiale da rilevato con le caratteristiche indicate all'art 3 di questo capitolato speciale.
La regimazione delle acque sarà realizzata secondo quanto previsto da Capitolato Ambientale e in conformità alla normativa vigente con particolare riferimento al Dlgs 152/06.

12.8 Criteri di accettazione opere di finitura

12.8.1 Verniciatura a fini illuminotecnici

La verniciatura dei paramenti verticali della galleria sarà effettuata fino ad una quota di 4,0m dalla piattaforma stradale, di colore bianco puro RAL 9010. Dovranno essere verniciate tutte le superfici verticali e subverticali, tranne eventuali camminamenti, la porzione sormontabile dei profili redirettivi, elementi impiantistici e di segnaletica. Dovrà in ogni caso essere sempre garantita, tranne in corrispondenza di eventuali punti singolari, una superficie verniciata continua di altezza minima netta pari a 3,0m. La finalità di tale trattamento è quella di garantire i requisiti illuminotecnici come previsto nella norma UNI 11095.

La verniciatura potrà essere realizzata nelle seguenti modalità a seconda delle indicazioni progettuali.

- vernice di colore bianco puro RAL 9010 a base di copolimeri epossiacrilici a due componenti, non infiammabile, esente da solventi, diluibile in acqua, applicazione in due mani, per uno spessore finito del film secco non inferiore a 0,25 mm, o a tre mani per uno spessore di 0,35 mm, secondo le previsioni di progetto, avente la seguente composizione:
  - adesione (ISO 4624-78) ≥ 1,50 MPA.
  - classe di Resistenza al Fuoco (UNI 8457,9174,9176): 1A
  - reazione al Fuoco (secondo EN 15301-1): B- s1- d0
  - residuo non volatile compreso tra 65÷70% in peso;
  - massa volumica tra i 1.250÷1.300 g/l;
  - permeabilità all'anidride carbonica (EN 1062-6) Sd > 55 ogni 100µ

- vernice di colore bianco puro RAL 9010 acrilica all'acqua applicata in due mani con rivestimento uniforme fino a completa copertura del supporto, con una quantità minima 400 gr/m², spessore compreso tra 200 e 250 micron. La vernice deve essere così caratterizzata nel rispetto delle normative vigenti:
  - adesione (ISO 4624-78) ≥ 1,50 MPA.
  - classe di Resistenza al Fuoco (UNI 8457,9174,9176): 1A
  - reazione al Fuoco (secondo EN 15301-1): B- s1- d0

- riflessione >80% - UNI EN 410 / ISO 9050;
- permeabile al vapore Classe V2 – UNI EN 1062-1
- non permeabile all'acqua liquida - UNI EN 1062-3;
- elevato potere di adesione - UNI EN ISO 4624;
- resistente allo strofinamento ad umido - UNI EN ISO 11998;
- ottimo potere coprente - UNI EN ISO 6504-3.

- ciclo di verniciatura a due strati che possa prevedere come primo strato la protezione decorativa (bianco RAL 9010) del piedritto, mediante l'applicazione di 400-500 gr/mq di pittura acrilica oppure 500 gr/mq di Epossi-acrilica e come secondo strato un protettivo con una resina Polisilossanica bicomponente, a base acquosa trasparente, in grado di conferire al supporto le seguenti specifiche:
  - Permeabilità al vapore acqueo UNI-EN 7783-2 classe V2 (0,14≤Sd<1,4 m)
  - Permeabilità all'acqua liquida UNI-EN1062-3 classe W3 (w≤0,1 kg/(m²h½)
  - Permeabilità all'anidride carbonica UNI-EN1062-6 Sd> 25 m
  - Viscosità UNI EN ISO 1431 CF3 8±3 sec.
  - Contenuto solidi in volume 59%
  - Resistenza all'usura UNI-EN 7784-2 ≤50 gr -Taber
  - Resistenza al graffio (ISO 1518): nessuna perforazione;
  - Riflessione UNI EN 410:2000 ≥90 %
  - Fattore di lucentezza (ISO 2813) 60°: ≥ 20;
  - Classe di Resistenza al Fuoco (UNI 8457,9174,9176) classe 1 A
  - Reazione al Fuoco EN 15301-1 B- s1- d0
  - Rilascio Fumi Tossici UNI CEI 11170 classe **F0**
  - Opacità fumi < 100 min<50
  - Resistenza all'irraggiamento U.V. ASTM G53 Elevata

Nel caso la verniciatura sia applicata sulle pareti di gallerie esistenti occorre rimuovere la polvere di smog e le parti incoerenti di vernice a mezzo di idropulitrice come indicato al § 12.11.6.
In generale, a partità di caratteristiche tecniche, si dovrà preferire prodotti ad elevate prestazioni ambientali.

12.9 Criteri di accettazione degli interventi di ripristino delle difettosità

Le soluzioni progettuali per la risoluzione delle numerose difettosità che si possono riscontrare nelle gallerie esistenti sono molteplici e dipendono dal tipo di difetto, dalla sua entità, dalla sua possibile evoluzione nel tempo, dalla presenza di più difetti su una stessa superficie, ecc.
A titolo esemplificativo i difetti che si possono riscontrare nelle gallerie sono:

- Ammaloramento superficiale del rivestimento in calcestruzzo con o senza venute di acqua diffuse o concentrate
- Distacchi e/o ammaloramenti profondi del rivestimento in calcestruzzo con o senza venute di acqua diffuse o concentrate
- Vuoti nel rivestimento anche con cavità al contorno con o senza venute di acqua
- Reticolo fessurativo con cunei potenzialmente instabili concentrati o diffusi in presenza di venute di acqua
- Lesioni persistenti singole o multiple anche aperte e associate a significativi stati tensionali con o senza venute di acqua
- Ammaloramento del copriferro e delle armature con e senza venute di acqua

Conseguentemente i materiali definiti dal progetto e impiegabili per la risoluzione dei difetti indicati sono molteplici anche da applicare congiuntamente in una precisa fasistica individuata a progetto. I criteri di accettazione di detti materiali più comunemente utilizzati sono di seguito riportati.

12.9.1 Ripristini del rivestimento definitivo in presenza di distacchi o forte degrado

12.9.1.1 Ripristini estesi con l'impiego di calcestruzzo proiettato, malte conformi alla norma UNI EN 1504-3, calcestruzzo FRC

Per gli interventi di rifacimento parziale/totale di calotta possono essere impiegabili, quando previsto a progetto, calcestruzzi proiettati anche fibrorinforzati (denominati anche con il termine gunite) avente natura strutturale e non strutturale con le caratteristiche riportate negli elaborati progettuali.
Per la definizione dei criteri di accettazione del calcestruzzo proiettato si rimanda ai contenuti dell'art. 20 di questo capitolato per gli aspetti generali e al § 20.4.5.3.1 per quelli di dettaglio.
Il progetto può anche prevedere l'utilizzo di malte specifiche con aggregati a ridotta granulometria (in genere fino a 4mm) per la ricostituzione, ripristino, ringrosso e/o rinforzo di sezioni in calcestruzzo del rivestimento definitivo da porre in opera sempre a spruzzo. Tali prodotti devono possedere marcatura CE e DoP secondo la UNI EN 1504 parte 3 con sistema di attestazione di conformità di tipo 2+.
ricostituzione, ripristino, ringrosso e/o rinforzo di sezioni in calcestruzzo del rivestimento definitivo. I requisiti per la qualifica ed il controllo di tale miscela sono riportati nell'art. 20 di questo capitolato.

12.9.1.1.1 Rasatura del rivestimento definitivo realizzato in calcestruzzo proiettato

Quando previsto in progetto, la rasatura del ripristino del rivestimento definitivo a mezzo di calcestruzzo proiettato è da realizzarsi mediante applicazione di malta cementizia bicomponente a basso modulo elastico su sottofondo leggermente ruvido e umido, fibrorinforzata, additivata con inibitore di corrosione a base organica, composta da cemento, aggregati selezionati, fibre sintetiche e resine polimeriche.
Il prodotto deve possedere la marcatura CE secondo la UNI EN 1504-3, specifica per la ricostituzione o il ringrosso di sezioni di strutture in calcestruzzo, con sistema di attestazione di conformità di tipo 2+.
Secondo la citata UNI EN 1504-3 la malta deve essere di classe R3 ed avere le seguenti caratteristiche prestazionali:

- Massa volumetrica 2080 kg/m^3;
- Resistenza a compressione > 38 MPa (a 28 gg);
- Resistenza a flessione > 7 MPa (a 28 gg);
- Modulo elastico a compressione 17 GPa (a 28 gg);
- Adesione al supporto > 2 MPa (a 28 gg);
- Adesione al supporto determinata per taglio > 5 MPa (a 28 gg);
- Resistenza alla carbonatazione accelerata: minore del calcestruzzo di riferimento;
- Impermeabilità all'acqua – profondità di penetrazione < 15 mm;
- Reazione al fuoco euroclasse E.

Tale malta si configura come tipo MR2 secondo la classificazione di cui all'art. 22 di questo capitolato speciale a cui si rimanda per la definizione di ulteriori requisiti di accettazione.

12.9.1.2 Ripristini puntuali con malte, betoncini e armature di contrasto

In caso di difettosità del rivestimento il progetto può prevedere degli intervento di ripristino la cui scelta dei materiali dipende dall'entità del degrado il cui principale parametro di valutazione è dato dalla profondità del distacco di calcestruzzo del rivestimento definitivo. I seguenti interventi sono applicabili a difetti superficiali che non comportano problematiche di carattere strutturale:

- *degrado medio con spessore compreso tra 10 e 50 mm*: per tali interventi si prevede l'utilizzo di malte tixotropiche tipo MT2 (per i criteri di accettazione della malta si rimanda integralmente ai contenuti dell'art. 22 di questo capitolato), armatura di contrasto del tipo indicato a progetto di cui al § 12.9.1.3, inghisata con malta epossidica alla struttura esistente e sabbiatura e protezione con materiale passivante delle armature esistenti;
- *degrado profondo con spessore compreso tra 50 e 100 mm*: per tali interventi si prevede l'utilizzo di betoncini ad espansione contrastata tipo B2 o B5 (per i criteri di accettazione della malta si rimanda integralmente ai contenuti dell'art. 22 di questo capitolato), armatura di contrasto del tipo indicato a progetto di cui al § 12.9.1.3, inghisata con malta epossidica alla struttura esistente e sabbiatura e protezione con materiale passivante delle armature esistenti;
- *degrado molto profondo con spessore maggiore di 100 mm*: per tali interventi si prevede l'utilizzo di calcestruzzi tipo SCC realizzati con inerti di granulometria crescente con lo spessore di intervento (per i criteri di accettazione del calcestruzzo si rimanda integralmente ai contenuti dell'art. 20 di questo capitolato), armatura di contrasto del tipo indicato a progetto di cui al § 12.9.1.3, inghisata con malta epossidica alla struttura esistente e sabbiatura e protezione con materiale passivante delle armature esistenti;

Qualora sia necessario il progetto può prevedere, in aggiunta agli interventi di cui sopra, linserimento di armature integrative del tipo indicato al § 12.9.1.3.

Per quanto non trattato in questo paragrafo e per la definizione delle modalità esecutive si rimanda a quanto disciplinato all'art. 22 di questo capitolato speciale e alle tavole di progetto.
Per la risoluzione dei difetti di cui sopra sono vietate le rasature perché possono comportare dei distacchi di materiale.

12.9.1.3 Armature per ripristini

Le eventuali armature per gli interventi di ripristino del rivestimento definitivo di gallerie esistenti di cui ai precedenti §§ 12.9.1.1 e 12.9.1.2 sono specificate negli elaborati progettuali e possono essere costituite da:

- armature metalliche in acciaio del tipo B450 C o inossidabile in barre o reti, le cui caratteristiche sono definite all'art. 24 di questo capitolato a cui si rimanda per la completa definizione dei criteri di accettazione, della qualifica e dei controlli;
- reti leggere metalliche in acciaio inossidabile del tipo 1.4307 e 1.4306 (AISI 304L), 1.4301 (AISI 304) secondo UNI EN 10088 fatte salvo diverse disposizioni progettuali o acciao zincato, del diametro minimo ϕ1.6 mm non strutturale con funzione di presidio corticale aventi le seguenti caratteristiche dimostrate mezzo di certificato di laboratorio autorizzato o certificato 3.1 del produttore:
  - fy tensione snervamento ≥ 425 N/mm^2
  - ft tensione rottura ≥ 572 N/mm^2
  - Allungamento a carico max ≥6%
  - Distacco del nodo: ≥ sez. nom. D maggiore x 450 N/mm^2 x 25%;
- centine in acciaio (zincate a caldo quando a vista), della classe prevista a progetto costituite da profilati IPN, tubolari accoppiati, IPE così come definito negli elaborati di progetto, collegate da catene e solidarizzate all'intradosso di calotta mediante tassellatura chimica o bullonatura. Le catene saranno interrotte in corrispondenza dei giunti strutturali. Le lamiere per la realizzazione di tali centine metalliche, dovranno essere dotate di marcatura CE ai sensi della norma armonizzata UNI EN 10025-1 e rispettare gli elaborati di progetto e le prescrizioni di cui all'art. 25 e 25 bis di questo capitolato speciale a cui si rimanda per la

completa definizione dei criteri di accettazione, della qualifica e dei controlli. Le unioni bullonate dovranno essere di classe non inferiore alla 8.8 e comunque del tipo indicato sugli elaborati grafici di progetto e dovranno essere dotate di marcatura CE ai sensi della norma armonizzata UNI EN 14399-1 e rispettare gli elaborati di progetto e le prescrizioni di cui all'art. 25 e 25 bis di questo capitolato speciale a cui si rimanda per la completa definizione dei criteri di accettazione, della qualifica e dei controlli;

- reti in fibra di vetro (GFRP) che a meno di sistemi con telai autoportanti, saranno tassellate con i medesimi criteri riportati per le reti in acciaio. Le carattetristiche minime di resistenza dovranno essere in accordo a quanto riportato nella UNI EN 13706-2 e a quanto indicato a seguire.
  - Rete
    - Resistenza a trazione longitudinale ≥ 550MPa
    - Resistenza a trazione trasversale ≥ 800MPa
    - Modulo elastico longitudinale > 25GPa
    - Modulo elastico trasversale > 40GPa
  - Telaio autoportante
    - Resistenza a trazione ≥ 600MPa
    - Resistenza a compressione ≥ 400MPa
    - Modulo elastico > 35GPa

  Il materiale dovrà essere di classe di reazione al fuoco B-s1, d0 con obbligo di certificazione di prova al fuoco secondo la norma ISO 9705 "full-scale room test for surface products";
- barre di armatura (GFRP) in resina poliestere termoindurente rinforzata con fibre di vetro a sezione circolare ad aderenza migliorata costituita da una sagomatura elicoidale a rilievo senza l'ausilio di lavorazioni meccaniche che comportino asportazione di materiale con conseguente taglio delle fibre di rinforzo aventi le carattetristiche geometriche e meccaniche di cui alla seguente tabella:

Diametro Tondino (mm)	Area Sezione (mm^2)	Resistenza a trazione Media (MPa)	Resistenza a trazione Caratteristica (MPa)	Tiro resistente a trazione caratteristico (Ton)	Modulo Elastico (GPa)
10	78	≥ 1000	≥ 900	7	> 41
12	113	≥ 900	≥ 900	10	> 41
16	201	≥ 900	≥ 800	16	> 41
22	380	≥ 900	≥ 780	29	> 41
25	490	≥ 900	≥ 730	35	> 41
26	530	≥ 900	≥ 730	38	> 41
30	706	≥ 900	≥ 690	48	> 41
32	804	≥ 900	≥ 670	53	> 41

Le prove a dimostrazione dei requisiti di cui sopra devono essere eseguite secondo il documento CNR DT203/2006 "Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Strutture di Calcestruzzo armato con Barre di Materiale Composito Fibrorinforzato".
Le barre dovranno avere altresì le seguenti ulteriori caratteristiche prestazionali comuni:

Caratteristica prestazionale	Metodo di prova	Valori di riferimento
Contenuto in vetro in peso	ISO11667	≥70%
Tensione tangenziale di aderenza	UNI EN 12504-3	>5 MPa

Resistenza a taglio trasversale	ISO 10406-1	≥ 95 MPa

Per alcuni interventi di non grande estensione il progetto può prevedere l'installazione di reti di protezione qualora sia presente per l'utenza l'esposizione al rischio di caduta di parti ammalorate di calcestruzzo o di detriti. Il presidio dovrà assolvere alla doppia funzione di "filtro" nei confronti dei detriti di taglia più piccola e di sostegno al distacco di blocchi più importati di 5-10 cm di spessore. Le caratteristiche delle reti, individuate di volta in volta negli elaborati progettuali possono essere:

- rete realizzata con una maglia elettrosaldata in acciaio inox AISI 304 – EN 1.4301 con le seguenti caratteristiche:
  - Tensione di snervamento ≥ 300MPa;
  - Tensione di rottura ≥ 600MPa;
  - Modulo elastico = 200GPa

  Tale rete, qualora non fosse reperibile sul mercato potrà essere sostituita con analoga in acciaio zincato. Per evitare l'insorgenza di corrosione galvanica, la sovrapposizione di materiali metallici differenti è possibile solo a mezzo di iterposizione di opportuno isolante;
- reti a fune a filo unico di acciaio ad alta resistenza (f_{pk}≥1770 MPa) intessuto a formare maglie romboidali;
- tessuto in acciaio UHTSS galvanizzato con grammatura del tessuto in acciaio pari a 2200g/m²

12.9.2 Ripristini del rivestimento definitivo in presenza di vespai

Il tipo di intervento e la scelta dei materiali dipendono dall'entità del degrado il cui principale parametro di valutazione è dato dalla profondità del vespaio e dalla presenza di parti dilavate del calcestruzzo del rivestimento definitivo. I seguenti interventi sono applicabili a difetti superficiali che non comportano problematiche di carattere strutturale:

- *vespai superficiali e calcestruzzo dilavato:* i ripristini verranno effettuati con l'utilizzo di malte tipo MT1 (per i criteri di accettazione della malta si rimanda integralmente ai contenuti dell'art. 22 di questo capitolato) fibrorinforzata (per spessori fino a 5-6cm), sabbiatura e protezione con materiale passivante delle eventuali armature esistenti scoperte ed eventuale ripristino dell'armatura esistente fortemente degradata (per i criteri di accettazione di eventuali armature integrative si rimanda integralmente ai contenuti del § 12.9.1.3);
- *vespai medio profondi o profondi*: i ripristini verranno effettuati con l'iniziezione di resine tipo RI (per i criteri di accettazione della malta si rimanda integralmente ai contenuti dell'art. 22 di questo capitolato) di classe R3 o R4 secondo la UNI EN 1504-3, sabbiatura e protezione con materiale passivante delle eventuali armature esistenti scoperte ed eventuale ripristino dell'armatura esistente fortemente degradata (per i criteri di accettazione di eventuali armature integrative si rimanda integralmente ai contenuti § 12.9.1.3);

12.9.3 Ripristini del rivestimento definitivo in presenza di lesioni

Sono disciplinati a seconda dei casi i seguenti interventi:

- *fessure con ampiezza inferiore a 1 mm, non passanti e in assenza di umidità*: si procede con l'utilizzo di malte tixotropiche tipo MR2 (per i criteri di accettazione della malta si rimanda integralmente ai contenuti dell'art. 22 di questo capitolato) previo allargamento superficiale lungo lo sviluppo della fessura con smerigliatrice.
- *fessure senza distacco di calcestruzzo:* si procede con la sigillatura della fessura con adesivo epossidico bicompenente per incollaggi strutturali tipo RT, previo intasamento mediante

esecuzione di fori ed iniezione resina epossidica bicomponente tipo RI e previo allargamento superficiale lungo lo sviluppo della fessura con smerigliatrice (per i criteri di accettazione di resine e adesivi si rimanda integralmente ai contenuti dell'art. 22 di questo capitolato).

- *fessure con distacco di calcestruzzo*: si procede con la sigillatura della fessura con adesivo epossidico bicompenente per incollaggi strutturali tipo RT e malte cementizie polimeriche tipo MT3, previo intasamento mediante esecuzione di fori ed iniezione resina epossidica bicomponente tipo RI e previo allargamento superficiale lungo lo sviluppo della fessura con smerigliatrice (per i criteri di accettazione di malte, resine e adesivi si rimanda integralmente ai contenuti dell'art. 22 di questo capitolato).
- *ripristino dei giunti in caso di venute di acqua*: si procede con iniezioni di resina poliuretanica espansiva tipo RI in fori opportunamente predisposti a quinconce lungo lo sviluppo del giunto e rispristino strutturale di eventuali superfici ammalorate a cavallo del giunto stesso con le modalità indicate al precedente § 12.9.1.2.

Gli interventi di sigillatura delle lesioni, eseguiti con i materiali e le modalità indicate in questo paragrafo, potranno essere integrati da armature secondo le caratteristiche individuate a di cui al § 12.9.1.3 e tasselli chimici di ancoraggio di cui § 12.9.8.

12.9.4 Riempimento vuoti

Si distinguono i seguenti casi in cui i vuoti sono rilevati:

- a tergo del rivestimento definitivo di gallerie esistenti;
- a tergo del rivestimento definitivo in fase di scavo di una nuova galleria (o di un ampliamento di galleria esistente);
- nel rivestimento definitivo distinti per spessori del rivestimento minori o maggiori di 25 cm. Per spessore del rivestimento definitivo esistente inferiore a 25 cm occorre realizzare interventi localizzati di rinforzo e sostegno del rivestimento esistente stesso, da attuarsi mediante installazione di piastre metalliche calandrate in acciaio zincato S355 delle dimensioni individuate a progetto, solidarizzate al getto esistente mediante tassellatura.

12.9.4.1 Miscela di riempimento dei vuoti

Le miscele di riempimento dei vuoti a tergo del rivestimento di gallerie esistenti, se non definite all'interno degli elaborati progettuali, devono essere scelte in funzione del volume e della forma di riempimento, della litologia del terreno, della presenza di acqua libera o di falda e da qualsiasi altro parametro che possa influenzare la buona riuscita delle lavorazioni. In genere si possono avere:

- resine poliuretaniche (mono e bicomponenti) espansive;
- miscele bi-componenti costituite da due sostanze "A" e "B" che, iniettate separatamente, a contatto tra loro formano un gel leggero che raggiunge prontamente una certa consistenza e viscosità. La consistenza varierà in funzione delle diverse quantità "A" e "B" impiegate. Il componente "A" è una miscela composta da materiale solidificante (cemento), bentonite, additivo stabilizzatore ed acqua. Il componente liquido "B" consiste di un additivo acceleratore di indurimento di buone proprietà di aggregazione con il componente "A" e viene iniettato per ultimo.Entrambi i componenti "A" e "B" devono possedere un grado di viscosità sufficientemente basso da consentire il pompaggio su lunghe distanze. La miscela può essere diversamente composta, variando la quantità di particolari materiali, ad esempio acceleratori e stabilizzatori.
- miscela di argilla espansa cementata o calcestruzzi alleggeriti non strutturali con peso di volume comunque inferiore a 11 kN/m^3.

- nel caso di applicazioni che richiedano una maggiore resistenza del conglomerato alleggerito potranno essere utilizzati prodotti conformi alla norma EN 1504-3 per malte di classe R3, massa volumetrica 14 kN/m^3 e resistenze meccaniche (EN 12190) ≥ 4 MPa a 4 ore, ≥ 18 MPa a 24 ore, ≥ 25 MPa a 7 giorni e ≥ 34 MPa a 28 giorni.

Per le modalità esecutive degli interventi si rimanda ai §§ 12.11.7.4.1, 12.11.7.4.3 e 12.11.7.4.4.

Per i riempimenti dei vuoti rilevati in fase di scavo di nuove gallerie o di ampliamento di gallerie esistenti, le modalità di riempimento e le caratteristiche dei calcestruzzi o delle miscele da utilizzare devono essere proposte dall' Appaltatore e approvate dalla Direzione Lavori in funzione della dimensione dei vuoti e dei terreni. In questa fase l'Appaltatore dovrà anche specificare se, compatibilmente con le prescrizioni di progetto, il riempimento sia da eseguire prima, dopo o contestualmente all'esecuzione del rivestimento definitivo. Le modalità di intervento sono disciplinate secondo quanto indicato al § 12.11.7.4.2.

12.9.4.2 Caratteristiche dell'impianto

Le resine e le miscele verranno iniettate nei fori a mezzo di iniettori (packer) dotati di valvola di non ritorno che devono essere fissate alla struttura nei fori precedentemente realizzati. I packer devono essere del tipo e del materiale idoneo per la pressione di esercizio a cui sono sottoposti. Le pompe di iniezione devono essere dotate di regolatore di pressione grazie a pressostati e manometri e datalogger per rilevare e registrare dati di portata, pressione ed assorbimento di ciascun packer. La pressione di esercizio dipende dalle differenti condizioni operative ed è generalmente compresa tra 0,5 e 2 bar. Quando le altezze di pompaggio sono elevate è necessario considerare le perdite di carico. L'impianto deve essere altresì dotato di turbomiscelatore.

12.9.5 Ripristino dell'impermeabilizzazione

L'impermeabilizzazione delle gallerie è generalmente realizzata da una membrana in PVC interposta a due teli TNT e dotata di sistema di compartimentazione, costituita da:

- Giunto di compartimentazione saldato sui teli in PVC, longitudinalmente alla base del sistema di impermeabilizzazione e trasversalmente alla sezione, in modo da isolare elementi di semicalotta di lunghezza definita dalla lunghezza del concio di getto del rivestimento definitivo;
- Tubi microforati disposti in chiave calotta, longitudinalmente alla galleria, per iniezioni di intasamento;
- Tubi reiniettabili per iniezione di resine acquareattive, disposti parallelamente ai giunti di compartimentazione trasversali;
- Cassette di derivazione.

In caso infiltrazioni d'acqua o di comparsa di macchie di umidità di estensione rilevante, il progetto (o la risoluzione di una non conformità) può prevedere interventi atti ad isolare le tratte di calotta interessate dalle infiltrazioni. Si rende così possibile una valutazione delle seguenti contromisure, attuabili in una porzione limitata della calotta.

Attivazione della compartimentazione

Le modalità di intervento sono le seguenti:

- Iniezione di malta di boiacca nei condotti in calotta, in modo da isolare le due semicalotte e circoscrivere la zona effettivamente interessata dalle infiltrazioni;
- Iniezione di resina acquareattiva nei giunti di compartimentazione, al fine di isolare le porzioni di calotta interessate, ed eventualmente sigillare le possibili vie d'afflusso dell'acqua.

Iniezioni di impermeabilizzazione

In caso di venute d'acqua particolarmente consistenti, è possibile procedere alla realizzazione di fori nella calotta, disposti a quinconce, al fine di iniettare in pressione resine reagenti all'acqua e andare così a sigillare le lesioni nell'impermeabilizzazione. Si prevede l'impiego delle stesse tipologie di materiali indicati per l'iniezione nei giunti di compartimentazione.

Nei casi in cui le gallerie sono realizzate con elementi in muratura di mattoni pieni e malta, il progetto può prevedere l'applicazione di appositi prodotti con funzione di barriera idrofobica a base silanica e comunque aventi le caratteristiche indicate negli elaborati progettuali.
L'applicazione di detti prodotti deve essere eseguita in conformità alle specifiche progettuali e della scheda tecnica fornita dal produttore. In generale il progetto potrà prevedere l'esecuzione di fori a quinconce e l'iniezione del prodotto con sistemi manuali o con un sistema di pompaggio dedicato, dopo la pulizia dei fori.

La definizione di dettaglio dei materiali potrà essere fatta in corso d'opera, sulla base delle peculiarità dell'intervento da attuare. La qualifica di tali materiali è da fare con le modalità indicate al § 12.10.10.3.

12.9.6 Drenaggi in calotta

Nell'ambito degli interventi di riqualifica dei rivestimenti esistenti potranno essere previsti dreni perforati in corrispondenza dei giuti piedritto/calotta, calotta/calotta o in aree specifiche opportunamente individuate dal progetto.
Se non diversamente riportato in progetto i dreni saranno realizzati da tubi in PVC microfessurati di diametro ϕ60 mm, lunghezza 3 m (1.5 m cieco ed 1.5 m finestrato) con spessore non inferiore a 4 mm. Onde evitarne l'intasamento, la parte finestrata sarà rivestita con geotessile mentre nella parte cieca sarà predisposto un sacco otturatore di lunghezza 1 m in geotessuto ad alta tenacità al fine di garantire un perfetto riempimento del foro senza dispersione del materiale nell'ammasso a tergo del rivestimento.
Per la completa definizione delle caratteristiche dei dreni perforati si rimanda ai contenuti dell'art. 9 del Capitolo "Norme per l'esecuzione dei lavori" del presente Capitolato Speciale d'Appalto.

12.9.7 Raccolta delle acque di calotta

Quando il progetto prevede l'applicazione di lamiere grecate, per il convogliamento delle acque che interferiscono con il normale utilizzo dell'infrastruttura queste dovranno essere in acciaio inox AISI 304 sp≥0.8 mm o in materiale fibrocomposito saranno fissate all'intradosso della galleria tramite tasselli di lunghezza ≥300 mm ad espansione meccanica o ad ancoraggio chimico. L'interasse e la lunghezza effettiva dei tasselli sarà in ogni caso definita dal Progettista nel rispetto della lunghezza minima sopra indicata. Le lamiere saranno opportunamente distanziate (ca. 10 cm) dal rivestimento definitivo e si interromperanno sui piedritti convogliando le acque su apposite gronde di scolo.

Le lamiere dovranno possere marcatura CE e DoP ai sensi della norma UNI EN 14782 con sistema di attestazione di conformità di tipo 3.
In alternativa alle lamiere in acciaio inox AISI 304 sarà possibile l'impiego di onduline in GFRP.
Dovrà essere in ogni caso garantita la classe di resistenza a fuoco prevista per installazione in galleria.

Il materiale fibrocomposito dovrà essere di classe di reazione al fuoco B-s2, d0 con obbligo di certificazione di prova al fuoco secondo la norma ISO 9705 "full-scale room test for surface products" e possedere le seguenti caratteristiche salvo diverse indicazioni progettuali:

- Spessore minimo 3 mm
- Classe della ondulina in GFRP di grado E17 secondo la norma UNI EN 13706-3

Qualora siano presenti lamiere grecate per la regimentazione delle acque di calotta dovrà inoltre prevedersi l'installazione di un sistema di smaltimento composto da:

- Grondaie: in acciaio inox o in fibra di vetro (GFRP di grado E17 secondo la norma UNI EN 13706-3) di dimensioni minima 15x20 cm salvo diversa indicazione progettuale;
- Pluviali in acciaio inox o in fibra di vetro (GFRP di grado E23 secondo la norma UNI EN 13706-3) del diametro indicato a progetto: L'interasse tra le discenderie non dovrà essere minore di 9 metri e dovrà garantire in ogni caso una portata minima di 20-30 l/s, sufficiente a gestire le acque drenate in galleria. Le discenderie dovranno essere incassate nel piedritto in scassi rettangolari in modo da non costituire ostacolo. Qualora ciò non sia possibile dovranno essere utilizzati tubi in PVC.

12.9.8 Ancoranti su rivestimento definitivo

Per applicazioni su calcestruzzi o murature dei rivestimenti definitivi di gallerie esistenti dovranno essere utilizzati per la sospensione di reti, lamiere grecate, sistemi di smaltimento delle acque, centine etc.. tasselli M12 ad ancoraggio meccanico o chimico del tipo:

- in acciaio inox A4-70 secondo la UNI EN ISO 4762
- acciaio al carbonio, zincato classe 8.8

L'Appaltatore può proporre tasselli diversi purchè sia dimostrata almeno l'equivalenza delle caratteristiche di quelli sopra indicati dal punto di vista meccanico, di protezione contro la corrosione e dell'assenza di correnti galvaniche per accoppiamento di acciaio di diverse caratteristiche.
Per applicazioni particolari tipo le tassellature di centine "appese" (con sviluppo da rene a rene) sono richieste, a carico dell'Appaltatore, 3 prove di accettazione di sfilamento sui tipi di tasselli a perdere con carico di prova pari a 1.5 volte il carico di esercizio dell'intervento definito a progetto e dovrà essere mantenuto per almeno 2 min e carico a rottura. Se anche una sola delle prove eseguite non dovesse essere superata si dovrà consultare il Progettista per valutare e risolvere la problematica nello specifico.

12.10 Documenti di prequalifica

L'Appaltatore deve trasmettere al Direttore dei Lavori per approvazione almeno 15 giorni prima dell'inizio delle attività o dell'acquisto dei materiali, la documentazione elencata nelle seguenti sezioni.
autorizzazione all'inizio dell'esecuzione dei lavori, né saranno accettate eventuali lavorazioni svolte prima dell'approvazione delle modalità esecutive.
Le prove e i certificati di accettazione iniziale della fase di prequalifica sono da ripetere ad ogni cambio fornitore o tipo di materiale a cura ed onere dell'Appaltatore.
I requisiti d'accettazione potranno inoltre essere accertati con ulteriori prove a cura della Direzione Lavori sia in fase di prequalifica (controllo non vincolante per l'autorizzazione), sia in corso d'opera, prelevando il materiale in sito, prima e dopo avere effettuato le lavorazioni.

12.10.1 Scavi con esplosivo

La procedura di lavoro di cui all'art. CG.01.01 della sezione "Condizioni Generali" del presente Capitolato Speciale deve essere integrata, oltre alle informazioni necessarie al rispetto dei contenuti di cui ai §§ 12.2.1 e 12.2.2.1 con:

a) la documentazione amministrativa attestante l'ottenimento delle autorizzazioni relative all'utilizzo dell'esplosivo per le attività di cantiere;
b) la lista del Personale abilitato all'uso dell'esplosivo con l'indicazione dei Capi Squadra dotati di apposita licenza da "Fochino" per sparo elettrico e a miccia.
c) una scheda per ogni tipo di volata che l'Appaltatore intende utilizzare con le relative tratte di applicazione in galleria, con riportati:
   - schema grafico di volata;
   - sfondo previsto;
   - numero di fori, suddiviso per scopo funzionale (rinora, produzione, profilo);
   - diametro dei fori
   - lunghezza dei fori
   - numero e tipologia delle cariche suddivise per scopo funzionale (rinora, produzione, profilo);
   - tipo di detonatori
   - ritardi dei detonatori
   - lunghezza miccia detonante;
   - incidenza di esplosivo per metro cubo di materiale abbattuto, relativamente a cariche di rinora, produzione, profilo;
   - incidenza miccia detonante per metro cubo di materiale abbattuto
   - nominativo del progettista della volata (dotato di apposita licenza da "Fochino" per sparo elettrico e a miccia)
d) la documentazione per la corretta gestione degli impatti acustici e vibrazionali derivanti dalle lavorazioni, per la quale si rimanda alle disposizioni del Capitolato Ambientale; inoltre, si richiama l'obbligo per l'Appaltatore provvedere a un'opportuna campagna informativa della popolazione.

L'accettazione degli schemi di volata e degli eventuali provvedimenti di sicurezza, non comporta una condivisione di responsabilità da parte della Direzione Lavori.

12.10.2 Scavi con mezzi meccanici e per l'allargamento di gallerie esistenti

La procedura di lavoro di cui all'art. CG.01.01 della sezione "Condizioni Generali" del presente Capitolato Speciale deve essere integrata, oltre alle informazioni necessarie al rispetto dei contenuti di cui ai §§ 12.2.1, 12.2.2.2 e 12.2.2.3 con:

- le specifiche tecniche delle attrezzature di scavo impiegate: potenza degli escavatori, energia dei martelloni, certificazione CE dei macchinari, attestazioni di eventuali allestimenti speciali del macchinario (antideflagrante, ecc.)
- Le specifiche adottate per l'assistenza al controllo del profilo di scavo tali da consentire all'operatore di visualizzare, su un monitor a bordo macchina e in tempo reale, la posizione del martellone rispetto al modello tridimensionale delle opere da realizzare

12.10.3 Scavi meccanizzati con TBM

I documenti di qualifica, vista la loro complessità, dovranno essere trasmessi al Direttore dei Lavori per approvazione almeno 60 giorni prima dell'inizio delle attività rispetto ai canonici 15 del presente Capitolato.

La procedura di lavoro di cui all'art. CG.01.01 della sezione "Condizioni Generali" del presente Capitolato Speciale deve essere integrata, oltre alle informazioni necessarie al rispetto dei contenuti di cui al §§ 12.2.1 e 12.2.3 con:

- i principali requisiti della macchina:
  - per il corpo dello scudo:
    - Lunghezza e forma geometrica
    - Irrigidimenti (ovalizzazione, spinte longitudinali)
    - Lubrificazione del mantello
    - Feritoie della ruota di scavo per il passaggio per iniezioni di consolidamento o di sigillatura
    - Camera di scavo
    - Coda dello scudo
  - per il sistema di scavo:
    - Testa o ruota fresante
    - Cuscinetto principale
  - sistema di spinta
  - sistema per la movimentazione e la posa del rivestimento prefabbricato
  - guarnizione di tenuta sul giunto di coda
  - sistema di riempimento a tergo dei conci
  - attrezzature speciali di perforazione e di prospezione del terreno al fronte di avanzamento
  - cabina di comando e controllo TBM
  - Back-up
  - Impianto di ventilazione
  - Sistema di guida e controllo della TBM
- il monitoraggio dei parametri della TBM e sistema di acquisizione e gestione dei dati:
  - testa fresante e camera di scavo
  - EPB
  - Sistema di spinta
  - Sistema di estrazione materiali
  - Sistema iniezioni additivi
  - Sistema iniezione malta
  - Sistema iniezione grasso
  - Registrazione dati PC
- La camera iperbarica
- L'impianto e sistema di regolazione dell'aria compressa

Rispetto alla lista di cui sopra e al preavviso indicato il progetto può prevedere ulteriori o minori requisiti.

12.10.4 Interventi di precontenimento, preconsolidamento e presostegno

Per gli interventi di precontenimento, preconsolidamento e presostegno di cui al § 12.3 si richiede la presentazione da parte dell'Appaltatore di una apposita "Procedura di lavoro", prevista all'art. CG.01.01 della sezione "Condizioni Generali" del presente Capitolato Speciale.
L'Appaltatore, deve altresì trasmettere alla Direzione Lavori per approvazione, un dossier di qualifica contenente:

- Le caratteristiche della miscela o malta che intende adottare conformemente alle caratteristiche di cui al § 12.3.1.2, le schede tecniche di tutti i materiali e le eventuali marcature CE e DoP e le condizioni climatiche limite di utilizzo;

- I certificati di laboratorio eseguiti sulle miscele (massa volumica, decantazione a 24h, fluidità (l'Appaltatore deve definire un range di validità), resistenza a 48h, 7 e 28 giorni) e gli esiti del campo prove di cui al § 12.3.1.2.2;
- La marcatura CE e DoP delle armature tubolari di cui al § 12.3.2.1 che si intendono utilizzare e i certificati di laboratorio ufficiale delle prove di trazione (snervamento fy, rottura ft, allungamento), di resilienza e analisi chimica; attestato di denuncia dell'attività di centro di trasformazione, Certificato UNI EN ISO 9001 del sistema di gestione qualità certificato da parte di un organismo terzo indipendente, Certificato di controllo interno 3.1 di cui alla norma UNI EN 10204 (per le forniture in cantiere);
- Le schede tecniche e i certificati di laboratorio eseguiti sugli elementi in vetroresina delle prove di cui al § 12.3.1.1.1;
- Le caratteristiche del miscelatore e dell'impianto con le pompe di alimentazione del fluido di iniezione e le caratteristiche delle attrezzature di perforazione secondo quanto indicato al § 12.3.4;
- Il pantentino degli operatori per perforatori piccolo-grande diametro che saranno impegnati nelle lavorazioni;

La qualifica sarà da ripetere o integrare qualora cambino uno o più componenti della miscela o delle miscele qualificate.
Per le modalità di qualifica degli interventi di precontenimento mediante trattamenti colonnari (gettiniezione) vale anche quanto indicato all'art. 7 di questo capitolato speciale.
Per le modalità di qualifica del calcestruzzo proiettato degli interventi di precontenimento mediante pretaglio meccanicovale si rimanda a quanto indicato all'art. 20 di questo capitolato speciale.

12.10.5 Interventi di sostegno di prima fase

Per gli interventi di sostegno di prima fase di cui al § 12.4 si richiede la presentazione da parte dell'Appaltatore di una apposita "Procedura di lavoro", prevista all'art. CG.01.01 della sezione "Condizioni Generali" del presente Capitolato Speciale.
L'Appaltatore, deve altresì trasmettere alla Direzione Lavori per approvazione, un dossier di qualifica contenente:

- Per le centine metalliche si rimanda alle specifiche di qualifica di cui agli articoli 24 e 25 di questo capitolato speciale;
- Per il calcestruzzo proiettato si rimanda alle specifiche di qualifica di cui all'articolo 20 di questo capitolato speciale. Per le armature contenute nel calcestruzzo proiettato, se queste non rivestono carattere strutturale ai sensi delle NTC 2018, sono sufficienti i certificati di laboratorio attestanti la qualità dell'acciaio, se invece rivestono carattere strutturali per la qualifica si rimanda ai contenuti degli articoli 24 e 25 di questo capitolato speciale;
- Per i bulloni e i chiodi di ancoraggio si rimanda alle specifiche di qualifica di cui all'articoli 11 di questo capitolato speciale;

12.10.6 Impermeabilizzazione

Per gli interventi di impermeabilizzazione di cui al § 12.5 si richiede la presentazione da parte dell'Appaltatore di una apposita "Procedura di lavoro", prevista all'art. CG.01.01 della sezione "Condizioni Generali" del presente Capitolato Speciale.
L'Appaltatore, deve altresì trasmettere alla Direzione Lavori per approvazione, un dossier di qualifica contenente:

- La marcatura CE e DoP o, in mancanza d'obbligo, le schede tecniche di tutti i componenti costituenti il pacchetto di impermeabilizzazione (per il geotessile non tessuto § 12.5.2.1, per la

membrana impermeabile § 12.5.2.2, il tubo di drenaggio § 12.5.2.3 e per la sigillatura delle risprese di getto § 12.5.2.4 si richiedono i certificati di laboratorio indicati nei § richiamati);
- La certificazione del sistema di controllo della produzione (FPC) e il Certificato UNI EN ISO 9001 del sistema di gestione qualità delle società produttrici dei materiali ove applicabile;
- le qualifiche professionali del personale operativo (i saldatori delle impermeabilizzazioni dovranno essere qualificati da un Ente Terzo riconosciuto secondo la di abilitazione della norma UNI 11333-3)
- nelle lavorazioni in Anti-deflagrante le apparecchiature per il controllo delle temperature e velocità di applicazione dei macchinari impiegati per la termosaldatura, dovranno consentire la registrazione informatica dei dati, al fine di consentirne il riscontro da parte della D.L.

12.10.7 Rivestimento definitivo

Per la qualifica del calcestruzzo e delle armature di cui al § 12.6 si rimanda agli articoli 20 e 24 di questo capitolato speciale.
Per le casseforme si richiede la presentazione da parte dell'Appaltatore di una apposita "Procedura di lavoro", prevista all'art. CG.01.01 della sezione "Condizioni Generali" del presente Capitolato Speciale integrata con le informazioni e le prescrizioni di cui al § 12.6.2 e § 20.12.4.3.
Nel caso di utilizzo di conci prefabbricati e di qualsiasi altro elemento prefabbricato in calcestruzzo occorre riferirsi alla qualifica indicata al § 20.9 di questo capitolato.

Nel caso risulti necessario riempire i vuoti tra l'estradosso del rivestimento ed il profilo dello scavo la miscela bicomponente dovrà essere qualificata nel rispetto dei requisiti di cui al § 12.6.4 allegando gli opportuni certificati di laboratorio a dimostrazione delle proprietà richieste, la marcatura CE e DoP o, in mancanza d'obbligo, le schede tecniche di tutti i componenti costituenti. L'Appaltatore dovrà inoltre presentare da parte dell'Appaltatore di una apposita "Procedura di lavoro", prevista all'art. CG.01.01 della sezione "Condizioni Generali" del presente Capitolato Speciale.

12.10.8 Drenaggi

L'Appaltatore, per gli interventi di drenaggio di cui al § 12.7 deve trasmettere alla Direzione Lavori per approvazione, un dossier di qualifica contenente:
- La marcatura CE e DoP o, in mancanza d'obbligo, le schede tecniche di tutti i componenti costituenti i materiali componenti i drenaggi (geotessile non tessuto, materiale drenante, tubo in cls fessurato). Per il materiale drenante occorre fornire la certificazione di laboratorio attestante la conformità della curva granulometrica secondo la UNI EN 933-1;
- La certificazione del sistema di controllo della produzione (FPC) e il Certificato UNI EN ISO 9001 del sistema di gestione qualità delle società produttrici dei materiali ove applicabile;

Per i drenaggi in avanzamento di captazione delle acque di falda si rimanda ai contenuti di qualifica di cui all'art. 9 di questo capitolato.

12.10.9 Opere di finitura – verniciature gallerie

Per gli interventi di verniciaura di cui al § 12.8 si richiede la presentazione da parte dell'Appaltatore di una apposita "Procedura di lavoro", prevista all'art. CG.01.01 della sezione "Condizioni Generali" del presente Capitolato Speciale.
L'Appaltatore, deve altresì trasmettere alla Direzione Lavori per approvazione, un dossier di qualifica contenente:

- La marcatura CE e DoP o, in mancanza d'obbligo, le schede tecniche di tutti i componenti costituenti le vernici (si richiedono altresì i certificati di laboratorio a dimostrazione delle proprietà indicate nel § 12.8.1);
- La certificazione del sistema di controllo della produzione (FPC) e il Certificato UNI EN ISO 9001 del sistema di gestione qualità delle società produttrici dei materiali ove applicabile;

12.10.10 Interventi di ripristino delle difettosità

12.10.10.1 Ripristini del rivestimento definitivo

Per gli interventi di ripristino del rivestimento definitivo di cui al §§ 12.9.1, 12.9.2 e 12.9.3 si richiede la presentazione da parte dell'Appaltatore di una apposita "Procedura di lavoro", prevista all'art. CG.01.01 della sezione "Condizioni Generali" del presente Capitolato Speciale.
L'Appaltatore, deve altresì trasmettere alla Direzione Lavori per approvazione, un dossier di qualifica contenente:

- Per i getti in calcestruzzo proiettato e il calcestruzzo in genere, quanto disciplinato all'art. 20 di questo capitolato a cui si rimanda;
- Per le armature metalliche, quanto disciplinato all'art. 24 di questo capitolato a cui si rimanda;
- Per le malte e i betoncini, quanto disciplinato all'art. 22 di questo capitolato a cui si rimanda;
- Per tutti gli altri materiali indicati al §§ 12.9.1, 12.9.2 e 12.9.3 nel progetto o che l'Appaltatore intende adottare, la marcatura CE e DoP o, in mancanza d'obbligo, le schede tecniche e i certificati di laboratorio a dimostrazione dei requisiti richiesti;
- La certificazione del sistema di controllo della produzione (FPC) e il Certificato UNI EN ISO 9001 del sistema di gestione qualità delle società produttrici dei materiali ove applicabile. Per le barre e staffe in FRP per uso strutturale tali certificazioni sono da intendersi obbligatorie e la qualificazione dei materiali in FRP ai fini del rilascio del CVT (certificato di valutazione tecnica di cui al § 11.1 punto C delle NTC 2018) deve essere conforme alle modalità indicate dalle "Linee guida per l'identificazione, la qualificazione e l'accettazione di barre e staffe in composito fibrorinforzato per uso strutturale" emanate dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici nel dicembre 2021 ed approvate con Decreto rep. 0000049 del 16.02.2022.

12.10.10.2 Riempimenti vuoti

Per gli interventi di riempimento dei vuoti di cui al § 12.9.4, si richiede la presentazione da parte dell'Appaltatore di una apposita "Procedura di lavoro", prevista all'art. CG.01.01 della sezione "Condizioni Generali" del presente Capitolato Speciale.
L'Appaltatore, deve altresì trasmettere alla Direzione Lavori per approvazione, un dossier di qualifica contenente:

- Le caratteristiche della miscela che si intende adottare conformemente alle caratteristiche del progetto e/o di cui ai § 12.9.4.1, la marcatura CE e DoP o, in mancanza d'obbligo, le schede tecniche di tutti i componenti costituenti la miscela e i certificati di laboratorio a dimostrazione dei requisiti richiesti;
- La certificazione del sistema di controllo della produzione (FPC) e il Certificato UNI EN ISO 9001 del sistema di gestione qualità delle società produttrici dei materiali ove applicabile;
- Il disegno costruttivo dell'intervento con l'indicazione del diametro, posizione e numero dei fori e sequenza di iniezione
- Le caratteristiche dell'impianto di pompaggio cui ai § 12.9.4.2, del miscelatore, dei packer compreso le caratteristiche delle attrezzature di perforazione, e la descrizione del sistema per la registrazione dei dati di portata, pressione ed assorbimento.

12.10.10.3 Ripristino dell'impermeabilizzazione

La qualifica di questi interventi descritti al § 12.9.5 è assimilabile a quella del precedente § 12.10.10.2 (riempimenti vuoti a tergo del rivestimento) a cui si rimanda.

12.10.10.4 Drenaggi in calotta

Per gli interventi di drenaggio in calotta descritti al § 12.9.6 si richiede la presentazione da parte dell'Appaltatore di una apposita "Procedura di lavoro", prevista all'art. CG.01.01 della sezione "Condizioni Generali" del presente Capitolato Speciale che recepisca i contenuti di cui al § 12.11.7.5 inerente le modalità esecutive.
L'Appaltatore, deve altresì trasmettere alla Direzione Lavori per approvazione, un dossier di qualifica contenente:

- La marcatura CE e DoP o, in mancanza d'obbligo, le schede tecniche di tutti i componenti costituenti i materiali componenti i drenaggi di cui al § 12.7 (geotessile non tessuto, tubo in pvc miscrofessurato, resina bicomponente a rapida espansione per la saturazione dello spazio anulare attorno al dreno, resina bicomponente a base epossidica per la sigillatura della corona circolare).
- La certificazione del sistema di controllo della produzione (FPC) e il Certificato UNI EN ISO 9001 del sistema di gestione qualità delle società produttrici dei materiali ove applicabile;
- Il disegno costruttivo dell'intervento con l'indicazione del diametro, posizione e numero dei fori e sequenza di lavorazione;
- Le caratteristiche delle attrezzature di perforazione;
- Il pantentino degli operatori per perforatori piccolo-grande diametro che saranno impegnati nelle lavorazioni;

12.10.10.5 Raccolta delle acque di calotta

Per gli interventi di raccolte delle acque di calotta descritti al § 12.9.7 si richiede la presentazione da parte dell'Appaltatore di una apposita "Procedura di lavoro", prevista all'art. CG.01.01 della sezione "Condizioni Generali" del presente Capitolato Speciale.
L'Appaltatore, deve altresì trasmettere alla Direzione Lavori per approvazione, un dossier di qualifica contenente:

- La marcatura CE e DoP o, in mancanza d'obbligo, le schede tecniche di tutti i componenti costituenti i materiali;
- La certificazione del sistema di controllo della produzione (FPC) e il Certificato UNI EN ISO 9001 del sistema di gestione qualità delle società produttrici dei materiali ove applicabile;
- Il disegno costruttivo dell'intervento con l'indicazione della posizione e del tipo di ancoranti;
- La qualifica degli ancoranti secondo i contenuti del successivo § 12.10.10.6.

12.10.10.6 Ancoranti su rivestimento definitivo

L'Appaltatore, deve trasmettere alla Direzione Lavori per approvazione, un dossier di qualifica contenente:

- La marcatura CE e DoP o, in mancanza d'obbligo, le schede tecniche degli ancoranti proposti in conformità a quanto disciplinato al § 12.9.8.
- L'Esito delle prove di accettazione di sfilamento su tasselli a perdere se richiesto

12.11 Modalità esecutive

12.11.1 Scavi in sotterraneo

12.11.1.1 Scavi in tradizionale

Il progetto individua le più idonee modalità esecutive a cui occorre sempre fare riferimento. Gli scavi potranno essere effettuati in terreni di qualsiasi natura, durezza e consistenza costituiti anche da materiali eterogenei e comunque sciolti.

Lo scavo potrà essere effettuato solo a seguito della messa in sicurezza dell'imbocco della galleria. In generale però l'avanzamento del fronte dello scavo di una galleria con tecnica tradizionale, è conseguito attraverso la seguente successione di azioni elementari:

- preconsolidamento del fronte (per maggiori dettagli vedere il § 12.11.2);
- abbattimento della roccia o del terreno al fronte per una lunghezza del campo di avanzamento pari al valore indicato a progetto. Per scavi con mezzi meccanici si deve procedere a piena sezione per singoli sfondi, secondo lo schema di progetto, sagomando il fronte a forma concava protetto con uno strato di calcestruzzo proiettato;
- sgombero del fronte dall'abbattuto;
- caricamento su mezzi di trasporto del frantumato;
- disgaggio delle pareti e del fronte "freschi di scavo";
- posa in opera dei sostegni di 1° fase (per maggiori dettagli vedere il § 12.11.3)

In funzione della tecnica di abbattimento adottata, l'abbattimento, lo sgombero ed il caricamento possono essere svolti in sequenza o in parallelo, con un grado di contemporaneità più o meno elevato, ma non possono mai essere considerati indipendenti l'uno dall'altro anche quando avvengono senza sovrapposizione temporale a causa delle interferenze generate dalla sovrapposizione degli spazi funzionali e dei rischi connessi alle varie lavorazioni.

Il procedere delle fasi di cui sopra è vincolato al benstare della Direzione Lavori mediante opportuno verbale in contradditorio.

Il progetto disciplina altresì le modalità di messa in sicurezza del fronte scavo in caso di sosta prolungata.

12.11.1.2 Scavi con TBM

Per le specifiche degli scavi con TBM si rimanda agli elaborati progettuali di dettaglio.

12.11.2 Precontenimento e preconsolidamento del fronte e del contorno del cavo con elementi in vetroresina

12.11.2.1 Tracciamento e perforazione

L'Appaltatore, a sua cura e spese, dovrà preliminarmente individuare sul fronte di scavo le posizioni degli elementi in vetroresina del progetto da contrassegnare con marche od altro per renderle facilmente individuabili.

Le perforazioni saranno eseguite a secco tramite sonde a rotazione o rotopercussione ed avranno diametro non inferiore a 100 mm (per tubi di diametro esterno pari a 60mm). Qualora le caratteristiche dei terreni o la presenza dell'acqua lo richiedesse, il foro dovrà essere sostenuto mediante idonee tubazioni durante la perforazione e nelle fasi successive. Il diametro di perforazione adottato dovrà essere quello indicato sugli elaborati grafici di progetto insieme con il numero massimo di perforazioni consecutive che è possibile effettuare prima di inserire gli elementi in vetroresina. Orientativamente si può indicare, in funzione della natura dell'ammasso presente, un numero minimo di 4-5 elementi in vetroresina, dove si riscontrino problemi di stabilità del foro o la possibilità di chiusura dello stesso o dove il particolare contesto obbliga a limitare al massimo il disturbo arrecato con la fase di perforazione, fino ad un massimo di 10-12 elementi in vetroresina

nelle situazioni più favorevoli. Dopo l'inserimento del numero specificato di elementi in vetroresina questi devono essere subito cementati.

12.11.2.2 Posa in opera, cementazione ed eventuali iniezioni da valvole

Il tubo dovrà essere introdotto nel foro mediante apposita attrezzatura; si procederà quindi al suo inghisaggio mediante una miscela cementizia iniettata a bassa pressione tra tubo e pareti del perforo ed all'interno del tubo stesso.
Per quanto concerne i VTR eseguiti al fronte dovranno essere adottati metodi di iniezione che evitino l'utilizzo di tubicini in PVC o Pet o altro materiale plastico; è ammesso il solo utilizzo di elementi in VTR. Questo al fine di poter considerare il materiale proveniente dagli scavi di galleria come "classe merceologica".
Per la cementazione degli elementi in vetroresina, ad eccezione di quelli al fronte, a seconda dell'inclinazione dei fori verso l'alto o verso il basso, si procederà o iniettando dall'interno del tubo facendo rifluire la miscela nell'intercapedine elemento-foro, oppure iniettando da apposito tubetto in Poliolefine di iniezione ubicato a bocca foro e solidale all'elemento in vetroresina nell'intercapedine tubo-foro e rifluimento dall'interno del tubo.L'iniezione si riterrà conclusa quando la densità della miscela cementizia rifluita sarà eguale a quella iniettata.
Nel caso che gli elementi in vetroresina siano valvolati, l'elemento, attrezzato con valvole antiritorno, verrà iniettato con apposito otturatore eseguendo dapprima il riempimento dello spazio anulare tra tubo e foro con una miscela cementizia a bassa resistenza con bentonite, procedendo dall'ultima valvola a fondo foro mediante otturatore e a bassa pressione. L'iniezione dovrà essere proseguita fino a totale riempimento e la valvola di non ritorno dovrà garantire il mantenimento della bassa pressione per il tempo di presa della miscela cementizia. Ottenuto il rifluimento a bocca foro, si attenderà l'inizio delle presa della miscela fino ad un massimo di 24 ore, passando poi all'iniezione valvola per valvola. I quantitativi di miscela da iniettare per ogni valvola saranno verificati con il raggiungimento della pressione limite, che sarà imposta progettualmente. Nel caso di assorbimenti anomali senza il raggiungimento della pressione limite, si interromperà l'iniezione eseguendo il lavaggio del tubo e si eseguirà un'ulteriore passata dopo 8 ore.

12.11.2.3 Presostegno con infilaggi

L'Appaltatore, prima di iniziare le lavorazioni, dovrà a sua cura e spese evidenziare sul fronte la posizione degli infilaggi individuati in progetto con grande precisione perché eventuali difetti nella geometria della sezione tronco-conica realizzata dagli infilaggi si ripercuote sulla posizione delle centine e quindi sulla conformazione dello scavo.
L'introduzione dell'armatura tubolare e l'esecuzione delle iniezioni devono essere iniziate in una fase immediatamente successiva alla perforazione di ciascun infilaggio.
In caso contrario la perforatrice resterà in posizione fino alla successiva ripresa del lavoro e si dovrà provvedere alla pulizia del perforo, subito prima che inizino le operazioni di posa della armatura e d'iniezione.
In ogni caso non dovrà trascorrere più di un'ora tra il termine della perforazione e l'inizio della iniezione. La sequenza delle perforazioni dovrà essere tale da impedire fenomeni di comunicazione tra un foro già eseguito e quello in corso.
Quando la perforazione è eseguita con l'impiego di rivestimento provvisorio, l'infilaggio dell'armatura metallica deve precedere l'estrazione dello stesso rivestimento provvisorio ed essere seguito immediatamente dal riempimento della cavità anulare compresa tra tubo e pareti del perforo.
Al termine della perforazione dovranno essere rimossi i detriti dal foro, avendo cura di non causare, con aria compressa, delle sovrapressioni soprattutto nei casi di basse coperture con manufatti

soprastanti. I detriti dovranno inoltre essere gestiti secondo quanto previsto da normativa vigente, Capitolato Ambientale e Piano di Gestione Terre/Piano di Utilizzo.
L'ordine d'esecuzione degli infilaggi dovrà assicurare la non interferenza delle perforazioni e delle iniezioni con fori in corso di esecuzione o in attesa d'iniezione.
Le fasi della iniezione sono le seguenti, fatte salve diverse prescrizioni che la Direzione Lavori potrà impartire in sede esecutiva:
1. Tubi non valvolati (tubi ciechi)

- riempimento della cavità anulare compresa tra il tubo e le pareti del perforo, ottenuto iniettando con apposito condotto d'iniezione ed otturatore semplice dalla testa del tubo. Trattandosi di perfori posti di norma in posizione orizzontale o inclinati verso l'alto, dovranno essere adottati opportuni accorgimenti (tubetti di sfiato, otturatore sulla bocca del perforo, ecc.) per evitare che la miscela cementizia riempia solo parzialmente la cavità o ne fuoriesca.
- Qualora nel corso delle iniezioni si riscontrassero assorbimenti anomali di miscela rispetto alle indicazioni progettuali, la Direzione Lavori ordinerà l'adozione dei provvedimenti e/o cautele che riterrà più idonei, quali l'iniezione in più fasi e il raggiungimento di una pressione prefissata.
- Al termine delle iniezioni si riempirà anche l'interno del tubo.

2. Tubi valvolati

- riempimento della cavità anulare compresa tra il tubo e le pareti del perforo, ottenuto alimentando con apposito condotto d'iniezione ed otturatore semplice la valvola più lontana. Trattandosi di perfori posti di norma in posizione orizzontale o inclinati verso l'alto, dovranno essere adottati opportuni accorgimenti (tubetti di sfiato, otturatore bocca foro solo per tubi non valvolati, ecc.) per evitare che la miscela cementizia riempia solo parzialmente la cavità o ne fuoriesca;
- lavaggio con acqua dell'interno del tubo;
- avvenuta la presa della miscela precedentemente iniettata, si inietteranno in pressione valvola per valvola volumi di miscela non eccedenti il sestuplo del volume del perforo avendo cura di non superare durante l'iniezione la pressione corrispondente alla fratturazione idraulica del terreno ("claquage");
- avvenuta la presa della malta precedentemente iniettata, si ripeterà l'iniezione in pressione, previo lavaggio con acqua all'interno del tubo, limitatamente alle valvole per le quali:
    1. il volume di miscela iniettato non abbia raggiunto il limite di cui al punto precedente a causa della incipiente fratturazione idraulica del terreno;
    2. le pressioni residue d'iniezione, misurate a bocca foro al raggiungimento del limite volumetrico, non superino 0.7 MPa.

12.11.3 Sostegni di prima fase

12.11.3.1 Centine metalliche

Si prescrive l'adozione di sistemi di messa in opera delle centine che consentano di interdire la presenza del personale al fronte durante le fasi di posa (attraverso l'adozione di apposita pocedura o, in alternativa, adotando una tipologia di "centina sicura"), fermi restando le caratteistiche statiche delle centine, che dovranno essere equivalenti a quelle indicate in progetto, il rispetto dell'interasse dello sfondo e previa autorizzazione della Direzione Lavori.
Tutte le centine dovranno essere attrezzate con attacchi per il montaggio dei distanziatori posti ad interasse non superiore ad un metro. Salvo diverse prescrizioni di progetto, le centine devono essere montate in posizione verticale e collegate con i distanziatori alle centine adiacenti con l'interasse previsto nel progetto; questo dovrà essere integrato, a cura dell'Appaltatore o secondo le indicazioni della Direzione Lavori, per mantenere il cavo in sicurezza in tutte le condizioni in cui ciò si dovesse rendere necessario.

Inoltre, al fine di assicurare l'appoggio e la messa in carico della centina dovranno essere particolarmente curati la realizzazione ed il posizionamento della piastra di appoggio al piede, l'allettamento e la stabilità della superficie d'appoggio e l'aderenza delle centine alla superficie di scavo.
Quando le centine metalliche sottendono l'armatura troncoconica costituita da infilaggi o trattamenti colonnari armati dovranno essere posizionate a contatto delle armature e pertanto dovranno essere calandrate a profilo variabile, anche a gruppi, per assicurare una adeguata trasmissione dei carichi.

Prima del getto del calcestruzzo proiettato dovrà essere verificato il corretto montaggio delle centine.

I vuoti presenti a tergo delle centine dovuti ad irregolarità del profilo di scavo, dovranno essere riempiti con calcestruzzo proiettato o con idonei spessori o cunei di calcestruzzo, di acciaio o di altro materiale idoneo e non degradabile al fine di garantire che le centine stesse aderiscano completamente alle pareti dello scavo.
Quando lo spessore di eventuali vuoti a tergo delle centine supera i 20 cm e la loro estensione è tale da interessare più di una centina, la Direzione Lavori può richiedere che l'Appaltatore, dopo la messa in sicurezza del cavo predisponga, all'estradosso delle centine stesse, un cassero a perdere a delimitazione delle cavità per poi procedere al successivo intasamento mediante appositi tubi predisposti.
Qualora venisse adottata un'armatura centinata reticolare costituita da barre in acciaio elettrosaldate o tralicciate, queste dovranno essere opportunamente sagomate e collegate tra loro mediante distanziatori in acciaio saldati alle barre.
Nel caso di centine "al piede" per il ripristino di rivestimenti esistenti (intero sviluppo di calotta), la parte ricompresa nella zona "bianca" del piedritto, sarà protetta da manufatti in calcestruzzo gettato o proiettato a formare "muri di svio" che evitino punti di singolarità lungo il tracciato della galleria.
Qualora dopo la posa la centina non risulti a contatto, localmente, con il rivestimento esistente a causa di irregolarità dello stesso, l'eventuale gap dovrà essere riempito mediante gunite (malta premiscelata strutturale ad alta resistenza ≥60 MPa a 28 gg) da posare a mano e avendo accortezza di garantire la perfetta messa in contrasto delle centine con il rivestimento in calcestruzzo. L'adesione su calcestruzzo dovrà essere ≥2 MPa mentre la tensione allo sfilamento di barre in acciaio ≥25 MPa.

12.11.3.2 Calcestruzzo proiettato

Per le specifiche delle modalità esecutive si rimanda integralmente alle prescrizioni e disposizioni previste dall'art. 20 del presente Capitolato Speciale.

Si precisa in aggiunta che l'ultimo strato del calcestruzzo proiettato, sul quale sarà applicata l'impermeabilizzazione costituita da una guaina in PVC o TPO bicolore con interposto uno strato di geotessile, dovrà presentarsi regolare e privo di asperità mentre le gabbie modulari, eventualmente presenti devono essere assemblate a pie' d'opera fino ad ottenere un arco autoportante, che sarà posizionato secondo le indicazioni progettuali. Le gabbie potranno prevedere dei giunti di espansione.

12.11.3.3 Bulloni e chiodi di ancoraggio

Per le specifiche delle modalità esecutive si rimanda integralmente alle prescrizioni e disposizioni previste dall'art. 11 del presente Capitolato Speciale.

12.11.4 Impermeabilizzazione

Prima della posa in opera dell'impermeabilizzazione l'Appaltatore dovrà procedere alla preparazione delle pareti comprendente:

1. Captazione acque

Prima del posizionamento del pacchetto impermeabile si dovrà provvedere al posizionamento di tubi e canalette atte alla captazione di venute d'acqua diffuse o puntuali che possano intralciare la regolare stesa del geotessile di compensazione e della guaina in PVC mediante impiego di tubi e/o canalette in materiale termoplastico, da inglobarsi nel rivestimento di prima fase, o teli in PVC appositi per captazione acque. Successivamente questa rete di drenaggio, opportunamente protetta da uno strato di conglomerato cementizio applicato a spruzzo, verrà convogliata all'interno del tubo di drenaggio posto al piede della membrana impermeabile.

2. Preparazione del supporto

La superficie verticale dovrà essere regolarizzata con uno strato di calcestruzzo proiettato o altri prodotti in grado di rendere il più possibile regolare il supporto. Le centine metalliche dovranno essere completamente ricoperte dal calcestruzzo proiettato. Il piano di posa così ottenuto si dovrà presentare liscio, libero da detriti e asperità che possano arrecare danni per punzonamento al manto impermeabile.

3. Controllo delle armature

I ferri dell'armatura dell'arco rovescio e della muretta dovranno essere tenuti distanziati dal manto impermeabile al fine di evitare danneggiamenti occasionali dello stesso.

Per ridurre il rischio di danneggiamento accidentale, l'installazione dell'impermeabilizzazione dovrà essere programmata in modo tale che il rivestimento definitivo venga gettato entro 20 giorni dalla posa dell'impermeabilizzazione stessa. In ogni caso, prima del getto deve essere eseguito un controllo delle sue condizioni e, a cura dell'Appaltatore, dovranno essere eseguite tutte le eventuali riparazioni fino ad arrivare, se richiesto dalla Direzione Lavori alla sua completa sostituzione (di norma un numero di difetti pari o superiore a 5 ogni 200m^2 deve comportare la completa sostituzione dell'impermeabilizzazione).

Il tessuto non tessuto dovrà essere fissato al supporto con rondelle di PVC a rottura controllata nel numero minimo di 4 rondelle al metro quadrato, fissate al supporto con chiodi a sparo muniti di rondelle metalliche.
La resistenza a rottura del disco deve essere inferiore a quello dell'elemento di tenuta, così da garantire che sollecitazioni anomale provochino la rottura della rondella e non del manto impermeabile.

Si procederà alla posa in opera a semi-indipendenza dell'impermeabilizzazione mediante saldatura del manto in PVC o TPO sulle rondelle rispettivamente in PVC o TPO, successivamente alla saldatura dei giunti per termofusione con apposite saldatrici a controllo automatico di velocità, temperatura e pressione, predisposte per effettuare una doppia saldatura senza soluzione di continuità da un estremo all'altro del giunto in modo da permettere la prova di tenuta del giunto ad aria compressa.
In caso di impiego di teli di impermeabilizzazione accoppiati a strati di TNT sul lato di estradosso ed eventualmente anche sul lato in intradosso, la posa dovrà avvenire tramite sistemi ad adesione meccanica su supporti precedentemente installati sul contorno del cavo.

Qualora la sezione tipo di impermeabilizzazione preveda un drenaggio, il manto impermeabile in PVC dovrà essere risvoltato con il sottostante geotessile alla base dei piedritti, in corrispondenza della ripresa di getto muretta-piedritti. Il telo di impermeabilizzazione andrà esteso al di sotto della ripresa di getto, secondo le modalità definite neli elaborati di progetto, per una lunghezza minima pari a 0,50m. Sull'estremità inferiore del telo potrà essere saldato un giunto in PVC-P, analogamente a quanto descritto sopra. All'interno della sacca formata dal risvolto andrà posizionato un tubo di drenaggio con le caratteristiche di cui al § 12.5.2.3.
Agli intervalli previsti dal progetto, il drenaggio al piede andrà collegato, tramite apposite captazioni stagne, agli elementi di raccolta ed allontanamento acque. Le tubazioni in PVC che raccolgono le acque captate dal manto di impermeabilizzazione dalla sacca di drenaggio al piede, per recapitarle all'esterno della galleria, andranno dimensionate secondo le indicazioni di progetto e con le caratteristiche indicate all'art. 17 del Cap. "Norme per l'esecuzione dei lavori" del presente Capitolato Speciale.

L'eventuale sistema di compartimentazione, se previsto dal progetto in funzione delle attese caratteristiche delle falde e delle condizioni idrogeologiche rilevate in corso d'opera, dovrà essere realizzato mediante giunti in PVC-P da applicare, mediante termosaldatura, sulla membrana impermeabile secondo campiture predefinite (concio strutturale) al fine di ripartire la zona impermeabilizzata in settori indipendenti in accordo agli appositi elaborati costruttivi del sistema che comprende giunti di compartimentazione longitudinale e trasversale, dei tubi reiniettabili inseriti in una apposita cassetta di derivazione.

Quando non è previsto il sistema di compartimentazione, occorre prevedere uno strato di protezione in PVC da mm 2 di larghezza minimo 50 cm, da saldare alla membrana in corrispondenza della chiusura frontale del cassero (smorza).

Qualora la sigillatura delle riprese di getto venga realizzata con cordoli idroespansivi questi dovranno essere fissati con chiodatura in acciaio almeno ogni 25 cm alla struttura già gettata che dovrà presentare la superficie di ripresa del getto, preventivamente sottoposta a idropulizia, perfettamente liscia, pulita, esente da impurità, alveoli, nidi di ghiaia, parti staccate o staccabili che possano impedire la regolare espansione ed adesione a tenuta in presenza d'acqua. La giunzione fra due cordoli deve essere effettuata mediante l'accostamento delle estremità per almeno 30 cm.

Il waterstop quando disposto in corrispondenza della smorza di calotta dovrà essere dotato di apposita retina per il fissaggio.

12.11.5 Rivestimento definitivo

L'Appaltatore ha l'obbligo di non eseguire alcun getto prima di aver completato i controlli di cui al § 12.12.1.6 per l'impermeabilizzazione e che l'incaricato della Direzione Lavori abbia autorizzato il getto.
Il rivestimento definitivo dovrà essere eseguito alla distanza dal fronte di scavo indicata in progetto. Le smorze dei casseri dovranno essere rimosse a maturazione avvenuta prima del getto del concio successivo.
Nessuna variazione potrà essere ammessa senza la preventiva autorizzazione della Direzione Lavori.
Dovrà essere particolarmente curata la ripresa con i getti precedenti, la preparazione e la pulitura delle superfici con le quali i getti stessi dovranno venire a contatto. In particolare si dovranno adottare degli accorgimenti tali da evitare assolutamente il formarsi d'incrostazioni cementizie, aventi stabilità precaria soprattutto in corrispondenza dei giunti di ripresa dei getti.

La superficie in vista dei getti di rivestimento dovrà essere perfettamente pulita, liscia, esente da vespai, fessure e da qualsiasi altra imperfezione imputabile ad una non corretta posa in opera, essere resistente alla penetrazione d'acqua secondo la norma UNI EN 12390-8 (detta prova andrà eseguita con la frequenza di una per ogni concio di rivestimento come indicato al § 12.12.2.4), essere regolare e con profilatura secondo i disegni progetto, curata in modo particolare nei tratti in curva.
Il getto armato dell'arco rovescio potrà avvenire entro apposite casseforme che conferiscano al conglomerato cementizio indurito la forma geometrica prevista dal progetto; sulla superficie della cassaforma dovranno essere predisposti appositi fori di sfiato, in numero tale da evitare il formarsi di bolle d'aria all'interno del calcestruzzo.
L'arco rovescio, sia in presenza sia in assenza d'armature, sarà considerato transitabile dai mezzi di cantiere, quando avrà raggiunto un valore di resistenza a compressione > 6 MPa.
In assenza d'armature previa indicazione progettuale o della Direzione Lavori, si dovrà procedere sul piano di posa dell'arco rovescio, alla posa in opera di un telo in geotessile non tessuto in poliestere delle caratteristiche indicate al § 12.7.2. Tale telo deve essere posto in opera sovrapponendo i teli longitudinalmente e trasversalmente per almeno 30 cm.
Eventuali sovrascavi dell'arco rovescio dovranno essere riempiti e risagomati con conglomerato cementizio strutturale avente classe di resistenza > C 20/25; gli oneri per detta lavorazione saranno a totale carico dell'Appaltatore.
Il getto dell'arco rovescio dovrà essere eseguito per campioni alla distanza dal fronte indicata in progetto.
In presenza di particolari fenomeni deformativi la lunghezza dei campioni dovrà essere opportunamente ridotta, secondo le prescrizioni della Direzione Lavori.
Per i getti da eseguirsi in presenza d'acqua, l'Impresa dovrà provvedere, a sua cura e spese, ad attuare adeguati sistemi di captazione e di drenaggio, così come prescritto precedentemente.

12.11.6 Opere di finitura – verniciature gallerie

La tinteggiatura dovrà essere effettuata quando le pareti della galleria sono asciutte, la conformazione del rigo superiore dovrà essere netta e priva di sbavature e tutte le superfici non soggette ad interventi di verniciatura dovranno essere opportunamente protette. Il supporto dovrà essere piano e regolare, eventuali irregolarità della superficie dovranno essere eliminate con stucco epossidico.
Nel caso di applicazioni su supporti già verniciati questi dovranno essere trattati preliminarmente tramite idrolavaggio eseguito con macchinari in grado di sviluppare una idonea pressione che non deve danneggiare le strutture portanti ma deve essere in grado di rimuovere selettivamente il materiale superficiale ammalorato o le parti incoerenti, le fioriture di calcare, i depositi di polvere e lo smog.
La pressione ottimale di lavoro delle idropulitrici, indicativamente pari a 200 bar, deve essere determinato a mezzo di campo prova per le varie configurazioni del supporto da trattare. Il lavaggio sarà eseguito irrorando l'acqua mediante una serie di ugelli montati su rastrelliera posta su braccio meccanico, in modo da lavare in automatico tutta la superficie dei piedritti sulla corsia di lavoro. Il braccio dovrà essere munito di idoneo comando a distanza per evitare danni accidentali e favorire i movimenti.
Il ciclo di pulizia con idropulitrice dovrà prevedere un consumo di acqua limitato e rendere la superficie perfettamente idonee a supportare qualsiasi tipo di vernice. Il materiale di risulta del lavaggio con acqua dovrà essere asportato dalle gallerie e trasportato a discarica.

Si dovranno prendere tutte le necessarie precauzioni per restituire puliti a fine lavori i delineatori stradali, i segnali verticali e gli apparecchi d'illuminazione posizionati in galleria, evitando ogni tipo di danneggiamento, restando l'Appaltatore responsabile d'eventuali danni provocati.
La segnaletica orizzontale e la carreggiata dovranno essere lasciate perfettamente pulite. Non sarà tollerato alcun imbrattamento. Nel caso ciò avvenisse, l'Appaltatore deve provvedere immediatamente a ripristinare i luoghi imbrattati. In ogni caso la Committente, a suo insindacabile giudizio, si riserva di effettuare la pulizia in danno qualora i tempi di ripristino prospettati dall'Appaltatore non siano ritenuti idonei, nonché di esigere il risarcimento di eventuali danni derivanti dalle stesse.

Nelle gallerie dotate delle attrezzature tecnologiche previste dal D.L. n° 264/2006, (recepimento Direttiva Europea 54/2004/CE) e successive modifiche ed integrazioni, queste (telecamere, sonde di temperatura, opacimetri, sensori di monossido di carbonio (CO), rilevatori di fumo, anemometri, picchetti luminosi, porte di accesso alle nicchie SOS, porte e portoni carrai dei by pass, la relativa segnaletica dedicata, cassette idranti, cassette estintori, quadri di comando dei ventilatori, ecc.) dovranno essere protette fino ad un'altezza di m 5,00, per preservarne il loro corretto funzionamento a cura ed onere dell'Appaltatore.
Tale protezione dovrà essere ottenuta tramite l'apposizione sulle apparecchiature stesse di sacchi o teli in plastica di dimensioni adeguate, bloccati con nastro adesivo, in modo tale che durante l'operazione di tinteggiatura dei piedritti, il prodotto che viene spruzzato non comprometta il corretto funzionamento delle apparecchiature.
A tinteggiatura conclusa, le protezioni dovranno essere rimosse ponendo estrema cura per non danneggiare gli apparati.
Qualora, durante le lavorazioni si dovesse riscontrare un danneggiamento alle attrezzature tecnologiche di cui sopra o si dovessero inavvertitamente spostare le telecamere (TVCC) dalla loro posizione, tali circostanze devono essere immediatamente comunicate alla D.L. e da questa alla struttura Impianti competente.

Al termine delle operazioni di tinteggiatura dei piedritti delle gallerie si dovrà procedere alla pulizia delle parti accessorie presenti all'interno della galleria mediante:

- lavaggio con acqua e detergente sia dei delineatori laterali e/o dei catadiottri, sia della segnaletica verticale effettuato mediante attrezzatura montata su autocarro, dotata di braccio meccanico e dispositivo di risciacquo mediante ugelli;
- alla ripulitura con detergente e acqua in pressione della segnaletica orizzontale;
- al ripristino della condizione iniziale degli impianti tecnologici in tutti i loro componenti.

Concluse le operazioni sopradescritte si dovrà procedere alla perfetta pulizia del piano viabile mediante autocisterna munita di barra ad ugelli frontale per lavaggio a pressione, seguita da spazzatrice aspirante.

12.11.7 Interventi di ripristino delle difettosità

Le fasi descrittive dei molteplici interventi di ripristino delle difettosità possono essere molto articolate ed il progetto resta il riferimento principale. Si riportano di seguito le fasi e le modalità esecutive degli interventi più comuni che costituiscono utile esempio per l'Appaltatore per la stesura della "Procedura di lavoro", prevista all'art. CG.01.01 della sezione "Condizioni Generali" del presente Capitolato Speciale richiesta in sede di qualifica di cui al § 12.10.10 e al Direttore dei Lavori per valutarne la completezza.

12.11.7.1 Ripristino del rivestimento definitivo in presenza di distacchi o forte degrado

12.11.7.1.1 Ripristini estesi con l'impiego di calcestruzzo proiettato o malte conformi alla norma UNI EN 1504-3

Le fasi sono descritte nel progetto e generalmente possono consistere in:

- Esecuzione di bullonatura radiale in VTR (secondo quando prescritto all'art. 11 di questo capitolato a cui si rimanda) e iniezioni per il riempimento di vuoti a tergo del rivestimento definitivo (vedere § 12.9.4);
- Fresatura o idromedolizione del rivestimento definitivo ammalorato con rimozione dell'eventuale armatura esistente e dei VTR installati in interferenza con la geometria della fresatura di progetto. Eventuali venute di acqua devono essere captate con tubazioni di drenaggio e portate al piede;
- Eventuale regolarizzazione con calcestruzzo proiettato della superficie fresata, posa in opera delle basi di fissaggio dei golfari per l'armatura del rivestimento;
- Getto dei cordoli di fondazione delle murette previo inghisaggio delle barre di ripresa nella parte di struttura non demolita e realizzazione del cordoncino idroespansivo (vedere § 12.5.2.4);
- Esecuzione del nuovo sistema di impermeabilizzazione (vedere § 12.5). Il telo TNT e la membrana in PVC/TPO dovranno essere installati il più possibile in aderenza al profilo del sottofondo. La presenza di vuoti a tergo del telo o la non adeguata tesatura potrebbe influenzare negativamente l'applicazione del calcestruzzo proiettato con conseguente sfrido;
- Posa delle barre longitudinali per l'aggancio dei tralicci di armatura del nuovo rivestimento definitivo, aggancio dei tralicci alle barre longitudinali e completamento della posa dei tralicci e delle armature addizionali. Qualora vengano impiegate reti per "fogli" le zone di sovrapposizione dovranno essere ≥15 cm. Quando si richiede l'utilizzo di rete di protezione questa dovrà essere ben ancorata al supporto tramite tassellatura meccanica o chimica di lunghezza ≥200 mm. L'interasse e la lunghezza effettiva dei tasselli sarà in ogni caso definita dal Progettista alla luce delle risultanze delle indagini e/o ispezioni, effettuate caso per caso, nel rispetto comunque della lunghezza minima sopra indicata. Il presidio dovrà essere esteso per almeno 30 cm oltre la zona ammalorata. Il presidio dovrà assicurare stabilità e resistenza e conservare nel tempo, sotto l'azione di agenti chimici (anidride carbonica, solfati, ecc.) presenti nell'ambiente, le proprie caratteristiche. L'impiego di reti dovrà avvenire su un calcestruzzo che, per quanto ammalorato, non potrà avere resistenza inferiore a quella corrispondente alla classe C12/15;
- Applicazione del calcestruzzo proiettato. Con basse temperature ambientali, l'accelerante di presa deve essere riscaldato con serpentine elettriche a temperatura di circa 25°C con lo scopo di non richiedere aumenti di dosaggio per la realizzazione del lavoro;
- Eventuale rasatura con malta tipo MR2 (secondo la classificazione di cui all'art. 22 del presente capitolato) da applicare sul nuovo rivestimento definitivo realizzato con calcestruzzo proiettato. L'applicazione della malta dovrà avvenire a cazzuola, spatola o a spruzzo, in uno spessore compreso tra 3 e 10 mm, in una sola mano. Per ulteriori specifiche, per quanto applicabili, si rimanda ai contenuti del § 22.6 di questo capitolato afferente le modalità esecutive dei ripristini degli elementi strutturali in conglomerato cementizio.

12.11.7.1.2 Ripristini puntuali con malte, betoncini e armature di contrasto

Per gli interventi con degrado medio con spessore compreso tra 10 e 50 mm sono da prevedere le seguenti fasi di lavorazione:

- Asportazione del calcestruzzo degradato e/o contaminato (per esempio carbonatato e/o contenente cloruri) da eseguire mediante martelletti leggeri alimentati ad aria compressa o mediante macchine idrodemolitrici, per uno spessore idoneo a consentire la posa dell'armatura di contrasto. Sopo l'asportazione del calcestruzzo la superficie del supporto dovrà essere microscopicamente ruvida con asperità di 5 mm;
- Qualora dovesse essere visibile l'armatura, essa dovrà essere accuratamente pulita e protetta con materiale passivante;
- Posa dell'armatura di contrasto;
- Pulizia e saturazione della superficie di supporto;
- Applicazione della malta per ripristino del rivestimento definitivo, mediante applicazione con macchina intonacatrice (per superfici estese) o manuale a cazzuola (per superfici ridotte di alcuni m^2), utilizzando malte tixotropiche tipo MT2 (vedi art. 22 di questo capitolato) per spessori di intervento fino a 50 mm;
- Stagionatura.

Per gli interventi con degrado profondo con spessore compreso tra 50 e 100 mm sono da prevedere le seguenti fasi di lavorazione:

- Asportazione del calcestruzzo degradato e/o contaminato (per esempio carbonatato e/o contenente cloruri) da eseguire mediante martelletti leggeri alimentati ad aria compressa o preferibilmente, visti gli spessori, mediante macchine idrodemolitrici, per uno spessore idoneo a consentire la posa dell'armatura di contrasto. Sopo l'asportazione del calcestruzzo la superficie del supporto dovrà essere microscopicamente ruvida con asperità di 5 mm;
- Accurata pulizia dell'armatura esistente qualora presente con rimozione della ruggine mediante sabbiatura e trattamento passivante. In caso di armatura fortemente degradata è necessaria la posa di armatura integrativa per il ripristino della sezione originaria;
- Posa dell'armatura di contrasto;
- Pulizia e saturazione della superficie di supporto;
- Colaggio entro cassero (incamiciatura) di betoncini colabili ad espansione contrastata in aria tipo B2 o B5 (vedi art. 22 di questo capitolato), autocompattante e molto scorrevole che può essere colato in cassero e non necessita di vibrazione;
- Stagionatura.

Per gli interventi con degrado molto profondo con spessore maggiore di 100 mm sono da prevedere le seguenti fasi di lavorazione:

- Asportazione del calcestruzzo degradato e/o contaminato (per esempio carbonatato e/o contenente cloruri) da eseguire mediante martelletti leggeri alimentati ad aria compressa o preferibilmente, visti gli spessori, mediante macchine idrodemolitrici, per uno spessore idoneo a consentire la posa dell'armatura di contrasto. Sopo l'asportazione del calcestruzzo la superficie del supporto dovrà essere microscopicamente ruvida con asperità di 5 mm;
- Accurata pulizia dell'armatura esistente qualora presente con rimozione della ruggine mediante sabbiatura e trattamento passivante. In caso di armatura fortemente degradata è necessaria la posa di armatura integrativa per il ripristino della sezione originaria;
- Posa dell'armatura di contrasto;
- Pulizia e saturazione della superficie di supporto;
- Colaggio entro cassero (incamiciatura) di calcestruzzo tipo SCC (vedi art. 20 di questo capitolato) realizzato con inerti di granulometria crescente con lo spessore di intervento;
- Stagionatura.

Qualora sia necessario aggiungere delle armature, queste saranno poste in opera prima della pulizia della superficie di supporto e del posizionamento dell'eventuale rete elettrosaldata di contrasto. Le perforazioni delle strutture necessarie all'inserimento di armatura aggiuntiva dovranno essere realizzate con idonee dime o supporti equivalenti atti a vincolare sia l'inclinazione del roto percussore, che la profondità del perforo della punta. Per ogni armatura aggiuntiva dovrà essere garantito un copriferro di almeno 20 mm.

Per ulteriori informazioni sulle lavorazioni con le malte MT2 e i betoncini si rimanda ai contenuti dell'art. 22 di questo capitolato speciale mentre i calcestruzzi si rimanda all'art. 20.

12.11.7.2 Ripristini del rivestimento definitivo in presenza di vespai superficiali e calcestruzzo dilavato

Per gli interventi in presenza di vespai superficiali e calcestruzzo dilavato, le fasi di intervento sono le seguenti:

1. Ravvivatura delle strutture in calcestruzzo a mezzo di idrosabbiatura a bassa pressione. L'individuazione specifica delle aree da trattare e la loro esatta superficie dovrà essere eseguita in contraddittorio con la Direzione Lavori.
2. Bonifica del calcestruzzo per uno spessore di circa 2cm, fino ad ottenere superfici pulite e sgrassate, macroscopicamente ruvide e con i ferri di armatura eventualmente presenti disossidati (da trattarsi con prodotto passivante per la protezione).
3. Eventuale posa di nuove barre di armatura, in quantitativo e diametro equivalente a quelle rimosse in quanto ammalorate, avendo cura di disporle coerentemente con lo schema strutturale dell'opera.
4. Preparazione delle superfici da ripristinare, secondo le specifiche del prodotto da utilizzare.
5. Ricostruzione della sezione di calcestruzzo, con copriferro come da progetto, con malte tipo MT1 (per ulteriori indicazioni su questo tipo malta si rimanda integralmente ai contenuti dell'art. 22 di questo capitolato) con fibre metalliche (per spessori fino a 5-6cm) messe in opera a spruzzo o rinzaffo.

Per gli interventi in presenza di vespai medio profondi o profondi, le fasi di intervento sono le seguenti:

1. Scalpellatura meccanica delle parti di materiale non coeso nell'area oggetto di intervento. La superficie risultante dovrà essere macroscopicamente ruvida (asperità ≥ 5mm).
2. Rimozione manuale e soffiatura delle polveri o delle porzioni ammalorate di calcestruzzo all'interno delle cavità da riempire.
3. Spazzolatura delle eventuali armature esistenti, al fine di rimuovere la parte ossidata; trattamento delle stesse con prodotto passivante.
4. Eventuale posa di nuove barre di armatura, in quantitativo e diametro equivalente a quelle rimosse in quanto ammalorate, avendo cura di disporle coerentemente con lo schema strutturale dell'opera.
5. Predisposizione dei fori a quinconce per la successiva iniezione delle cavità.
6. Installazione dei tubetti iniettori, sigillatura dei fori con adesivo epossidico, spaglio dello stucco con quarzo.
7. Ricostruzione e regolarizzazione della sezione in calcestruzzo, con impiego di malte con caratteristiche funzione dello spessore da trattare RI (per ulteriori indicazioni su questo tipo resina si rimanda integralmente ai contenuti dell'art. 22 di questo capitolato) di classe R3 o R4 secondo la UNI EN 1504-3;

8. Stagionatura (minimo 25 ore)
9. Iniezione a bassa pressione (<5bar) delle cavità, con resina:
    - Organico-minerale con tempo di reazione modulabile nel caso di cavità ampie e fessure passanti e continue;
    - Resina epossidica superfluida nel caso di cavità ridotte e fessure non continue.
10. Stuccatura dei fori di iniezione.

12.11.7.3 Ripristini del rivestimento definitivo in presenza di lesioni

Per interventi con presenza di fessure con ampiezza inferiore a 1 mm, non passanti e in assenza di umidità, si procede con le seguenti fasi esecutive:

- realizzazione dell'allargamento superficiale con smerigliatrice (profondità circa 15-20mm, spessore circa 2-3mm) per l'intero sviluppo della fessura;
- lavaggio del taglio con acqua in pressione;
- preparazione ed applicazione di malte cementizie tissotropiche bicomponente tipo MR2. La malta viene applicata direttamente a cazzuola, esercitando una buona pressione e compattazione.

Per interventi con presenza di fessure senza distacco di calcestruzzo si procede alla sua sigillatura, previo intasamento della fessura mediante esecuzione di fori e successiva iniezione, secondo le seguenti fasi esecutive:

- realizzazione dell'allargamento superficiale con smerigliatrice (larghezza 20mm, profondità 15-20mm) per l'intero sviluppo della fessura;
- esecuzione dei fori con punte di diametro 8mm lungo tutto l'asse della fessurazione con una inclinazione a 45°, alternati a destra e a sinistra della fessura in modo che intercettino la superficie della fessura stessa;
- pulizia dei fori con aria compressa ed inserimento nei fori di appositi tubetti in pvc o in rame;
- sigillatura dei tubetti applicati e della superficie esterna della fessura con un adesivo epossidico bicomponente per incollaggi strutturali tipo RT;
- dopo circa 24 ore, ad avvenuto indurimento dell'adesivo, si effettuerà nuovamente la pulizia di ciascun tubetto mediante aria compressa verificando, nel contempo, la buona tenuta dei tubetti e della sigillatura esterna;
- si procederà quindi alla iniezione di resina epossidica bicomponente tipo RI, a bassissima viscosità indicata per iniezioni; l'applicazione del materiale avverrà con una pompa ad iniezione pneumatica o manuale tipo SMAAC o equivalente, pompando il prodotto all'interno dei tubicini predisposti. L'iniezione inizierà dal tubicino più basso e continuerà fino alla fuoriuscita del prodotto dal tubicino immediatamente superiore;
- completata l'operazione di iniezione si taglieranno i tubicini al livello del calcestruzzo e si procederà a verificare, ed eventualmente completare, la sigillatura superficiale con un adesivo epossidico bicomponente per incollaggi strutturali tipo RT.

Le seguenti fasi per interventi con presenza di fessura accompagnata da un distacco del calcestruzzo si adottano anche quando si rilevano bolle d'aria (>15mm). L'esecuzione dell'intervento prevede:

- rimozione del calcestruzzo intorno l'area interessata, tramite smerigliatrice o sega;
- rimozione del calcestruzzo danneggiato fino ad una profondità non maggiore di 30mm e rifinitura dell'area di lavoro per eliminare parti allentate e polveri;
- realizzazione dell'allargamento superficiale con smerigliatrice (larghezza 20mm, profondità 15-20mm e in ogni caso fino ai ferri di armatura) per l'intero sviluppo della fessura;

- esecuzione dei fori con punte di diametro 8mm lungo tutto l'asse della fessurazione, con una inclinazione a 45° alternati a destra e a sinistra della fessura in modo che intercettino la superficie della fessura stessa;
- pulizia dei fori con aria compressa ed inserimento nei fori di appositi tubetti in PVC o in rame;
- sigillatura dei tubetti applicati e della superficie esterna della fessura con un adesivo epossidico bicomponente per incollaggi strutturali tipo RT;
- dopo circa 24 ore, ad avvenuto indurimento dell'adesivo, si effettuerà nuovamente la pulizia di ciascun tubetto mediante aria compressa verificando la buona tenuta dei tubetti e della sigillatura esterna;
- si procederà quindi alla iniezione di resina epossidica bicomponente tipo RI, a bassissima viscosità indicata per iniezioni; l'applicazione del materiale avverrà con una pompa ad iniezione pneumatica o manuale tipo SMAAC o equivalente, pompando il prodotto all'interno dei tubicini predisposti. L'iniezione inizierà dal tubicino più basso e continuerà fino alla fuoriuscita del prodotto dal tubicino immediatamente superiore;
- completata l'operazione di iniezione si taglieranno i tubicini al livello del calcestruzzo e si procederà a verificare, ed eventualmente completare, la sigillatura superficiale con un adesivo epossidico bicomponente per incollaggi strutturali tipo RT;
- preparazione preliminare sull'area distaccata con umidificazione della zona (la superficie deve essere bagnata prima dell'applicazione del materiale di ripristino, evitando possibilità di ristagni d'acqua);
- posizionamento della cassaforma (se necessario);
- superficie ripristinata tramite malte cementizie polimeriche tipo MT3. Lo strato più esterno (3mm) può essere eseguito con specifiche malte livellanti.

12.11.7.4 Riempimenti vuoti

12.11.7.4.1 Vuoti a tergo del rivestimento definitivo di gallerie esistenti

Dovranno essere preliminarmente realizzate una o più perforazioni nella parte centrale della tratta di intervento, al fine di procedere alla misurazione diretta dell'altezza delle cavità riscontrate e all'esecuzione di video-ispezione della cavità, per valutare volume, persistenza e continuità dei vuoti presenti e confermare la quantità di miscela necessaria alla saturazione dei vuoti. Laddove possibile è necessario utilizzare tali fori anche per le successive iniezioni diversamente occorre procedere alla loro sigillatura con malta tixotropica.
Poiché le perforazioni propedeutiche all'esecuzione delle iniezioni di intasamento dell'ammasso danneggeranno localmente l'integrità del manto di impermeabilizzazione presente lungo il profilo di scavo, è prevista l'attivazione del sistema di compartimentazione dell'impermeabilizzazione, al fine di isolare le tratte interessate dall'intervento e consentirne l'eventuale trattamento di sigillatura, nel caso si manifestassero chiazze di umidità all'intradosso della galleria.
Lo schema di iniezione prevede l'esecuzione di una serie di 7÷8 perforazioni nella porzione di calotta sottesa da un arco di circa 63°, disposte con passo longitudinale di circa 1,00 m.
Le perforazioni avranno indicativamente un diametro di 16 mm. L'esecuzione delle iniezioni sarà preceduta dall'installazione nelle perforazioni di un packer di idoneo diametro e lunghezza.
Attraverso i packer si procederà all'esecuzione di iniezioni progressive della resina, volte a conseguire il completo riempimento dei vuoti presenti a tergo del rivestimento definitivo delle gallerie.

12.11.7.4.1.1 Procedura operativa

Si individua nel seguito una procedura operativa valida per resine poliuretaniche espansive. Nel caso di utilizzo di miscele differenti l'Appaltatore deve sviluppare una procedura della medesima

completezza. Si precisa che la realizzazione dell'intervento di intasamento dei vuoti presenti nell'ammasso potrà avvenire solo dopo la realizzazione degli interventi di riempimento dei vuoti nel rivestimento eventualmente previsti nella medesima tratta.
Operazioni preliminari:

- Materializzazione delle raggiere e degli assi di perforazione lungo la tratta di calotta oggetto dell'intervento, con passo ed interasse descritto negli elaborati di progetto, con le seguenti raccomandazioni
    - Verifica preliminare del posizionamento delle centine e dei giunti di compartimentazione, da eseguirsi sulla base dei disegni as built e dei risultati delle prove non distruttive, al fine di evitare interferenze con tali strutture;
    - nelle tratte armate, l'esecuzione dei fori dovrà essere preceduta da una scansione pacometrica al fine di evitare il danneggiamento dei ferri;
    - nel caso sia presente il cassero a perdere, tenendo conto dell'estensione longitudinale limitata dei tratti di sovrapposizione degli interventi tipo 2 e 3, si dovrà prevedere una raggiera da 8 fori posizionata immediatamente prima della lastra e una immediatamente dopo; la procedura rimane per il resto invariata.
- Attivazione della compartimentazione dell'impermeabilizzazione nella tratta di interesse.

Le operazioni di iniezione dovranno iniziare lungo gli allineamenti esterni/più bassi come quota e proseguire verso il centro/verso l'alto.
Per ogni asse di iniezione, si dovranno eseguire le seguenti operazioni:

- Perforazione del rivestimento definitivo, del manto di impermeabilizzazione e del rivestimento di prima fase;
- Posizionamento del packer a fondo foro;
- Inserimento dell'asta di iniezione;
- In caso di materiale asciutto, iniettare preliminarmente acqua per agevolare la reazione e l'espansione della resina, nei dosaggi indicati dal produttore per ottenere un'espansione del 8% circa;
- Iniezione a bassa pressione della resina, volume minimo per ogni fase di iniezione da definirsi in funzione dell'esito delle prove preliminari per la qualificazione del prodotto, con registrazione della portata e dell'assorbimento per ciascun packer;
- Interrompere l'iniezione per il tempo necessario a far avvenire la presa;
- Riperforazione del tratto già riempito fino ad incontrare il vuoto o il materiale incassante;
- Ripetere la procedura di iniezione;
- Ripetere le operazioni fino a raggiungere una lunghezza massima del trattamento pari a quanto indicato in progetto.

L'iniezione progressiva proseguirà fino al completo intasamento delle cavità presenti immettendo, nella singola tratta, un volume di resina pari a quello necessario al riempimento dei vuoti stimato in progetto, da confrontarsi con l'esito della misurazione dei vuoti effettuate in chiave calotta e con l'esito delle video ispezioni nei fori. Al termine dell'intervento, si provvederà alla rimozione dei packer e alla sigillatura dei fori con malta tixotropica.

12.11.7.4.2 Vuoti rilevati in fase di scavo

L'Appaltatore al termine dello scavo del campo di avanzamento e della sua messa in sicurezza è tenuto a verificare che il profilo di intradosso coincida con il profilo di progetto; in caso contrario, dovrà procedere alle eventuali ribattiture o al riempimento dei vuoti o delle cavità come di seguito indicato.

Il rilievo eseguito deve essere tale da individuare esattamente il volume, la forma e la posizione del o dei vuoti.
Il progetto di riempimento dovrà essere predisposto e sottoscritto da un progettista iscritto all'albo incaricato dall'Appaltatore, quando i vuoti o le cavità presentassero una superficie superiore a un quarto della sezione di scavo (misurata nel piano della sezione trasversale della galleria) o comunque a giudizio della Direzione Lavori.

Non è ammesso il riempimento dei vuoti o delle cavità contestualmente al getto del rivestimento definitivo quando il loro spessore massimo, misurato nel piano della sezione trasversale della galleria, supera il 50% di quello del rivestimento definitivo stesso.

Si prescrive in ogni caso che dopo la posa delle centine, i vuoti presenti a tergo delle stesse, dovuti ad irregolarità del profilo di scavo, dovranno essere riempiti con conglomerato cementizio lanciato a pressione o con idonei spessori o cunei di calcestruzzo, di acciaio o di altro materiale idoneo e non degradabile al fine di garantire che le centine stesse aderiscano completamente alle pareti dello scavo. Quando lo spessore di eventuali vuoti a tergo delle centine supera i 20 cm e la loro estensione è tale da interessare più di una centina, la Direzione Lavori può richiedere che l'Appaltatore, dopo la messa in sicurezza del cavo predisponga, all'estradosso delle centine stesse, un cassero a perdere a delimitazione delle cavità per poi procedere al successivo intasamento mediante tubi predisposti.

Si prescrive altresì il rispetto delle seguenti indicazioni:

- in primo luogo, dovrà essere eseguito un riempimento parziale con miscele cementizie, pompate e additivate con fluidificanti per favorire il perfetto spandimento della miscela e il riempimento di vuoti anche di piccole dimensioni;
- successivamente sarà eseguito il riempimento di intasamento tramite perforazioni e iniezioni in pressione di miscele cementizie a ritiro compensato. Le iniezioni dovranno essere continuate, per qualsiasi assorbimento, se non altrimenti disposto dal progettista, fino a ottenere il completo rifiuto del foro.

In caso di scavo meccanizzato con TBM le tubazioni di iniezione dovranno essere inglobate o fissate nella parte terminale dello scudo ("coda"), ed interessare ogni singolo anello che fuoriesce dal mantello durante la spinta. Le operazioni di iniezione devono avvenire con continuità mentre il singolo anello fuoriesce dalla coda. I punti d'iniezione dovranno essere in numero adeguato, non meno di 6, più 6 di scorta, equamente distribuiti sulla circonferenza della coda, prevedendo l'installazione di doppie canne per ciascun punto, in modo da averne sempre qualcuna di riserva in caso d'intasamento e quindi il momentaneo non utilizzo di alcune di quelle in uso.

Gli oneri del riempimento ricadranno sull'Appaltatore salvo che nel caso di differenti ed impreviste caratteristiche del terreno o cavità preesistenti di dimensioni superiori a quelle indicate come possibili dai vari documenti di progetto in quanto caratteristiche della formazione o della zona (imprevisto geologico). Quando la cavità si sia formata durante lo scavo a seguito di un fornello o di un rilascio accidentale connesso a responsabilità dell'Appaltatore, rientreranno tra gli oneri dell'Appaltatore stesso anche il consolidamento del terreno o della roccia nelle aree adiacenti e l'eventuale ripristino superficiale.

12.11.7.4.3 Riempimento vuoti nel rivestimento definitivo per spessore del rivestimento definitivo superiore a 25 cm

Per ogni tratta interessata, verranno realizzate almeno due perforazioni ϕ38÷40 mm in calotta, che avranno la funzione di vie di iniezione e di sfiato. Per vuoti di estensione superiore ai 4 m, il numero di fori dovrà essere incrementato, nella misura di almeno una coppia di fori ogni 4 m.
L'esecuzione dei fori e l'installazione dei packer dovranno essere eseguiti con la necessaria cura volta a mantenere l'integrità del manto di impermeabilizzazione presente lungo il profilo di scavo.
L'intervento in prima fase prevede una verifica della pulizia del foro/tubo e l'istallazione del packer meccanico ϕ 38÷40 mm con ghigliottina sul foro; in una seconda perforazione, è prevista l'installazione di un secondo packer, provvisto del tubo di sfiato; linea d'iniezione e tubo di sfiato dovranno essere spinti fino alla posizione più elevata della cavità oggetto di intervento. A seguire si procederà all'esecuzione dell'iniezione e a tal fine si prepara la miscela cementizia d'iniezione con il turbo miscelatore, si travasa nella vasca con agitatore ed infine si inietta con pompa a pistone con una pressione compresa fra 0.7 e 1.3 bar a bocca foro.
Per ciascun foro verrà registrato l'andamento nel tempo dell'assorbimento in funzione della pressione fornendo i due grafici fondamentali per l'interpretazione delle operazioni di intasamento dei vuoti relativi a:

1. portata in l/min in funzione del tempo;
2. pressione in bar in funzione del tempo. Infine, a conclusione dell'iniezione, sarà riportato il valore dei litri totali iniettati e della pressione media di iniezione.

Dovrà essere possibile verificare l'effettivo valore della pressione in sede di iniezione mediante manometro posizionato direttamente sul packer installato in calotta. L'iniezione proseguirà fino al completo intasamento dei vuoti o fino al raggiungimento della pressione massima pari a 1.3 bar. Il pressostato per la regolazione della pressione di iniezione in calotta dovrà avere una sensibilità coerente con i valori di pressione previsti.
Al termine delle iniezioni e verifiche tecniche, si procederà alla rimozione dei packer e alla rifinitura con stuccatura a filo rivestimento dei 6/7 cm di foro ancora libero. La rimozione dei packer meccanici utilizzati durante le iniezioni avverrà dopo almeno due giorni, procedendo poi all'intervento di sigillatura del foro.
Il foro verrà ripulito mediante soffiatura e intasato con posa in opera di malta reoplastica tixotropica fibrorinforzata applicato a cazzuola comprimendola in più passate nel foro e rifinendo la superficie liscia.

12.11.7.4.3.1 Procedura operativa

Sarà adottata la procedura operativa di dettaglio proposta nel seguito, che consente tra l'altro la verifica della tenuta dei giunti e delle riprese di getto presenti nel rivestimento delle gallerie preliminarmente all'intervento:

- materializzazione dei punti di iniezione e sfiato nelle tratte interessate dai vuoti individuati dal georadar, ad interasse massimo di 4.00 m, predisponendo almeno una coppia di punti di iniezione e sfiato per ogni tratta, anche se di estensione inferiore a 4.00 m; nelle tratte di galleria con rivestimento armato in calotta, l'esecuzione dei fori dovrà essere preceduta da una scansione pacometrica al fine di evitare il danneggiamento dei ferri;
- realizzazione dei fori, a carotaggio continuo o mediante fioretto, oltrepassando tutto lo spessore del rivestimento in calotta; alcune perforazioni verranno eseguite a carotaggio continuo, con recupero del campione di calcestruzzo estratto, allo scopo di ottenere una valutazione diretta della qualità e delle caratteristiche di resistenza del rivestimento;
- misurazione diretta dell'altezza della cavità riscontrata, al fine di predisporre la corretta installazione dei packer con la linea di iniezione e il tubo di sfiato;
- esecuzione di video-ispezione della cavità, attraverso le coppie di fori predisposti, per verificare la corretta installazione del manto di impermeabilizzazione, valutare volume,

persistenza e continuità del vuoto presente e confermare la quantità di miscela necessaria alla saturazione del vuoto;

- installazione dei packer meccanici su tutti i fori; i packer dovranno essere dotati di linea di iniezione e sfiato prolungata fino alla posizione più elevata della cavità, atte a garantire l'effettivo completo riempimento della stessa;
- preliminarmente all'iniezione della miscela, saranno eseguite opportune prove di assorbimento mediante l'immissione dai fori predisposti di aria o acqua in pressione, al fine di simulare la procedura d'iniezione, evidenziando l'effettiva comunicazione dei vuoti riscontrati e la tenuta delle riprese di getto interferenti con i vuoti stessi;
- qualora i test preliminari evidenziassero difetti di tenuta, questi potranno essere riparati mediante sigillatura con malta reoplastica tixotropica su tutto lo sviluppo della ripresa di getto interessata, prima di procedere all'iniezione della miscela;
- esecuzione dell'iniezione della miscela con rilevamento della portata, pressione e assorbimento per ciascun packer; l'iniezione verrà eseguita immettendo, nella singola tratta, il volume di miscela stimato in progetto, da confrontarsi con l'esito della misurazione dei vuoti effettuate in chiave calotta e con l'esito delle videoispezioni nei fori; qualora non vi fosse evidenza dell'avvenuto riempimento al raggiungimento del volume stabilito, l'iniezione dello specifico foro verrà interrotta per un tempo dell'ordine delle 12-24 h e successivamente ripresa fino al completo intasamento;
- al termine dell'intervento, si provvederà alla rimozione dei packer e alla sigillatura dei fori con malta tixotropica.

12.11.7.4.4 Riempimento vuoti nel rivestimento definitivo per spessore del rivestimento definitivo inferiore a 25 cm con l'ausilio di cassero a perdere

Nelle tratte in cui si è riscontrato uno spessore ridotto del rivestimento definitivo, al di sotto dei 25 cm, è necessario procedere, preliminarmente all'iniezione, alla realizzazione di interventi localizzati di rinforzo e sostegno del rivestimento esistente, da attuarsi mediante installazione di piastre metalliche calandrate in acciaio zincato S355 di dimensioni e spessore come da progetto, solidarizzate al getto esistente mediante tassellatura, in tratte nelle quali il rivestimento presistente è idoneo a sopportare i carichi.

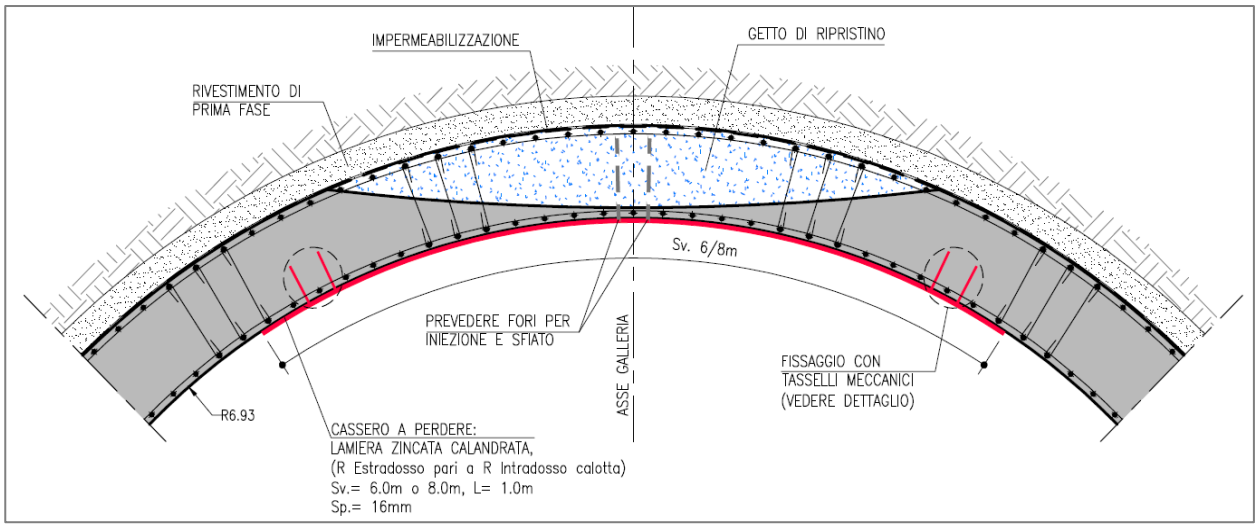
L'applicazione della piastra metallica sarà preceduta dall'esecuzione di una serie di fori esplorativi nel rivestimento di calotta della tratta interessata dall'intervento, finalizzati a valutare la corretta ubicazione dei tasselli meccanici di fissaggio, all'interno della porzione di rivestimento integra e di corretto spessore. L'esito della verifica consentirà inoltre di valutare l'effettiva dimensione della lastra in direzione trasversale.

L'eventuale gap esistente tra profilo di intradosso del rivestimento e superficie superiore della piastra metallica dovrà essere adeguatamente colmato mediante applicazione preliminare di idonea malta di allettamento.

Una volta installata la piastra calandrata, si procederà attraverso i fori opportunamente predisposti all'iniezione della miscela cementizia a bassa pressione come per l'intervento tipo 1, senza rischiare di danneggiare il volume di calcestruzzo al di sotto del vuoto.

L'esecuzione dei fori e l'installazione dei packer dovranno essere eseguiti con la necessaria cura volta a mantenere l'integrità del manto di impermeabilizzazione presente lungo il profilo di scavo.

Si riporta di seguito una sezione tipica di intervento tipo 2.



12.11.7.4.4.1 Procedura operativa

Si procederà ad eseguire le lavorazioni di seguito descritte. Si precisa che, nelle tratte armate, l'esecuzione dei fori dovrà essere preceduta da una scansione pacometrica al fine di evitare il danneggiamento dei ferri.

- Nelle tratte interessate, si eseguirà la materializzazione sul rivestimento definitivo degli allineamenti oggetto di indagine georadar e delle posizioni teoriche dei vuoti (progressive di inizio e fine teoriche del vuoto individuato dall'indagine), in modo da definire l'ingombro massimo del vuoto;
- materializzazione dei punti di iniezione e sfiato, ad interasse massimo di 4.00 m, predisponendo almeno una coppia di punti di iniezione e sfiato per ogni tratta, anche se di estensione inferiore a 4.00 m;
- Realizzazione, mediante fioretto, di uno dei fori, con attraversamento di tutto lo spessore di calcestruzzo e avendo cura di scegliere quello in posizione più centrale, al fine di verificare lo spessore del vuoto e la posizione dell'impermeabilizzazione;
- Realizzazione di fori di verifica, mediante fioretto, in corrispondenza del possibile limite della cavità da riempire, in modo da individuare dove lo spessore del rivestimento definitivo è tale da non lasciare vuoti fra esso e il manto di impermeabilizzazione (i fori non potranno essere a distanza inferiore a 1m);
- Sulla base della verifica di cui sopra, considerando un margine di sicurezza minimo di 0.80÷1.00m, determinazione di lunghezza e numero di pannelli di lamiera calandrata necessari a garantire il rinforzo dello spessore residuo del rivestimento;
- Materializzazione sul rivestimento definitivo della posizione dei tasselli di fissaggio delle lastre e realizzazione dei fori del diametro richiesto in progetto;
- Marcatura sulla lastra dei fori di passaggio in corrispondenza della posizione dei fori di iniezione sul rivestimento definitivo e realizzazione degli stessi a piè d'opera;
- Sollevamento e posizionamento della lastra ed esecuzione della tassellatura, avendo cura di colmare l'eventuale spazio presente tra lamiera e rivestimento di calotta con malta di allettamento;
- Realizzazione degli ulteriori fori di iniezione richiesti e alesaggio quelli già presenti (almeno un foro per vuoto dovrà essere a carotaggio continuo, allo scopo di ottenere una valutazione diretta della qualità e delle caratteristiche di resistenza del rivestimento);
- Misurazione diretta dell'altezza della cavità riscontrata, al fine di predisporre la corretta installazione dei packer;

- Esecuzione di video-ispezione della cavità, attraverso le coppie di fori predisposti, per verificare la corretta installazione del manto di impermeabilizzazione, valutare volume, persistenza e continuità del vuoto presente e confermare la quantità di miscela necessaria alla saturazione del vuoto;
- installazione dei packer meccanici su tutti i fori; i packer dovranno essere dotati di linea di iniezione e sfiato prolungata fino alla posizione più elevata della cavità, atta a garantire l'effettivo completo riempimento della stessa;
- preliminarmente all'iniezione della miscela, saranno eseguite opportune prove di assorbimento mediante l'immissione dai fori predisposti di aria o acqua in pressione, al fine di simulare la procedura d'iniezione, evidenziando l'effettiva comunicazione dei vuoti riscontrati e la tenuta delle riprese di getto interferenti con i vuoti stessi;
- qualora i test preliminari evidenziassero difetti di tenuta, questi potranno essere riparati mediante sigillatura con malta reoplastica tixotropica su tutto lo sviluppo della ripresa di getto interessata, prima di procedere all'iniezione della miscela;
- esecuzione dell'iniezione della miscela con rilevamento della portata, pressione e assorbimento per ciascun packer; l'iniezione verrà eseguita immettendo, nella singola tratta, il volume di miscela stimato in progetto, da confrontarsi con l'esito della misurazione dei vuoti effettuate in chiave calotta e con l'esito delle videoispezioni nei fori; qualora non vi fosse evidenza dell'avvenuto riempimento al raggiungimento del volume stabilito, l'iniezione dello specifico foro verrà interrotta per un tempo dell'ordine delle 12-24 h e successivamente ripresa fino al completo intasamento;
- al termine dell'intervento, si provvederà alla rimozione dei packer e alla sigillatura dei fori con malta tixotropica (inclusi eventuali fori esplorativi che non fossero stati colmati dalla miscela iniettata nel vuoto).

12.11.7.5 Drenaggi in calotta

Si procederà alla posa dei dreni di cu al § 12.9.6 previa perforazione ϕ100 mm che dovrà avvenire per rotopercussione, ricorrendo all'ausilio di un eventuale rivestimento provvisorio che garantisca il sostegno delle pareti del foro in caso di necessità. Il foro sarà poi pulito con acqua o con aria laddove l'acqua possa provocare l'erosione delle pareti. Nel caso di utilizzo di rivestimento provvisorio del foro si procederà prima alla posa della tubazione e successivamente all'estrazione del rivestimento.

Una volta iniettato il sacco sino alla saturazione di tutto lo spazio anulare attorno al dreno mediante resina bicomponente a rapida espansione attraverso un tubo di piccolo diametro (10-15 mm) e dopo centinverifica ed autorizzazione della DL, si procederà alla cianfrinatura (sigillatura della corona circolare tra il foro ed il dreno) mediante resina bicomponente a base epossidica. centine

12.12 Controlli in corso d'opera e tolleranze

12.12.1 Controlli a cura dell'Appaltatore

12.12.1.1 Scavi in sotterraneo

Durante lo scavo di una galleria deve essere sempre eseguito un monitoraggio con lo scopo di:

- verificare la validità delle previsioni progettuali attraverso un confronto sistematico, in corso d'opera, tra le stesse previsioni e le prestazioni/comportamento del terreno nell'intorno della galleria e delle strutture di rivestimento;
- assicurare che l'opera sia in grado di esplicare le sue funzioni nel tempo, risultando idonea all'esercizio, resistente e stabile senza riduzioni significative della sua integrità o necessità di interventi di manutenzione straordinari.

- verificare che lo stato di sollecitazione del rivestimento rimanga entro i limiti fissati dal progetto anche nella fase di esercizio.

Queste verifiche vengono eseguite dalla Direzione Lavori insieme ai progettisti sulla base dei dati forniti dall'Appaltatore. Quest'ultimo è comunque tenuto all'esame dei risultati sulla base della sua esperienza in modo da essere in grado di individuare per tempo eventuali situazioni potenzialmente pericolose e porvi rimedio.
Il sistema di monitoraggio deve essere installato e gestito secondo le indicazioni dei progettisti e in accordo con le specifiche riportate all'art. 13 di questo capitolato speciale, che devono intendersi integrative alle eventuali specifiche particolari riportate dal progetto.

In ogni modo si elencano di seguito i controlli minimi in capo all'Appaltatore:

- verificare la funzionalità e l'idoneità dei mezzi di scavo e di tutte le attrezzature tecniche da impiegarsi nelle varie fasi di scavo, anche rispetto alle indicazioni progettuali ed alle geometrie dello scavo da effettuare;
- controllo della corretta applicazione della metodologia operativa di scavo prevista in progetto;
- Verifica attività di consolidamento e sostegno previste in progetto, in relazione alla litologia e al comportamento dell'ammasso atteso in seguito allo scavo;
- verifica dell'esecuzione del sistema di monitoraggio in continuo delle convergenze, spostamenti orizzontali, spostamenti verticali, spostamenti longitudinali (rispetto all'asse della galleria), velocità di convergenza (mm/giorno) (il cui contenuto di dettaglio del monitoraggio è oggetto di report a parte secondo i contenuti dell'art. 13 di questo capitolato speciale);
- determinazione speditiva delle caratteristiche del terreno e delle giaciture, attraverso l'ispezione di ogni fronte scavo;
- verifica rispetto al PE delle caratteristiche dei terreni al fronte con rilievo analitico, attraverso il prelievo di campioni e l'esecuzione di prove presso laboratori qualificati. Tale tipologia di controllo è richiesta:
    1. ogni volta che l'esame per via speditiva non sia possibile o comunque comporti dubbi o possibilità di errori di classificazione;
    2. ogni volta che si verifichi un cambiamento litologico del fronte di scavo o, comunque, ogni 50 ÷ 70 m di avanzamento del fronte di scavo.
- ad ogni fronte scavo, verifica speditiva della classificazione del materiale di risulta dello scavo e della identificazione del camion utilizzato per il trasporto a deposito con cartelli segnaletici di colore diverso da concordare con la DL;
- indicazione della destinazione del materiale di risulta degli scavi;
- prima di ogni sfondo rilevo topografico per la verifica della corretta geometria e regolarità della sezione di scavo e della linea d'asse;
- ad ogni campo di avanzamento confronto tra litologia/comportamento allo scavo e indicazioni progettuali relative alle tratte di applicazione delle varie sezioni tipo;
- ad ogni campo di avanzamento verifica del completamento degli interventi di stabilizzazione previsti;
- ad ogni situazione significativa controllo delle vibrazioni nei punti individuati e rispetto dei limiti previsti
- dopo ogni sfondo verifica della presenza di porzioni d'ammasso isolate o disarticolate; laddove tale eventualità sia manifesta, l'Appaltatore procederà al disgaggio di blocchi;
- verifica dell'integrità degli interventi di stabilizzazione posti in opera in prossimità della sezione scavata, evidenziando l'eventuale presenza di lesioni e/o distacchi;

- registrazione di ogni venuta d'acqua con misura della portata e prelievo di campioni sui quali dovranno essere condotte le prove di laboratorio, finalizzate ad accertarne l'eventuale aggressività;
- verifica della corretta installazione e certificazione di tutti gli impianti elettrici e le postazioni fisse e mobili presenti.

Le verifica di cui sopra devono essere trasmesse alla Direzione Lavorazioni per accettazione.

12.12.1.1.1 Controlli specifici per lo scavo con esplosivo

L'Appaltatore è tenuto a documentare in apposito report l'esito delle seguenti verifiche eseguite su ogni singola volata da trasmettere alla Direzione Lavori:

- Prima di ogni volata: controllo che il personale impegnato sia quello autorizzato e abilitato all'uso di esplosivo, controllo della corretta applicazione dello schema di volata, del n., diametro e lunghezza dei fori, numero e tipologia delle cariche, tipo e ritardi dei detonatori, lunghezza della miccia detonante;
- Al termine di ogni volata: incidenza di esplosivo per metro cubo di materiale abbattuto, delle eventuali variazioni apportate allo schema di volata presentato, incidenza miccia detonante per metro cubo di materiale abbattuto, eventuali effetti anomali sullo scavo, come cavità, rilasci e fuori sagoma.

Le verifica di cui sopra devono essere trasmesse alla Direzione Lavorazioni per accettazione.

12.12.1.1.2 Controlli specifici per lo scavo con TBM

I controlli in avanzamento di scavi con macchina TBM sono definiti nello specifico progetto in base all'ambiente in cui si inserisce l'opera, alle geometrie e alle caratteriatiche specifiche della macchina.

12.12.1.2 Precontenimento e preconsolidamento del fronte e del contorno del cavo con elementi in vetroresina

Ogni trattamento di precontenimento e/o preconsolidamento che l'Appaltatore eseguirà secondo il presente Capitolato Speciale e in accordo con le proprie procedure operative di qualità, precedentemente trasmesse alla Direzione Lavori prima dell'inizio delle attività, sarà documentato mediante compilazione dei Piani di Controllo Qualità (lavori e ambiente), in contraddittorio, laddove previsto, fra la Direzione Lavori e l'Appaltatore, che dovranno riportare:

- numero del foro iniettato (identificando lo schema del progetto)
- data inizio iniezione
- data fine iniezione
- attrezzatura di perforazione
- modalità di esecuzione della perforazione
- diametro e lunghezza perforazione
- lunghezza del tratto eventualmente rivestito
- caratteristiche dell'elemento in vetroresina
- attrezzatura per l'iniezione
- modalità iniezione
- quantità di miscela di guaina iniettata

Per ogni valvola:

- pressione apertura;
- quantità miscela iniettata;
- pressioni raggiunte;

- tipo e caratteristiche miscela utilizzata (composizione, massa volumica, viscosità Marsh, decantazione, dati identificativi provini prelevati);
- eventuali anomalie riscontrate durante l'iniezione
- eventuali non conformità riscontrate
- eventuali azioni correttive intraprese
- eventuali osservazioni.

Per quanto riguarda i controlli ambientali, si rimanda agli specifici Piani di Controllo e agli adempimenti da Capitolato Ambientale.

12.12.1.3 Presostegno con infilaggi

L'esecuzione d'ogni singolo infilaggio sarà documentata mediante la compilazione da parte dell'Appaltatore dei Piani di Controllo qualità (lavori e ambiente), in contraddittorio, laddove previsto, con la Direzione Lavori, riportanti i dati seguenti:
- identificazione dell'infilaggio;
- data d'inizio infilaggio e termine dello stesso;
- attrezzatura impiegata per la perforazione e la posa delle armature;
- modalità di esecuzione delle perforazioni;
- diametro e lunghezza della perforazione;
- interasse della perforazione;
- lunghezza del tratto armato;
- attrezzatura impiegata per l'iniezione;
- modalità di esecuzione iniezione;
- pressione di iniezione;
- quantità miscela iniettata;
- eventuali anomalie riscontrate durante l'iniezione;
- eventuali non conformità riscontrate;
- eventuali azioni correttive intraprese;
- eventuali osservazioni.

Per quanto riguarda i controlli ambientali, si rimanda agli specifici Piani di Controllo e agli adempimenti da Capitolato Ambientale.
Per le modalità di controllo degli interventi di precontenimento mediante trattamenti colonnari (gettiniezione) vale quanto indicato all'art. 7 di questo capitolato speciale.

12.12.1.4 Miscele cementizie di iniezione

Ogni giorno, preliminarmente alla prima operazione di iniezione, l'Appaltatore dovrà verificare la rispondenza delle caratteristiche delle miscele o delle malte ai documenti di qualifica a mezzo del proprio laboratorio di cantiere. Quando la miscela è conforme l'Appaltatore condivide il report o il certificato e chiama la Direzione Lavori che con il proprio laboratorio eseguirà le seguenti prove di cui al § 12.12.2.1.3.

12.12.1.5 Sostegni di prima fase

Per le centine metaliche, durante l'esecuzione l'Appaltatore dovrà redigere e mantenere aggiornato giornalmente un registro, da trasmettere settimanalmente alla Direzione Lavori, nel quale indicare:
- tipo, quantità e progressiva dei sostegni installati:
- eventuali anomalie riscontrate durante la posa in opera;
- controllo del profilo trasversale della galleria dopo la posa dei sostegni di prima fase;

- verifica delle deformazioni o lesioni anomale nei sostegni che dovranno essere immediatamente comunicate alla Direzione Lavori.

L'Appaltatore è altresì tenuto ad eseguire i controlli indicati all'art. 25 di questo capitolato speciale.

Per i controlli afferenti i lavori dei bulloni e dei chiodi di ancoraggio si rimanda ai contenuti dell'art 11 di questo capitolato.

12.12.1.6 Impermeabilizzazione

La posa in opera dell'impermeabilizzazione può essere eseguita solo dopo che siano stati eseguiti, a cura dell'Appaltatore ed in contraddittorio con la Direzione Lavori, i seguenti controlli in coerenza con il PCQ (fase vincolante):

- deve essere verificato che il profilo di intradosso del rivestimento di prima fase sia conforme al progetto e garantisca la possibilità di gettare il rivestimento definitivo senza sottospessori. A tal fine deve essere eseguito un rilievo con una frequenza di una sezione ogni due centine, se previste, o ogni 2 m. Per tale operazione devono essere utilizzati metodi topografici tradizionali o automatici.
- deve essere verificato che il gradiente di sviluppo delle convergenze sia in diminuzione e abbia raggiunto valori inferiori a 0.5 mm/g. A tale proposito si precisa che, su richiesta della Direzione Lavori o se previsto in progetto, il sistema di monitoraggio delle convergenze dovrà essere ripristinato, a cura dell'Appaltatore, dopo l'installazione dell'impermeabilizzazione.

Inoltre deve essere verificata la tenuta dei giunti con aria alla pressione di 1,0 bar; l'eventuale perdita di pressione dopo 15÷20 min non dovrà superare 0,2 bar. Le prove di tenuta dei giunti dovranno essere effettuate in ragione di almeno una prova ogni dieci giunti o frazione di dieci e ciascuna prova dovrà essere verbalizzata. Nel caso che qualche prova dia esito negativo, l'Appaltatore dovrà provvedere, a sua cura e spese, al rifacimento delle saldature difettose, eventualmente anche con sostituzione delle guaine compromesse, mentre la Direzione Lavori potrà ordinare che siano sottoposti a prove tutti i giunti senza che per questo l'Appaltatore stessa possa reclamare alcun compenso.
La documentazione relativa a tali controlli deve essere consegnata alla DL prima dell'inizio della posa.

12.12.1.7 Rivestimento definitivo

L'Appaltatore è tenuto a verificare ad ogni utilizzo lo stato di conservazione di tutte le casseforme e sostituire gli elementi non più idonei a garantire gli standard di qualità richiesti.
Per gli ulteriori controlli si rimanda ai contenuti degli artt. 20 e 24 di questo capitolato.

12.12.1.8 Spessore di rivestimento e vuoti

L'Appaltatore procede a sua cura e spese, anche ad opera ultimata ed anche con metodi non distruttivi, alla verifica dei prescritti spessori di rivestimento e dell'eventuale presenza di vuoti all'estradosso dei rivestimenti. In caso di presenza di vuoti a tergo dell'estradosso del rivestimento definitivo, l'Appaltatore, a sua cura e spese, dovrà colmare detti vuoti mediante iniezioni a pressione di malte di cemento e sabbia additivate con espansivo delle caratteristiche di cui al §12.9.4, previa esecuzione nel rispetto delle modalità esecutive di cui al § 12.11.7.4.

12.12.1.9 Drenaggi

L'Appaltatore è tenuto a documentare in apposito report l'esito delle seguenti verifiche eseguite su ogni singolo dreno da trasmettere alla Direzione Lavori:

- rispondenza dei documenti di trasporto delle forniture all'arrivo in cantiere con le caratteristiche per lo specifico impiego previsto a progetto e alla qualifica approvata dal Direttore dei Lavori;
- per i drenaggi in avanzamento:
    - data di inizio perforazione e termine dell'iniezione;
    - diametro e profondità effettiva raggiunta dalla perforazione.

12.12.1.10 Opere di finitura – verniciature gallerie

L'Appaltatore è tenuto a documentare in apposito report l'esito delle seguenti verifiche eseguite su ogni singolo intervento da trasmettere alla Direzione Lavori:

- rispondenza dei documenti di trasporto delle forniture all'arrivo in cantiere con le caratteristiche per lo specifico impiego previsto a progetto e alla qualifica approvata dal Direttore dei Lavori;
- verifica della regolarità della superficie di applicazione (anche eventualmente dopo l'utilizzo di idropulitrice);
- verifica della uniformità della vernice ad applicazione ultimata

12.12.1.11 Rasatura del rivestimento definitivo realizzato in calcestruzzo proiettato

Per i controlli in capo all'Appaltatore, si rimanda ai contenuti del § 22.7 di questo capitolato afferente i sistemi protettivi per strutture in conglomerato cementizio.

12.12.1.12 Riempimento vuoti

L'Appaltatore è tenuto a documentare in apposito report l'esito delle seguenti verifiche eseguite su ogni singolo intervento da trasmettere alla Direzione Lavori:

- rispondenza dei documenti di trasporto delle forniture all'arrivo in cantiere con le caratteristiche per lo specifico impiego previsto a progetto e alla qualifica approvata dal Direttore dei Lavori;
- Volumi e pressioni di iniezione nelle diverse fasi e i tempi di esecuzione;
- Verifica finale tra i volumi attesi e i volumi consuntivati. Analisi delle eventuali differenze e proposte di eventuali indagini integrative per la verifica dell'efficacia dell'intervento
- condizioni impreviste, difficoltà operative etc. quando si manifestano

Nel caso di utilizzo di miscele cementizie e non di prodotti già preconfezionati, ogni giorno, preliminarmente alla prima operazione di iniezione, l'Appaltatore dovrà verificare la rispondenza delle caratteristiche delle miscele o delle malte ai documenti di qualifica a mezzo del proprio laboratorio di cantiere. Quando la miscela è conforme l'Appaltatore condivide il report o il certificato e chiama la Direzione Lavori che con il proprio laboratorio eseguirà le seguenti prove di cui al § 12.12.2.1.3.

12.12.1.13 Intervento di ripristino dell'impermeabilizzazione

I controlli in capo all'Appaltatore di questi interventi sono assimilabili a quelli del precedente § 12.12.1.12 (riempimenti vuoti) a cui si rimanda.

12.12.1.14 Drenaggi in calotta

I controlli in capo all'Appaltatore di questi interventi sono assimilabili a quelli del precedente § 12.12.1.9 (drenaggi) a cui si rimanda.

12.12.1.15 Raccolta delle acque di calotta

L'Appaltatore è tenuto a documentare in apposito report l'esito delle seguenti verifiche da trasmettere alla Direzione Lavori:

- rispondenza dei documenti di trasporto delle forniture all'arrivo in cantiere con le caratteristiche per lo specifico impiego previsto a progetto e alla qualifica approvata dal Direttore dei Lavori;
- corretto montaggio delle lamiere secondo i disegni di progetto e/o costruttivi;
- corretta posa e collegamento dei pluviali e canaline di scolo;
- controlli sugli ancoranti secondo quanto disciplinato al § 12.12.1.16.

12.12.1.16 Ancoranti su rivestimento definitivo

L'Appaltatore è tenuto a documentare in apposito report l'esito delle seguenti verifiche da trasmettere alla Direzione Lavori:

- rispondenza dei documenti di trasporto delle forniture all'arrivo in cantiere con le caratteristiche per lo specifico impiego previsto a progetto e alla qualifica approvata dal Direttore dei Lavori;
- corretta esecuzione dei fori;
- corretta posa degli ancoranti.

12.12.2 Controlli a cura della Direzione Lavori

I seguenti controlli di accettazione in cantiere devono essere eseguiti, in contraddittorio e con l'assistenza dell'Appaltatore.

12.12.2.1 Precontenimento e preconsolidamento del fronte e del contorno del cavo con elementi in vetroresina (di cui al § 12.3)

12.12.2.1.1 Controlli sugli elementi in vetroresina

La Direzione Lavori procederà all'esecuzione di prelievi finalizzati all'esecuzione delle prove di cui al § 12.3.1.1.1 con frequenza pari 3 prove ogni 30 ton o frazione di tubi posati provenienti dallo stesse fornitore.

12.12.2.1.2 Controlli delle armature in acciaio

La Direzione Lavori procederà all'esecuzione di prelievi finalizzati all'esecuzione di:

- prove dimensionali di spessore, lunghezza, larghezza e massa secondo la UNI EN 10210-2 per acciai di cui alla UNI EN 10210-1: si riterranno conformi le lamiere con tolleranza di cui ai prospetti 2, 3 e 4 della UNI EN 10210-2;
- prove di trazione (snervamento fy, rottura ft, allungamento) secondo la norma UNI EN ISO 6892-1. Si riterranno conformi elementi rispondenti ai limiti del prospetto A.3 o B.3 della norma UNI EN 10210-1 per profilati cavi finiti a caldo di acciai non legati e a grano fine;
- prove di resilienza su provetta Charpy secondo la norma UNI EN ISO 148-1. Si riterranno conformi elementi rispondenti ai limiti del prospetto A.3 o B.3 della norma UNI EN 10210-1 per profilati cavi finiti a caldo di acciai non legati e a grano fine;
- analisi chimica secondo UNI EN 10315, UNI EN ISO 15350 o al CR 10320. Si riterranno conformi elementi rispondenti ai limiti del prospetto 1 della norma UNI EN 10210-1 per profilati cavi finiti a caldo di acciai non legati e a grano fine.

Dovranno essere eseguite n. 3 prove ogni 90 tonnellate di materiale giunto in cantiere e comunque mai meno di n. 3 prove per ogni wbs.

12.12.2.1.3 Controlli sulle miscele cementizie di iniezione

Ogni giorno, la Direzione Lavori che con il proprio laboratorio eseguirà le seguenti prove con il campione di miscela saranno confezionati cubetti di 10 x 10 cm di lato:

- sulle miscele fresche con frequenza giornaliera almeno ogni 25 infilaggi: decantazione a 24h (l'acqua separata in 24 ore non dovrà superare il 3% in volume), massa volumica (pari ad

almeno il 90% di quella teorica) e fluidità in conformità alle specifica della prequalifica e progetto. Il peso specifico dovrà risultare pari ad almeno il 90% di quello teorico. Valori non conformi comporteranno l'impossibilità di eseguire le iniezioni;

- sulle miscele indurite con frequenza giornaliera almeno ogni 25 infilaggi: la resistenza a 7 e a 28 giorni. Si riterranno conformi le forniture la cui media per ogni WBS è ≥ al valore di progetto.

12.12.2.1.4 Controlli sui trattamenti precontenimento

Per le modalità di controllo degli interventi di precontenimento mediante trattamenti colonnari (gettiniezione) vale, per quanto applicabile, quanto indicato all'art. 7 di questo capitolato speciale.

12.12.2.2 Controlli dei sostegni di prima fase (di cui al § 12.4)

Per i controlli a cura della Direzione Lavori si rimanda ai contenuti:

- dell'art. 25 per le centine metalliche e le carpenterie in generale;
- dell'art. 20 per il calcestruzzo proiettato;
- dell'art. 24 per le armature contenute nel calcestruzzo proiettato sia avente valenza strutturale ai sensi delle NTC 2018 che non strutturale;
- dell'art 11 per i bulloni e chiodi di ancoraggio.

12.12.2.3 Impermeabilizzazione (di cui al § 12.5)

I controlli di accettazione in cantiere devono essere eseguiti, in contraddittorio e con l'assistenza dell'Appaltatore, per ogni 10.000 m² o frazione di materiale fornito per la verifica delle seguenti proprietà:

a) per il geotessile non tessuto:
   - n. 1 prova per la determinazione della resistenza a trazione in entrambe le direzioni;
   - n. 1 prova per la determinazione della deformazione alla tensione nominale;
   - n. 1 prova per la determinazione della permeabilità;

b) per la membrana impermeabile:
   - n. 1 prova per resistenza alla trazione carico a rottura
   - n. 1 prova per l'allungamento a rottura
   - n. 1 prova per tenuta ai liquidi
   - n. 1 prova per punzonamento statico

c) per il giunto waterstop ogni 500 m di materiale o frazione:
   - n. 1 prova per la resistenza a trazione
   - n. 1 prova per l'allungamento a rottura

12.12.2.4 Rivestimento definitivo (di cui al § 12.6)

La Direzione Lavori è tenuta a verificare ad ogni utilizzo lo stato di conservazione a campione delle casseforme e deve richiedere la sostituire degli elementi non più idonei a garantire gli standard di qualità richiesti.

Per il getto sono da eseguire i controlli di cui all'art. 20 di questo capitolato speciale con la differenza che per la verifica della resistenza alla penetrazione d'acqua secondo la norma UNI EN 12390-8, i cui limiti di accettabilità sono riportati nel § 20.4.4.3, la frequenza da considerare è di una prova per ogni concio di rivestimento definitivo.

Per le armature sono da eseguire i controlli di cui all'art. 24 di questo capitolato speciale.

La Direzione Lavori procede per ogni concio alla verifica della superficie del rivestimento e quando, a suo insindacabile giudizio, riterrà che non sia conforme a quanto prescritto ordinerà:

- in caso di ammaloramenti puntuali la rimozione ed il ripristino degli stessi con malta del tipo conforme ai contenuti dell'art. 22 di questo capitolato, data a rinzaffo e frattazzata, cosi come previsto dalle presenti Norme Tecniche,
- in caso di ammaloramenti diffusi e/o d'esito negativo delle prova d'impermeabilità, al fine di conferire al rivestimento le dovute caratteristiche, la rimozione totale o parziale delle superfici ammalorate e non impermeabili, il ripristino, anche armato mediante l'utilizzo di rete elettrosaldata per superfici superiori ad 1 m² con le modalità previste dalle presenti Norme Tecniche, utilizzando betoncini di tipo H dati a spruzzo e frattazzati a mano.

Le precedenti operazioni saranno a carico dell'Appaltatore. In entrambi i casi, le fasi di rimozione, di preparazione delle superfici e la successiva fase di maturazione dovranno essere quelle previste dalle presenti Norme Tecniche.

12.12.2.5 Drenaggi (di cui al § 12.7)

Ogni 10.000 m di dreni omogenei o frazione la Direzione Lavori eseguirà:

- N. 1 prelievo per sul geotessile la rispondenza dei requisiti di cui al § 12.7
- N. 1 prelievo per sul materiale drenante per la verifica della curva granulometrica di cui al § 12.7 secondo la UNI EN 933-1

12.12.2.6 Opere di finitura – verniciature gallerie (di cui al § 12.8)

Ogni 2.000 m^2 di vernice omogenea applicata o frazione, la Direzione Lavori eseguirà la verifica dello spessore di applicazione in 5 punti distinti secondo la norma UNI EN ISO 2808. In nessun punto lo spessore deve risultare inferiore al valore di progetto, diversamente l'Appaltatore è tenuto a sua cura e spese a ripristinare il tratto non conforme.

12.12.2.7 Ripristino del rivestimento definitivo (di cui ai § 12.9.1, 12.9.2 e 12.9.3)

Per le prove sul calcestruzzo proiettato in corso d'opera, si rimanda ai contenuti dell'articolo 20.10.4 di questo capitolato. Tale riferimento è da applicarsi anche per le malte proiettate come frequenza dei controlli e tipo di prove anche se per quest'ultime occorre selezionare quelle effettivamente realizzabili in funzione del tipo di prodotto definito nel progetto. Per il tipo di prove, qualora applicabile, può costituire utile riferimento anche il § 22.7.1 di questo capitolato.
Per le prove sulle resine, malte, betoncici, si rimanda ai contenuti del § 22.7 di questo capitolato afferente i sistemi protettivi per strutture in conglomerato cementizio.
A discrezione della Direzione Lavori verranno condotti dei saggi di carotaggio del diametro pari a 150 mm a campione sulle fessure oggetto di ripristino finalizzati alla verifica dell'efficacia dell'intervento di risarcitura a piena profondità. L'indagine verrà effettuata prediligendo i quadri fessurativi di maggior estensione e le fessure che presentano minime ampiezze dell'apertura in superficie. Le carote verranno sottoposte anche a trazione indiretta "brasiliana" per verificare che la frattura avvenga nella porzione di calcestruzzo esterna alla fessura risarcita.

12.12.2.8 Armatura per ripristini (di cui al § 12.9.1.3)

Per le prove sugli acciai e le carpenterie si rimanda ai contenuti di cui agli articoli 20 e 25 di questo capitolato.
Per le prove su reti leggere metalliche con frequenza pari a 3 campioni ogni 10 ton di materiale proveniente dallo stesso stabilimento:

- qualità acciaio – UNI EN 10315, UNI EN ISO 15350 o al CR 10320 in riferimento a UNI EN 10088-3
- fy tensione snervamento – UNI EN ISO 15630-1, 2 e 3

- ft tensione rottura – UNI EN ISO 15630-1, 2 e 3
- Allungamento a carico max – UNI EN ISO 15630-1, 2 e 3
- Distacco del nodo – UNI EN ISO 15630-1, 2 e 3

Per le prove su reti e barre in GFRP con frequenza pari a 3 campioni ogni 10 ton di materiale proveniente dallo stesso stabilimento:

- per le reti:
  - Trazione e modulo elastico – ISO 10406-1, CNR-DT 203/2006;
- per le barre:
  - Resistenza a trazione – ISO 527-4,5 - UNI EN 61
  - Resistenza a taglio – ASTM D732
  - Modulo Elastico – ISO 527-4,5 - UNI EN 61

La prova si ritiene superata se, per ciascuno dei provini, non si registrano valori delle resistenze meccaniche inferiori al 95% dei valori caratteristici di qualificazione. La media dei risultati dei tre provini deve avere una resistenza uguale o superiore al valore caratteristico. Per quanto riguarda il modulo elastico, il valore medio ottenuto dai tre provini non deve risultare inferiore al 95% del valore medio di qualificazione.

12.12.2.9 Riempimento vuoti (di cui al § 12.9.4)

Nel caso di utilizzo di miscele cementizie e non di prodotti già preconfezionati ogni giorno, la Direzione Lavori con il proprio laboratorio eseguirà le seguenti prove di cui al §12.12.2.1.3 a cui si rimanda.

Nel caso di dubbi o comunque a discrezione della D.L. dovranno essere eseguiti carotaggi in calotta con prelievo di campioni di malta cementizia indisturbata per verificare l'effettivo livello di riempimento a tergo.Dovranno essere effettuati almeno 3 carotaggi di cui uno verticale e gli altri due compresi tra il piano dei centri e la verticale.

Qualora si riscontrassero dei vuoti si dovranno intensificare i carotaggi nella tratta interessata. I vuoti rilevati dovranno essere riempiti mediante la stessa miscela.

12.12.2.10 Intervento di ripristino dell'impermeabilizzazione (di cui al § 12.9.5)

Nel caso di utilizzo di miscele cementizie e non di prodotti già preconfezionati ogni giorno, la Direzione Lavori con il proprio laboratorio eseguirà le seguenti prove di cui al §12.12.2.1.3 a cui si rimanda.

12.12.2.11 Drenaggi in calotta (di cui al § 12.9.6)

Ogni 10.000 m di dreni omogenei o frazione la Direzione Lavori eseguirà:

- N. 1 prelievo sul geotessile per la rispondenza dei requisiti di cui al § 12.9.6.

12.12.2.12 Raccolta delle acque di calotta (di cui al § 12.9.7)

Ogni 5.000 m^2 di lamiera grecata o frazione la Direzione Lavori eseguirà:

- N. 1 prelievo per verifica della qualità dell'acciaio rispetto ai requisiti di cui al § 12.9.7;
- N. 1 prelievo per verifica del grado E17 secondo la UNI EN 13706-3 nel caso di utilizzo di materiale in GFRP.
- Le verifiche sugli ancoraggi di cui al successivo § 12.12.2.13.

12.12.2.13 Ancoranti su rivestimento definitivo (di cui al § 12.9.8)

Dovranno essere effettuate prove di trazione di post installazione sul 2.5% dei tasselli (sia di tipo meccanico che chimico) appartenenti a ciascun intervento (con un minimo di 1 tassello per intervento) prevedendo un adeguato tempo di maturazione delle resine, nel caso di ancoraggi chimici. Il carico di prova sarà pari a 1.5 volte il carico di esercizio dell'intervento definito a progetto e dovrà essere mantenuto per almeno 2 min.

12.12.3 Tolleranze

12.12.3.1 Precontenimento e preconsolidamento del fronte e del contorno del cavo con elementi in vetroresina

Le tolleranze ammesse sull'assetto geometrico degli elementi sono le seguenti:

- la posizione dell'asse di ciascun elemento non dovrà discostarsi da quella di progetto più di 5 cm, salvo diverse prescrizioni della Direzione Lavori;
- la deviazione dell'asse dell'elemento rispetto all'asse di progetto non dovrà superare l'1%;
- la lunghezza dell'elemento non dovrà differire di ±15 cm da quella di progetto.

Ogni elemento che risultasse non conforme alle tolleranze di cui sopra dovrà essere idoneamente sostituito a cura e spese dell'Impresa.

12.12.3.2 Presostegno con infilaggi

Le tolleranze ammesse sull'assetto geometrico degli elementi sono le seguenti:

- la posizione della testa non dovrà discostarsi da quella di progetto più di 5 cm;
- la deviazione dell'asse dell'infilaggio rispetto all'asse di progetto non dovrà essere maggiore dell'1%;
- la lunghezza non dovrà differire di ± 15 cm da quella di Progetto;
- la sezione dell'armatura metallica non dovrà risultare inferiore a quella di progetto;
- il diametro dell'utensile di perforazione dovrà risultare non inferiore al diametro di perforazione di progetto.

Ogni infilaggio che risultasse non conforme alle tolleranze di cui sopra dovrà essere idoneamente sostituito a cura e spese dell'Appaltatore.

Art. 12bis Strutture di sostegno ed ancoraggio impianti in galleria

12.1 bis Descrizione e campo di applicazione

Il seguente articolo specifica i possibili sistemi di sostegno ed ancoraggio di tutte le tipologie di impianti e segnaletica installabili lungo la rete sia in galleria e su opere d'arte e le relative caratteristiche tecnico-prestazionali.

12.2 bis Normativa di riferimento

- Dimensionamento per carico statico e quasi statico secondo EN 1992-4.
- Dimensionamento per carico in fatica EN 1992-4 (Allegato D) oppure EOTA TR061.
- Dimensionamento per stress sismico secondo EN1992-4.
- Qualifica secondo EAD 330232-00-0601 (tasselli meccanici).
- Qualifica secondo EAD 330499-00-0601 (tasselli chimici).
- Qualifica secondo EAD 330250-00-0601 (carico in fatica).
- CEI 64-20:2023 / Impianti elettrici nelle gallerie stradali
- Curve d'incendio differenti secondo i vari standard nazionali (ISO 834)
- Curva di riscaldamento UNI EN 13363-1.
- Fire behaviuor of building materials and building components-Part 12: Circui integrity maintenance of electric cable systems; requirements and testing
- Codice di condotta per la selezione e l'installazione di ancoraggi post-installati in calcestruzzo e muratura BS 8539.
- Prove sul calcestruzzo nelle strutture. Determinazione della forza di estrazione BS EN 12504-3:2005
- Acciai inossidabili UNI EN 10088-1:2024

12.3 bis Progetto costruttivo e relazione di calcolo sistemi di sostegno ed ancoraggio

Le caratteristiche tecniche e prestazionali delle strutture di sostegno e ancoraggi degli impianti dovranno essere conformi alle specifiche e agli standard prescritti dal presente Capitolato.
Ogni singola struttura di sostegno e/o ancoraggio deve essere corredato dalle relative istruzioni, se previste, per un uso corretto e in condizioni di sicurezza.
L'Appaltatore dovrà garantire la conformità delle strutture di sostegno e ancoraggio degli impianti oggetto di fornitura alle normative UNI, CEI o ad altre disposizioni internazionali riconosciute e, in generale, alle vigenti norme legislative, regolamentari e tecniche disciplinanti i componenti e le modalità di impiego dei beni medesimi ai fini della sicurezza degli utilizzatori.
In particolare, tutti materiali devono avere verifica delle prestazioni meccaniche in caso d'incendio seguendo l'aumento della temperatura della curva di incendio indicata nella ISO 834 e testate con prova di comportamento al fuoco secondo la UNI EN 1363-1 o DIN 4102-12:1998-11 come previsto dalla norma CEI 64-20, con una resistenza minima di 850° per 90'.
Sarà onere dell'Appaltatore sottoporre all'approvazione della D. L., preliminarmente all'inizio delle lavorazioni, il progetto costruttivo di dettaglio dei dispositivi di sostegno e di ancoraggio degli impianti in coerenza con il progetto esecutivo. Laddove il progetto costruttivo modifica anche parzialmente il progetto esecutivo (oggetto di verifica statica da parte del Progettista), sarà onere dell'Appaltatore integrare il progetto costruttivo con una relazione di calcolo firmata da tecnico abilitato all'esercizio della professione. In particolare, la relazione di calcolo dovrà riportare, oltre che il dimensionamento dei sistemi di sostegno e di ancoraggio,

anche i dettagli inerenti alla verifica statica e sismica dei supporti per gli impianti in base alle tipologie di materiali scelti e ai campi di applicazione.
Nel progetto costruttivo dovrà inoltre essere specificato il valore della coppia di serraggio degli elementi di unione tra il sistema di sostegno ed il sistema di ancoraggio.

12.4 bis Tipologie di sostegni e criteri di accettazione

Le tipologie di sostegni previste devono rispondere ai seguenti criteri di accettazione:

12.4.1 bis Mensole di sostegno per passerelle metalliche in galleria

Le passerelle canale o tubi marcate CE devono essere sostenute impiegando mensole di sostegno prefabbricate presso-piegate marcate CE realizzate in profilato d'acciaio inox AISI 316, devono avere verifica delle prestazioni meccaniche in caso d'incendio seguendo l'aumento della temperatura della curva di incendio indicata nella ISO 834 e testate con prova di comportamento al fuoco secondo la UNI EN 1363-1 o DIN 4102-12:1998-11, come previsto dalla norma CEI 64-20.
Le mensole di sostegno devono essere installate ad intervalli tali da garantire la stabilità della canalizzazione e dimensionate secondo quanto indicato in progetto.
L'insieme passerelle – mensole di sostegno marcati CE dovrà essere rinforzato con idoneo sistema di controventatura antisismica indicato in progetto, sempre in acciaio inox AISI 316, devono avere verifica delle prestazioni meccaniche in caso d'incendio seguendo l'aumento della temperatura della curva di incendio indicata nella ISO 834 e testate con prova di comportamento al fuoco secondo la UNI EN 1363-1 o DIN 4102-12:1998-11, come previsto dalla norma CEI 64-20.
In prossimità dei ventilatori, quando presenti, dovrà essere prevista a monte e a valle degli stessi, (distanza di c.a. 4 m) una controventatura.

12.4.1.1 bis Struttura di sostegno ed elementi di connessione PMV

Le strutture di sostegno dei portali a messaggio variabile (PMV) saranno realizzati seguendo le prescrizioni progettuali e le indicazioni riportate negli articoli 25 e 25bis del presente CSA. Questi dovranno essere assicurati al rivestimento della galleria tramite catena o cavo di sicurezza in acciaio AISI 316 resistenti al fuoco secondo curva d'incendio ISO 834.

12.4.1.2 bis Contro staffa di sostegno elettroventilatori assiali

Gli elettroventilatori assiali devono essere sostenuti in calotta tramite l'ausilio di contro staffe in acciaio AISI 316 dimensionate e fornite dal produttore dello stesso, resistenti al fuoco secondo curva d'incendio ISO 834. Questi dovranno essere assicurati al rivestimento della galleria tramite catena o cavo di sicurezza in acciaio AISI 316 resistenti al fuoco secondo curva d'incendio ISO 834.

12.4.1.3 Staffa di sostegno tubi e cavi su rivestimento galleria

Tubi e cavi (tipo cavi radio a rivestimento e similari) marcati CE dovranno essere staffati mediante l'uso di supporti a collare, ed eventuali componenti di staffaggio integrativi volti all'idoneo collegamento alla struttura, in acciaio AISI 316 e resistenti al fuoco secondo curva d'incendio ISO 834.

12.4.1.4 bis Elementi di sostegno per telecamere e videocamere.

Sarà onere dell'appaltatore sottoporre all'approvazione della D.L. la documentazione attestante l'idoneità degli elementi di sostegno dal punto di vista statico e di comportamento al fuoco previsto in progetto.

12.5 bis Tipologie di ancoraggi e criteri di accettazione

I sostegni delle passerelle, dei PMV, degli elettroventilatori assiali, di tubi e cavi devono essere fissati alle pareti, soffitto o pavimento per mezzo di due tipologie di ancoraggi, questi devono rispondere ai seguenti criteri di accettazione:

12.5.1 bis Ancoraggio meccanico

Adeguata tassellatura ad espansione meccanica in acciaio inox A4 HCR provvista di certificato ETA secondo l'EAD di riferimento 330232-01-0601 (e sue versioni e varianti successive).

12.5.2 bis Ancoraggio chimico

Mediante barratura filettata in acciaio inox A4 HCR di sezione adeguata e completa di bulloneria in acciaio inox A4 HCR, installata su rivestimento definitivo mediante ancorante chimico epossidico o in vinilestere ad iniezione certificato ETA secondo l'EAD di riferimento 330499-01-0601 (e sue versioni e varianti successive). Sia per gli ancoranti meccanici che chimici, in funzione dell'utilizzo previsto, il certificato ETA deve includere l'idoneità per applicazioni sismiche (C1 o C2), l'idoneità per la vita utile di progetto.Il sistema di ancoraggio deve essere resistente al fuoco secondo curva d'incendio ISO 834 secondo quanto riportato nel rispettivo certificato ETA, con una resistenza minima di 850° per 90', salvo diversa specificazione riportata negli elaborati progettuali.
Le caratteristiche del sistema di ancoraggio sono descritte nel certificato ETA di riferimento.
I dati necessari per la progettazione dell'ancoraggio (statica, sismica, incendio, fatica) devono essere descritti e assunti nell'ETA di riferimento del sistema.
La posa del sistema di ancoraggio deve essere eseguita in conformità alle indicazioni riportate nel certificato ETA dell'ancorante, sia per le modalità operative che per le attrezzature da utilizzarsi.

12.6 bis Documenti di prequalifica

La Direzione Lavori, prima dell'inizio delle operazioni di posa, dovrà verificare, oltre la documentazione al §12.3, la documentazione rilasciata dal produttore attestante la marcatura CE, l'omologazione ETA e la dichiarazione di prestazione dei dispositivi di sostegno ed ancoraggio posati in opera.

12.7 bis Controlli e prove in corso d'opera

12.7.1 bis Prove a carico dell'Appaltatore

12.7.1.1 bis Preliminari all'installazione (campo prova preliminare all'esecuzione degli ancoraggi definitivi).

Sarà fatto obbligo dell'appaltatore eseguire la prova di pull-out a rottura su ancoraggi sacrificali (secondo la BS EN 12504-3 o UNI EN 12504-3) per verificare l'idoneità del sistema di ancoraggio prescritto nella relazione di calcolo in progetto.
Il numero di prove da eseguire sarà calcolato su un numero di elementi da definirsi secondo le indicazioni previste nella norma UNI ISO 2859-1, ed andranno eseguite distribuendole lungo l'intero sviluppo longitudinale della galleria prevedendo comunque almeno una prova ogni 10m di sviluppo longitudinale sull'asse di installazione prevista (il posizionamento sarà da concordare con la D.L.).
Gli ancoraggi testati saranno forniti dall'appaltatore e non potranno essere riutilizzati per l'effettiva installazione del sistema supporto.

A prova ultimata dovrà essere rilasciata documentazione di verifica a firma di tecnico abilitato a cura dell'Appaltatore e sempre a cura dell'appaltatore il ripristino del rivestimento come in origine dopo le prove di pull-out effettuate.
Sarà cura della D.L. sentito anche il Progettista valutare in caso di fallimento in numero significativo (per numero significativo seguire le indicazioni previste nella norma UNI ISO 2859-1) delle prove di pull-out, definire le opportune azioni correttive.
Sarà responsabilità dell'Appaltatore procedere con la rimozione dei citati ancoraggi, ripristinare l'integrità del rivestimento ed eseguire nuovamente il test secondo le indicazioni che saranno impartite dalla D.L. e non nella stessa posizione dei precedenti in accordo con la D.L.

12.7.1.2 bis Prove finali

Verifica del 100% dei serraggi del sistema di accoppiamento sostegni ad ancoraggi.

12.7.2 bis Prove a carico della Direzione Lavori

- Verifica della corretta posa in opera del sistema di sostegno ed ancoraggio come da progetto in contradditorio con l'appaltatore.
- Verifiche strumentali di pull-out degli ancoraggi in contraddittorio con l'appaltatore a condizione di carico rara e non di rottura (secondo la norma British Standard 8539 9.3 & Annex B.3) e di serraggio. Il numero di prove da eseguire sarà calcolato su un numero di elementi da definirsi secondo le indicazioni previste nella norma UNI ISO 2859-1 ed andranno eseguite distribuendole lungo l'intero sviluppo longitudinale della galleria prevedendo comunque almeno una prova ogni 10m di sviluppo longitudinale sull'asse di installazione prevista (il posizionamento sarà da concordare con la D.L.).
  Sarà cura della D.L. sentito anche il Progettista valutare in caso di fallimento in numero significativo (per numero significativo seguire le indicazioni previste nella norma UNI ISO 2859-1) delle prove di pull-out, definire le opportune azioni correttive.
  Sarà responsabilità dell'Appaltatore procedere con la rimozione dei citati ancoraggi, ripristinare l'integrità del rivestimento ed eseguire nuovamente il test secondo le indicazioni che saranno impartite dalla D.L. e non nella stessa posizione dei precedenti in accordo con la D.L.
- Verifiche strumentali di serraggio degli ancoraggi in contraddittorio con l'appaltatore (il numero di prove da eseguire sarà calcolato su un numero di elementi da definirsi secondo le indicazioni previste nella norma UNI ISO 2859-1) con i carichi desunti nella relazione di calcolo in progetto per la validazione della qualità di posa degli ancoraggi con evidenza a mezzo di certificato di laboratorio o report.
  In caso di esito negativo la Direzione Lavori disporrà il ri-serraggio, a cura e spese della Appaltatore, del/dei collegamento/i bullonato/i interessato/i e disporrà prove supplementari in escalation; a seguito dei risultati di tale approfondimento disporrà le azioni ritenute necessarie nei confronti dell'Appaltatore.

12.8 bis Prove richieste dalla Commissione di Collaudo

- Il Collaudatore Statico e/o Tecnico Amministrativo, se nominato, potrà richiedere ulteriori prove a campione da effettuare in presenza della DL e dell'Appaltatore

Art. 13 Monitoraggio

13.1 Descrizione e campo di applicazione

Per monitoraggio s'intende l'insieme delle strumentazioni atte al controllo del comportamento dinamico, tensionale e deformativo delle opere e delle aree adiacenti e/o interferenti
Nel seguito vengono riportate le prescrizioni relative alle caratteristiche tecniche degli strumenti, alle modalità d'installazione ed alla documentazione relativa all'installazione degli stessi.
Il sistema di monitoraggio deve essere installato e gestito secondo le indicazioni dei progettisti e in accordo con le specifiche di seguito riportate, che devono intendersi integrative alle eventuali specifiche particolari riportate dal progetto.
La tipologia, l'ubicazione e le frequenza del monitoraggio geotecnico e strutturale è specificatamente prevista negli elaborati tecnici allegati al progetto.
Tuttavia, nei casi in cui si riscontrino situazioni più gravose rispetto a quelle previste, o condizioni geologiche particolari o suscettibili di evoluzioni che comportino rischi per la struttura, o zone alterate anche a seguito di movimenti o rilasci causati dallo scavo della galleria, o comunque in tutti i casi in cui lo ritenga necessario, la Direzione Lavori può richiedere che l'impresa integri il sistema con l'installazione di ulteriori sezioni strumentate e/o di strumentazione aggiuntiva. In questi casi la Direzione Lavori può anche chiedere che venga modificata la distribuzione o la composizione delle sezioni previste in progetto in modo da posizionarle nelle zone risultate di maggiore interesse senza aumentarne il loro numero.
Inoltre, durante l'installazione e l'utilizzo della strumentazione descritta nei successivi paragrafi, per gli aspetti e le problematiche relative a temi ambientali, quali impatti acustici e vibrazionali, emissioni in atmosfera, impatto sulle acque superficiali, sotterranee e sul suolo, impatti sulla componente fauna e vegetazione, si rimanda integralmente a quanto prescritto dalla Normativa Nazionale e Regionale vigente, alle prescrizioni degli Enti preposti alla tutela ambientale, nonché alle condizioni ambientali contenute nelle autorizzazioni ed alle disposizioni del Capitolato Ambientale e Piano di Gestione Terre/Piano di Utilizzo allegati al progetto esecutivo.
Laddove all'Appaltatore sia richiesto di installare la strumentazione del Piano di Monitoraggio Ambientale, lo stesso dovrà attenersi alle disposizioni tecniche che verranno specificate dalla stazione appaltante.

13.2 Prequalifica e prescrizioni tecniche generali a cura dell'Appaltatore

La fornitura della strumentazione è soggetta all'approvazione della DL. A questo proposito, dovrà essere fornita alla DL, mediante comunicazione scritta non meno di 15 giorni lavorativi prima dell'installazione, documentazione tecnica dettagliata degli strumenti rilasciata dal produttore.
Nello specifico, dovrà essere redatta dall'Appaltatore apposita "Procedura di lavoro" (prevista all'art. CG.01.01 della sezione "Condizioni Generali" del presente Capitolato Speciale) da sottoporre alla Direzione Lavori specificando altresì:

- La descrizione delle varie tipologie di strumento e/o apparecchiature corredate da appositi certificati ufficiali, inclusi quelli di taratura in corso di validità, da relative specifiche tecniche che dimostrino il soddisfacimento dei requisiti indicati nel presente documento e nel progetto. Al fine di garantire l'affidabilità della strumentazione, è richiesto che gli strumenti da approvvigionare siano prodotti da ditte con comprovata esperienza pluriennale nel settore e per i quali esistano applicazioni documentate attraverso pubblicazioni nella letteratura tecnico scientifica e/o certificati/documentazione in cui si attesti la soddisfazione dei clienti. Su richiesta della DL l'Appaltatore dovrà fornire ulteriore documentazione che attesti l'applicazione ed il buon funzionamento di tali strumenti e apparecchi in altri casi pratici, a

prova della loro affidabilità. Nel caso la strumentazione proposta non soddisfi tali requisiti, la DL sarà autorizzata a richiederne la sostituzione;
- la descrizione delle tecniche di messa in opera;
- la specializzazione ed esperienza degli operatori che intende utilizzare;
- il formato della restituzione dei dati delle letture degli strumenti (tabelle, testo, excel, ecc.).

All'arrivo in cantiere, ogni strumento dovrà essere munito di certificato di origine e di certificato di taratura in corso di validità presso un laboratorio ufficiale.

Una volta ottenuta l'approvazione da parte della DL relativamente al tipo di strumento approvvigionato, l'Appaltatore dovrà far pervenire il programma d'installazione alla DL mediante comunicazione scritta almeno 72 ore prima dell'inizio dell'installazione.
L'installazione della strumentazione deve avvenire in contraddittorio con la DL, salvo diversa indicazione di quest'ultima. Tutte le installazioni devono essere identificate topograficamente rispetto ad un unico sistema di coordinate progetto. La reale posizione degli strumenti installati dovrà essere comunicata alla Direzione Lavori con opportuni elaborati grafici entro 7 giorni dalla loro installazione.
Tutte le operazioni di verifica della fornitura e tutte le operazioni di installazione devono essere eseguite avendo come scopo finale l'affidabilità e la durata degli impianti di monitoraggio.
E' necessario provvedere a quanto necessario ad evitare manomissioni della rete di strumenti. Nel caso in cui, per esigenze di lavoro o in conseguenza di avvenimenti di qualsiasi natura, gli strumenti risultassero manomessi, si dovrà provvedere ai necessari ripristini.
La correttezza delle installazioni rimane responsabilità dell'Appaltatore che deve, comunque, dimostrarne la correttezza su richiesta della Direzione Lavori.

La restituzione dei dati relativi a letture eseguite sugli strumenti, deve avvenire sia su formato cartaceo, che tramite supporto informatico editabile (tipo formato excel e formato testo). La restituzione di dati soggetti a elaborazione post acquisizione deve analogamente avvenire tramite supporto editabile e deve contenere i criteri utilizzati per le elaborazioni, sufficientemente dettagliati e svolti secondo algoritmi documentati attraverso pubblicazioni di valenza tecnico scientifica.

13.3 Monitoraggio in galleria

Durante lo scavo di una galleria deve essere sempre eseguito un monitoraggio con lo scopo di:
- verificare la validità delle previsioni progettuali attraverso un confronto sistematico, in corso d'opera, tra le stesse previsioni e le prestazioni/comportamento del terreno nell'intorno della galleria e delle strutture di rivestimento;
- assicurare che l'opera sia in grado di esplicare le sue funzioni nel tempo, risultando idonea all'esercizio, resistente e stabile senza riduzioni significative della sua integrità o necessità di interventi di manutenzione straordinari.
- Verificare che lo stato di sollecitazione del rivestimento rimanga entro i limiti fissati dal progetto anche nella fase di esercizio.

Queste verifiche vengono eseguite dalla Direzione Lavori insieme ai progettisti sulla base dei dati forniti dall'Appaltatore. Quest'ultimo è comunque tenuto all'esame dei risultati sulla base della sua esperienza in modo da essere in grado di individuare per tempo eventuali situazioni potenzialmente pericolose e porvi rimedio.
Il sistema di monitoraggio deve essere installato e gestito secondo le indicazioni dei progettisti e in accordo con le specifiche di seguito riportate, che devono intendersi integrative alle eventuali specifiche particolari riportate dal progetto.

13.3.1 Rilievo geomeccanici del fronte di scavo

L'attività in oggetto permetterà di acquisire gli elementi relativi alle caratteristiche geostrutturali e geomeccaniche dell'ammasso roccioso, inteso come complesso costituito dalla matrice roccia e dai piani di discontinuità, principalmente per uso di classificazione mediante indice RMR.
In base ai risultati dei rilievi del fronte di scavo verrà confermata oppure ridefinita la sezione tipo da applicare nel corso dell'avanzamento.
Si distinguono due tipi di rilievi geologici-geostrutturali:

- rilievi di dettaglio da eseguire ad ogni variazione significativa della qualità dell'ammasso roccioso o della litologia, e comunque ogni 200-250 m di galleria
- rilievi di tipo speditivo da eseguire giornalmente, o al limite ogni campo di avanzamento.

L'attività dovrà essere materialmente eseguita da uno o più geologi o ingegneri geomeccanici con specifica esperienza.
Per l'esecuzione dei rilievi sono richieste le seguenti attrezzature:

- bussola geologica per misure della orientazione di piani nello spazio;
- nastri misuratori e bindelle metrate;
- Schmidt Hammer (sclerometro);
- profilatore di rugosità a pettine (Pettine di Barton);
- disco (diametro 30 cm) per l'appoggio della bussola;
- point load strength tester.

13.3.1.1 Rilievi di dettaglio

MODALITA' ESECUTIVE

Le modalità esecutive saranno conformi alle prescrizioni «Suggested Methods for the quantitative description of discontinuites in rock masses-Intenational Society for Rock Mechanics», alle quali si rimanda direttamente per quanto non espressamente precisato nel seguito.
Il rilievo si eseguirà materializzando sul fronte da rilevare una linea, della maggior lunghezza possibile, effettuando le misure in corrispondenza dei punti di intersezione dei piani con la traccia dello stendimento, annotandone la progressiva dall'origine dello stendimento, ma considerando anche tutti gli elementi non direttamente intersecanti la linea ma vicini ed idealmente prolungabili fino all'intersezione. Si dovranno eseguire stendimenti di misura fra loro tendenzialmente ortogonali, in modo da descrivere compiutamente l'ammasso in senso realisticamente tridimensionale.
Per ciascuna stazione di misura, il numero di stendimenti da eseguire sarà quello necessario per la perfetta caratterizzazione dell'ammasso; la quantità degli stendimenti programmati sarà comunicata alla Direzione Lavori.
Il fronte rilevato dovrà essere accuratamente descritto, con il corredo di fotografie (dove saranno visibili tracce degli stendimenti) e schizzi, precisando dettagliate informazioni sulla litologia, sulle facies, sugli elementi strutturali visibili alla scala dell'affioramento, sulla presenza di acqua e su quanti altri elementi possano concorrere alla comprensione delle caratteristiche geologiche e geomeccaniche d'insieme dell'ammasso roccioso entro il quale sono state realizzate le misure. Il rilievo lungo ciascuna linea deve definire quanto segue:

- caratteristiche litologiche: Genesi del litotipo, litologia e caratteristiche petrografiche macroscopiche, grado e tipo di cementazione o compattezza, grado di alterazione, colore, assetto generale dell'ammasso come individuabile a scala del fronte.
- caratteristiche geostrutturali: inclinazione dei piani di discontinuità sull'orizzontale, immersione o azimut della linea di massima pendenza giacente sul piano di discontinuità.
- caratteristiche geomeccaniche: classificazione dei diversi tipi di piani di discontinuità, suddividendoli in piani di strato, di scistosità, di faglia, di frattura. Si definiranno inoltre le

caratteristiche dei piani precisando frequenza, spaziatura, lunghezza, persistenza percentuale rispetto all'affioramento, apertura, continuità di apertura in percentuale rispetto alla lunghezza, tipo di terminazione, distanza della terminazione della traccia, scabrezza (Joint Roughness Coefficient JCR), ondulazione, resistenza della parete del giunto (Joint Compressive Wall Strength JCS), tipo, granulometria, origine, grado di saturazione e di consistenza del materiale di riempimento, che può anche essere campionato per prove di laboratorio. La scabrezza (JRC) sarà valutata numericamente con pettine di Barton. La resistenza della parete del giunto (JCS) sarà stimata con Schmidt Hammer e point load strength tester.

- Osservazioni: ritenzione idrica e venute d'acqua valutate sugli ultimi 8÷10m di scavo, distacchi gravitativi (ubicazione e geometria dei volumi), interventi di consolidamento e contenimento presenti.

DOCUMENTAZIONE

La documentazione comprenderà:

- fotografia del fronte;
- progressiva del fronte su cui è stato eseguito il rilievo, con rappresentazione grafica ed indicazione degli stendimenti di misura;
- tabelle con i dati di campagna;
- relazione geologica descrittiva del sito di rilievo, inclusiva di tutti gli elementi necessari ad inquadrare e comprendere i risultati del rilievo stesso, delle note esplicative e descrittive del rilevatore, degli stereogrammi polari con la raffigurazione dei singoli poli dei piani rilevati e delle aree a diversa densità di concentrazione polare, degli schizzi illustrativi, della documentazione fotografica dell'ammasso roccioso e degli stendimenti di misura.

In ogni caso oltre a quanto sopra richiesto dovranno essere compilati, in ogni parte apposite schede di rilievo. In particolare si dovrà procedere al calcolo del parametro RMR sulla base del rilievo dei sei parametri:

- resistenza a compressione monoassiale C0
- RQD
- spaziatura delle discontinuità
- condizioni delle discontinuità
- condizioni idrauliche
- orientamento delle discontinuità

Tali parametri sono raggruppati in cinque intervalli di valori la cui somma permette di suddividere gli ammassi rocciosi in altrettante cinque classi di qualità.

13.3.1.2 Rilievi di tipo speditivo

MODALITA' ESECUTIVE

Le modalità esecutive saranno come precedentemente descritto per i rilievi di dettaglio con l'eccezione che l'assetto generale, le spaziatura delle discontinuità, i parametri JRC e JCS potranno essere valutati qualitativamente.

DOCUMENTAZIONE

La documentazione sarà come precedentemente descritto per i rilievi di dettaglio, ad esclusione dei dati quantitativi su assetto, spaziatura delle discontinuità e misure della valutazione dei parametri JRC e JCS.

13.3.2 Stazione di misura delle convergenze del cavo

13.3.2.1 Descrizione

Le misure in oggetto consentono di stimare le deformazioni del cavo della galleria attraverso il sistematico rilievo ad alta precisione delle coordinate di 5 punti di misura (o più, qualora indicato in progetto) disposti lungo il perimetro del cavo stesso.

13.3.2.2 Specifiche tecniche

Il sistema di acquisizione dati è costituito da una stazione totale topografica dotata di distanziometro elettronico che misura la posizione assoluta dei punti (target tape) della stazione rispetto ad un sistema di riferimento tridimensionale costituito da capisaldi siti in galleria.

STAZIONE TOTALE MOTORIZZATA

Principio di Misura	Puntamento ottico e misurazione elettronica (angoli e distanze)
Precisione sistema collimazione automatica	</= 1 mm a 200 metri
Precisione lettura angolare	1"
Precisione misura della distanza	1 mm

13.3.2.3 Modalità di installazione

Le stazioni di misura sono costituite da 5 chiodi di convergenza (o più, qualora indicato in progetto) infissi nell'ammasso, sporgenti per circa 10 cm dal betoncino proiettato del rivestimento di 1° fase, su cui vengono montati altrettanti marcatori costituiti da targets riflettenti.
Vengono generalmente installati durante la posa in opera della centina, quando è possibile, mediante un foro eseguito con un fioretto, ancorarli efficacemente ed in completa sicurezza, all'ammasso.
Appena terminata la proiezione del betoncino proiettato sulla centina si procede al posizionamento delle mire ottiche (target tape) e si effettua la lettura di riferimento (lettura di zero).

13.3.2.4 Restituzione dati

Il sistema di elaborazione dati deve offrire i seguenti diagrammi e tabulati numerici in funzione del tempo e della distanza dal fronte:

- Convergenze, spostamenti orizzontali, spostamenti verticali, spostamenti longitudinali (rispetto all'asse della galleria);
- velocità di convergenza (mm/giorno).

Ad ogni grafico di spostamento dovrà essere associato un grafico che riporti la successioni delle diverse fasi esecutive e lo stato d'avanzamento di ciascuna di esse (avanzamento dello scavo, scavo dell'arco rovescio, getto dell'arco rovescio, getto delle murette, getto della calotta)
La restituzione deve avvenire sia in formato cartaceo che su apposito supporto informatico in formato excel.

13.3.3 Registrazione dei parametri di perforazione (tipo Dac-test)

Il dac-test consiste nella registrazione in forma continua dei principali parametri di una perforazione, eseguita di norma a distruzione di nucleo, con lo scopo di riconoscere le caratteristiche fondamentali del terreno, preferibilmente a partire da situazioni rese note dall'esecuzione di sondaggi di taratura

a carotaggio continuo. I dac-test saranno solitamente eseguiti in perforazioni suborizzontali in avanzamento; nel caso sia previsto il consolidamento del fronte di scavo mediante elementi strutturali in VTR, si eseguirà la registrazione dei parametri di alcune delle perforazioni necessarie per la messa in opere dei VTR.

13.3.3.1 Specifiche tecniche

L'attrezzatura necessaria dovrà consistere in:

- sonda a rotazione o a rotopercussione;
- sensori e centralina elettronica per la misura, la amplificazione e la registrazione su supporto magnetico almeno dei seguenti parametri di perforazione:
  - spinta applicata all'utensile di perforazione [MPa];
  - velocità di avanzamento [m/h];
  - coppia di rotazione assorbita [MPa];
  - velocità di rotazione [rpm]
  - pressione del fluido di circolazione [MPa].

La registrazione dei parametri dovrà avvenire preferibilmente con la frequenza di un'operazione di memorizzazione per 1 cm di avanzamento dell'utensile oppure con la frequenza di una registrazione al minuto, nel caso di avanzamenti inferiori a 1 cm/minuto. In ogni caso la frequenza di registrazione non dovrà mai essere superiore a 5 cm di avanzamento.
La centralina dovrà permettere la visualizzazione dei parametri misurati e la stampa su carta dei grafici; dovrà essere misurata, registrata e visualizzata su visore, in ogni caso, la profondità raggiunta dalla prova.

13.3.3.2 Modalità esecutive

La perforazione dovrà essere eseguita avendo cura, dopo qualche tentativo, di operare con la massima omogeneità.
In particolare, la spinta applicata all'utensile dovrà, se possibile, essere mantenuta costante per l'intera verticale di prova e dovrà essere tale da assicurare il superamento dei livelli più resistenti senza eccessiva perdita di leggibilità dei risultati negli strati più resistenti.
E' necessario che il detrito di perforazione fuoriuscente a bocca foro sia descritto con la migliore precisione possibile.

13.3.3.3 Documentazione

La documentazione di prova dovrà comprendere quanto sotto elencato:

- informazioni generali (commessa, cantiere, ubicazione, data, nominativo dell'operatore);
- schema grafico (o fotografia) del fronte con indicazione della posizione della perforazione;
- caratteristiche dell'attrezzatura di perforazione (in particolare diametri interno del pistone), modalità esecutive del foro, diametro e orientazione del foro;
- grafico di cantiere con i parametri misurati e registrati;
- grafico, derivato dai parametri registrati, delle seguenti quantità in funzione della profondità: velocità di avanzamento [m/h], velocità di rotazione [rpm], forza applicata all'utensile [kN], coppia di rotazione assorbita [kNm], energia specifica di perforazione [kJ/m^3]; in calce, dovranno essere riportate le formulazioni utilizzate per ricavare le grandezze derivate dai parametri registrati;
- note ed osservazioni di cantiere;
- copia dei certificati di taratura dei manometri, non anteriori di 6 mesi alla data di esecuzione della prova.

13.3.4 Barrette estensimetriche sul rivestimento di prima fase (centine metalliche)

Per la determinazione delle deformazioni e dei carichi nelle centine del rivestimento di prima fase è possibile installare coppie di strain meters a corda vibrante posizionate tangenzialmente in intradosso e estradosso sull'anima della centina a ridosso delle ali.
Gli strain meters a corda vibrante sono costituiti da un cavo di acciaio armonico teso tra due blocchi, fissati a loro volta all'anima delle centine, mediante saldatura o resinatura. La frequenza di vibrazione del cavo di acciaio, è funzione delle deformazioni della centina nella sezione considerata.

13.3.4.1 Specifiche tecniche

Lunghezza	150 mm
Segnale in uscita	Hertz
campo di misura	3000 μs
range di temperatura	-20, +60 °C
Precisione	< 2% F.S.
Stabilità	0,1% FS/yr
Coefficiente di espansione termica	12,0 μs /°C
Termistore	NTC (YSI 44005)
Precisione termistore	0,5° C

13.3.4.2 Modalità d'installazione

Le procedure di installazione da adottarsi dovranno essere le seguenti:

- fissare mediante saldatura ad arco i blocchetti di ancoraggio nelle posizioni prestabilite sull'anima della centina metallica a ridosso delle ali, utilizzando una apposita dima distanziatrice;
- inserire le estremità dell'estensimetro nei blocchetti di ancoraggio prestando molta attenzione a che le viti di serraggio entrino perfettamente nell'alloggiamento preposto all'interno dei suddetti blocchetti;
- serrare una delle estremità dell'estensimetro al blocchetto con l'apposita vite a frugola;
- tendere manualmente l'estensimetro fino a raggiungere la posizione desiderata in funzione del comportamento atteso del profilato, avendo cura di non oltrepassare il limite inferiore o superiore del campo di misura strumentale. Per effettuare questa operazione è necessario collegare lo strumento ad una centralina di misura manuale che fornisca in tempo reale i valori di frequenza di vibrazione del filo d'acciaio;
- proteggere lo strumento da eventuali urti accidentali con un lamierino metallico sottile sagomato ad arte, fissato alla pannellatura con punti di saldatura ad arco;
- svolgere i cavi elettrici, aventi una lunghezza tale da raggiungere il pannello di centralizzazione e lettura o direttamente alla Unità di Acquisizione Dati fissandoli mediante legature di ferro al paramento della galleria.

13.3.4.3 Documentazione d'installazione

La documentazione fornita alla DL in seguito all'installazione dello strumento dovrà comprendere:

- informazioni generali (commessa, cantiere, opera, progressiva della sezione strumentata, data, nominativo dell'operatore);

- Codifica dei singoli strumenti;
- schema grafico di installazione degli strain meters e delle celle di carico sulla centina con indicazione dell'orientazione e della posizione;
- documentazione tecnica relativa agli strumenti installati rilasciata dal produttore, con indicazione del tipo di strumento e delle relative caratteristiche tecniche;
- certificato di taratura dei singoli strumenti, con indicazione della sensibilità iniziale e della deriva strumentale, di data non anteriore di sei mesi la data di posa.
- risultati della tesatura iniziale (frequenza di zero) per le barrette e della lettura di zero per le celle di carico
- documentazione di eventuali misure di controllo effettuate;
- schema grafico del cablaggio alla centralina di lettura o al datalogger (ove previsto)

13.3.5 Celle di carico sul rivestimento di prima fase (centine metalliche)

Per la determinazione dell'azione assiale agente nelle centine del rivestimento di prima fase è possibile installare celle di carico da inserire tra le piastre di giunzione fra gli spezzoni di cui è composta la centina. installazione le centine saranno opportunamente modificate tagliando il profilato e saldando due piastre di giunzione supplementari all'interno delle quali saranno inserite e fissate le celle di carico.
La cella di carico tipo è costituita da un corpo in acciaio inossidabile sensibilizzato da una serie di griglie estensimetriche (strain-gauges) applicate alla superficie interna del corpo stesso ed isolate. Una piastra di acciaio permette l'omogenea ripartizione del carico sull'intero corpo della cella. La deformazione indotta dal carico alla cella viene rilevata dagli strain-gauges e trasformata in un segnale elettrico proporzionale al carico agente.

13.3.5.1 Specifiche tecniche

Materiale	acciaio inossidabile 17- 4PH
Segnale in uscita	mV/V o 4-20 mA
campo di misura	da 3.000 a 3.700 KN
range di temperatura	-10, +55 °C
Precisione	1% F.S.
Carico ammissibile	150% F.S.

13.3.5.2 Modalità d'installazione

Le procedure di installazione da adottarsi dovranno essere le seguenti:

- effettuare (in officina meccanica) la modifica ad hoc dei piedritti in modo che l'inserimento della cella di carico non determini una variazione di geometrie e ingombri;
- inserire e fissare la cella di carico nel mezzo delle piastre di giunzione del piedritto modificato e tra le piastre di giunzione del piedritto-calotta: la superficie di contatto tra la cella e le piastre di giunzione dei vari spezzoni della centina devono essere perfettamente piane per garantire il trasferimento ottimale dei carichi assiali dal profilato alla cella;
- fissare i cavi della cella di carico all'interno dell'anima della centina con semplice filo di legatura. Cavi che verranno sciolti e cablati ad un pannello di centralizzazione o direttamente all'Unità di Acquisizione Dati.

13.3.5.3 Documentazione d'installazione

La documentazione fornita alla DL in seguito all'installazione dello strumento dovrà comprendere:

- informazioni generali (commessa, cantiere, opera, progressiva della sezione strumentata, data, nominativo dell'operatore);
- Codifica dei singoli strumenti;
- schema grafico di installazione degli strain meters e delle celle di carico sulla centina con indicazione dell'orientazione e della posizione;
- documentazione tecnica relativa agli strumenti installati rilasciata dal produttore, con indicazione del tipo di strumento e delle relative caratteristiche tecniche;
- certificato di taratura dei singoli strumenti, con indicazione della sensibilità iniziale e della deriva strumentale, di data non anteriore di sei mesi la data di posa.
- risultati della tesatura iniziale (frequenza di zero) per le barrette e della lettura di zero per le celle di carico
- documentazione di eventuali misure di controllo effettuate;
- schema grafico del cablaggio alla centralina di lettura o al datalogger (ove previsto)

13.3.6 Martinetto piatto strumentato nel rivestimento di prima fase (betoncino proiettato)

Per la determinazione della tensioni assiali che agiscono sul betoncino proiettato è possibile eseguire prove di martinetto piatto sullo strato di betoncino proiettato che costituisce il rivestimento di prima fase. I martinetti installati per l'esecuzione della prova potranno essere successivamente lasciati in posizione e strumentati con trasduttori di pressione elettrici collegati a una centralina di acquisizione automatica per registrare eventuali variazioni dello stato tensionale nel tempo.
La prova prevede l'esecuzione, mediante una sega circolare diamantata, di un taglio dello spessore di 4 mm. Il rilascio delle tensioni determina una parziale chiusura dell'intaglio che è rilevata mediante misura con estensimetro meccanico rimovibile. Si inserisce quindi un martinetto piatto avente la stessa sagoma dell'intaglio e spessore di 4 mm. Il martinetto è pressurizzato fino ad ottenere l'annullamento della deformazione verificatasi in fase di realizzazione dell'intaglio.
Lo stato di sollecitazione in direzione normale al piano di prova è ottenuto dalla pressione esistente nel martinetto quando si verifica l'annullamento della deformazione (pressione di ripristino), moltiplicata per una costante sperimentale < 1 dipendente dalla geometria del martinetto, dalla sua rigidezza, etc.. La costante sperimentale è determinata attraverso calibrazione dei martinetti in laboratorio con una pressa da 5000 kN.

13.3.6.1 Specifiche tecniche

MARTINETTO PIATTO

Forma martinetto	Semi-ogivale
Dimensioni	350 x 260 x 3,5 mm per betoncino proiettato con spessore ≥ 30 cm
	300 x 150 x 3,5 mm per betoncino proiettato con spessore < 30 cm

L'utilizzo di martinetti piatti con forma e dimensioni differenti da quelle sopra indicate dovrà essere preventivamente autorizzato dalla DL.

TRASDUTTORE DI PRESSIONE

Fondo scala	10 MPa

Carico ammissibile	100% FS
Risoluzione	0,025% FS
Accuratezza	<0,5% FS
Segnale di uscita	Frequenza
Temperatura operativa	-20°C +100°C
Materiale	Acciaio inossidabile

13.3.6.2 Modalità d'installazione

Le modalità esecutive della prova di ogni martinetto piatto saranno le seguenti:

- installazione sulla parete di almeno 6 basi di misura, disposte simmetricamente (3 per ogni lato) rispetto alla linea sulla quale si eseguirà il taglio;
- misura delle distanze reciproche tra le basi installate, in corrispondenza delle diverse sezioni;
- scavo di un taglio piano, normale alla parete, equidistante dalle basi di misura, di dimensioni tali da alloggiare il martinetto piatto; il taglio dovrà essere eseguito utilizzando una sega dotata di disco diamantato munita di un apposito telaio di guida, parallelo alla direzione di taglio;
- misura della distanza tra le basi e registrazione dello spostamento delle stesse dopo l'esecuzione del taglio e del conseguente rilascio tensionale; la misura dovrà poi essere ripetuta ad intervalli regolari fino al raggiungimento della massima deformazione (creep);
- inserimento del martinetto nel taglio praticato e sua dilatazione, con gradini di carico di 0.5 MPa, fino ad annullare per intero lo spostamento delle basi dovuto al taglio, annotando i diversi gradini di carico applicati ed i relativi spostamenti delle basi, fino a raggiungere il carico a cui corrisponde il ripristino della distanza tra le basi di misura che esisteva prima dell'esecuzione del taglio; il carico massimo andrà mantenuto per 15 minuti in modo da misurare la deformazione di creep, leggendo le deformazioni delle basi ogni 5 minuti; il carico deve quindi essere riportato a zero seguendo gli stessi gradini utilizzati precedentemente (decrementi di 0.5 MPa) e leggendo le deformazioni delle basi corrispondenti; alla fine del ciclo, una pressione nulla andrà mantenuta per 15 minuti, leggendo le deformazioni delle basi ogni 5 minuti.
- esecuzione di almeno altri 2 cicli di prova a pressione crescente impiegando almeno 10 incrementi tensionali uguali per ciascun ciclo fino alla massima pressione raggiungibile, che è determinata in funzione del tipo di martinetto impiegato, delle caratteristiche di resistenza della roccia e della pressione di cancellazione registrata nel primo ciclo.

13.3.6.3 Documentazione d'installazione

La documentazione fornita alla DL in seguito all'installazione dello strumento dovrà comprendere:

- informazioni generali (commessa, cantiere, opera, progressiva della sezione strumentata, data, nominativo dell'operatore);
- Codifica dei singoli strumenti;
- schema grafico di installazione dei martinetti nel prerivestimento con indicazione dell'orientazione e della dimensione dell'intaglio;
- documentazione tecnica relativa ai singoli martinetti installati rilasciata dal produttore, con indicazione delle dimensioni dello strumento e delle relative caratteristiche tecniche;
- report interpretativo della prova di carico iniziale, che conterrà per ogni prova:
  - dati identificativi della prova;

- valori delle deformazioni dovuti all'intaglio;
- andamento cronologico della pressione applicata al martinetto;
- curve pressione deformazione;
- valore della pressione di ripristino, della costante del martinetto, e della tensione misurata.

- Certificato della prova di calibrazione del martinetto piatto, con indicazione della costante sperimentale
- certificato di taratura dei trasduttori di pressione, con indicazione della sensibilità iniziale e della deriva strumentale, di data non anteriore di sei mesi la data di posa.
- risultati della lettura iniziale mediante trasduttore di pressione
- documentazione di eventuali misure di controllo effettuate;
- schema grafico del cablaggio alla centralina di lettura o al datalogger (opve previsto)

13.3.7 Estensimetro multibase

Al fine di stimare le deformazioni radiali del cavo e dell'ammasso nel medio lungo termine è possibile installare estensimetri multibase a barre ubicati radicalmente rispetto al cavo, attrezzati con trasduttori di spostamento elettrico per consentire la misura in automatico delle deformazioni.
Il sistema prevede l'installazione, all'interno di perforazioni, di punti di ancoraggio collegati alla superficie con aste di vetroresina protette da una robusta guaina esterna. Le aste, libere di scorrere all'interno della loro guaina protettiva, trasferiscono il movimento del punto di ancoraggio alla testa dello strumento. Tale movimento viene rilevato tramite un trasduttore di spostamento elettrico.

13.3.7.1 Specifiche tecniche

ESTENSIMETRO A BARRE

Materiale aste	fibra di vetro
Coefficiente di espansione lineare	3,5*10-6/°C
Diametro astine	7 mm
Guaina protettiva	nylon
Numero basi	4 basi

TRASDUTTORE DI SPOSTAMENTO

Range di misura	50-100 mm
Tipo di sensore	Potenziometro lineare
Linearità	0,02% FS
Accuratezza	0,01% FS
Grado di protezione	IP 56
Temperatura operativa	da –10 a 50°C

13.3.7.2 Modalità d'installazione

Le procedure di installazione da adottarsi dovranno essere le seguenti:

- posizionare l'estensimetro svolto in prossimità del foro in cui sarà installato;

- inserire la dima di installazione sulla testa dell'estensimetro per bloccare lo scorrimento delle barre in vetroresina durante l'installazione;
- inserire la base più lunga nella cavità all'interno del foro fissando il tubo di iniezione con nastro adesivo ad intervalli regolari. Quando si arriva ad un ancoraggio, montare il centratore. Ripetere l'operazione per tutte le basi di misura;
- fissare e sigillare la testa dell'estensimetro a bocca foro con cemento a presa rapida o con l'utilizzo di un packer gonfiabile;
- quando la testa estensimetrica risulta fissata si passa alla cementazione per iniezione dello strumento (la composizione della miscela cementizia per installazioni in roccia è normalmente la seguente: 80 Kg di acqua, 55 Kg di cemento, 5,5 Kg di bentonite attivata) si deve procedere iniettando la malta cementizia dal tubetto più lungo. In questo caso, se non si verificano inconvenienti durante l'iniezione si deve vedere fuoriuscire malta, contemporaneamente dagli altri due tubetti;
- sigillare i tubi di iniezione e di sfiato;
- attendere il tempo necessario per consentire la completa maturazione della miscela cementizia (a tal scopo, durante la fase di iniezione dello strumento, è opportuno riempire di miscela una piccola cavità in roccia o un piccolo contenitore in polistirolo per sincerarsi direttamente della consistenza del prodotto);
- sbloccare le aste di misura interne rimuovendo la dima di installazione dalle connessioni;
- installare i trasduttori elettrici di spostamento;
- cablare le terminazioni elettriche utilizzando un cavo multipolare per ogni estensimetro;
- proteggere la testa estensimetrica con il proprio coperchio;
- svolgere i cavi elettrici, aventi una lunghezza tale da raggiungere il pannello di centralizzazione e lettura o direttamente alla Unità di Acquisizione Dati.

13.3.7.3 Documentazione d'installazione

La documentazione fornita alla DL in seguito all'installazione dello strumento dovrà comprendere:

- informazioni generali (commessa, cantiere, opera, progressiva della sezione strumentata, data, nominativo dell'operatore);
- stratigrafia del foro di sondaggio (se eseguito a carotaggio continuo);
- diametro del foro di sondaggio;
- Codifica dello strumento;
- Schema grafico con indicazione dell'ubicazione e orientazione dello strumento relativamente alla sezione d'installazione;
- documentazione tecnica relativa agli strumenti installati rilasciata dal produttore, con indicazione del tipo di strumento e delle relative caratteristiche tecniche;
- caratteristiche della miscela utilizzata per la cementazione;
- schema di installazione nel foro degli estensimetri con indicazione della profondità degli ancoraggi;
- Certificati di taratura dei trasduttori di spostamento, con indicazione della sensibilità iniziale e della deriva strumentale, di data non anteriore di sei mesi dalla data di posa;
- risultati della calibrazione iniziale con indicazione dello zero iniziale espresso in centesimi di millimetro, della temperatura dell'aria, della roccia e del sistema estensimetrico;
- documentazione di tutte le misure eseguite.
- schema grafico del cablaggio alla centralina di lettura o al datalogger (ove previsto)

13.3.8 Estensimetro incrementale

Al fine di stimare le deformazioni radiali del cavo e dell'ammasso nel medio lungo termine è possibile installare estensimetri incrementali posti radicalmente rispetto al cavo.
Il tubo di misura è costituito da una serie di tubi in PVC o ABS di lunghezza pari a un metro e di diametro interno pari a circa 60 mm, opportunamente assemblati per raggiungere la lunghezza desiderata. Gli spezzoni di tubo sono forniti di manicotti che fungono sia da collegamento che da base per la battuta della sonda. L'installazione del tubo si completa con la cementazione dello strumento all'interno del foro. Le misure all'interno del tubo saranno effettuate per mezzo di sonda manuale in grado di rilevare sia gli spostamenti planimetrici per tutta la lunghezza del tubo con passo di 1 metro.

13.3.8.1 Specifiche tecniche

Materiale tubo	HPVC o ABS: ϕ 63/70 mm esterno
Manicotti	manicotti in ABS
Interdistanza basi di misura	1 m
Sensore	LVDT
Base di misura	1000 mm
Campo di Misura (f.s.)	+/- 50 mm
Precisione del sistema (sonda +centralina di acquisizione)	+/-0.3 mm/m
Campo di Temperatura	0° / +40° C

13.3.8.2 Modalità d'installazione

La colonna estensimetrica deve essere installata in un foro con diametro minimo di 100 mm.
Precedentemente e/o contemporaneamente all'esecuzione del sondaggio si devono assemblare i vari spezzoni di tubo estensoinclinometrico secondo la seguente procedura :

- collegare due tubi estensimetrici tramite l'apposito manicotto. Il collegamento viene eseguito grazie agli appositi quattro fori circolari i quali devono coincidere con le rispettive sedi presenti nel tubo che viene infilato nel manicotto;
- sulla testa del tubo che viene infilato nel manicotto deve essere spalmato uno strato di silicone;
- inserire le viti a brugola nei quattro fori del manicotto ed avvitarle fino a portarle a filo del manicotto stesso, senza forzarle nelle loro sedi;
- sigillare con nastro adesivo la giunzione dei due tubi così uniti al fine di impedire l'entrata di boiacca all'interno della colonna estensimetrica;
- prendere un terzo tubo e collegarlo agli altri due seguendo le istruzioni suddette;
- ripetere le operazioni sopra descritte per gli altri spezzoni fino a raggiungere la lunghezza necessaria ma senza assemblare insieme più di tre tubi alla volta;
- collegare la cannetta di sfiato (costituita da materiale in PEAD PN6-10 DN 16-20) al tubo di fondo foro tramite robusti legacci realizzati con nastro adesivo o fascette tenditrici. La cannetta di iniezione sarà posizionata nel tratto di tubo posto in prossimità della bocca foro;
- calare nel foro i primi tre spezzoni di tubi, tra loro precedentemente assemblati, insieme alla cannetta di sfiato già ad essi collegata;

- calare nel foro altri tre metri di tubo, collegandoli direttamente a quelli già presenti nel foro attraverso il manicotto e seguendo le istruzioni precedentemente descritte;
- contemporaneamente calare nel foro anche la cannetta di iniezione e collegarla alla tubazione tramite nastro adesivo o fascette tenditrici;
- ripetere le tre operazioni precedentemente descritte fino a raggiungere la bocca foro, avendo collegare negli ultimi 3 metri di la cannetta corta di iniezione ;
- prima di procedere all'iniezione della boiacca cementizia si deve realizzare un tappo a bocca foro utilizzando cemento a presa rapida;
- iniettare a partire dalla cannetta corta la boiacca cementizia con le seguenti caratteristiche 80 Kg di acqua, 55 Kg di cemento, 5,5 Kg di bentonite attivata;
- a livello di riempimento raggiunto e stabilizzazione avvenuta, si deve procedere al lavaggio dell'interno del tubo strumentato al fine di eliminare eventuale sporcizia.

13.3.8.3 Documentazione d'installazione

La documentazione fornita alla DL in seguito all'installazione dello strumento dovrà comprendere:

- informazioni generali (commessa, cantiere, opera, progressiva della sezione strumentata, data, nominativo dell'operatore);
- codifica dello strumento;
- stratigrafia del foro di sondaggio (se eseguito a carotaggio)
- caratteristiche del tubo estensimetrico installato;
- caratteristiche della miscela utilizzata per la cementazione del tubo e quantità assorbita durante la cementazione;
- schema di installazione nel foro del tubo estensimetrico;
- Schema grafico con indicazione dell'ubicazione e orientazione dello strumento relativamente alla sezione d'installazione;

13.3.9 Barrette estensimetriche nel rivestimento definitivo

Per la determinazione delle deformazioni e la stima delle tensioni nel rivestimento definitivo, sia in calotta sia nell'arco rovescio, è possibile installare coppie di strain meters per calcestruzzo annegate tangenzialmente nel getto della calotta e/o dell'arco rovescio in estradosso ed estradosso.
Gli estensimetri a corda vibrante per cls sono costituiti da un corpo tubolare in acciaio inox sigillato, all'interno del quale si trova un filo di acciaio, tensionato tra due estremità a due supporti ancorati alla struttura da monitorare. Ogni deformazione della struttura comporterà uno spostamento relativo dei due blocchetti e una conseguente variazione di tensione della corda di acciaio. Tale tensione viene misurata eccitando la corda mediante un elettromagnete e rilevandone la frequenza di risonanza.

13.3.9.1 Specifiche tecniche

Lunghezza	250 mm
Segnale in uscita	Hertz
Accuratezza	<2,0% FS
campo di misura	3000 μs
range di temperatura	-20, +80 °C

Sensibilità	0,5 microstrain
Coefficiente di espansione termica	12,0 µs /°C

13.3.9.2 Modalità d'installazione

Le procedure di installazione da adottarsi dovranno essere le seguenti:

- preparare in cantiere un telaio metallico appositamente realizzato con tondini di ferro;
- fissare la struttura metallica così preparata nell'orientazione desiderata in maniera tale da renderla stabile durante il getto di calcestruzzo;
- fissare sul telaio l'estensimetro con del filo di ferro non troppo tesato. Ad una distanza simmetrica di 3-4 cm dall'elettromagnete fare 2 spirali di filo di ferro sui braccetti dello strumento e fissarle ai tondini della struttura metallica;
- fissare i cavi di segnale dell'estensimetro lungo il paramento della galleria con semplice filo di legatura fino ad un pannello di centralizzazione o direttamente all'Unità di Acquisizione Dati.
- qualora si debba effettuare l'installazione in cemento armato le procedure sono simili a quelle precedenti se non che l'estensimetro verrà fissato ai ferri dell'armatura preesistenti.
- per installare gli estensimetri in un cubo di calcestruzzo le procedure di installazione da adottarsi dovranno essere le seguenti:
- preparare un cassero di legno o una struttura a pannelli metallici di 1 m3 ove effettuare il getto di calcestruzzo;
- preparare un telaio metallico appositamente realizzato in officina meccanica con tondini di ferro al fine di poter fissare con legature metalliche i 3 estensimetri con orientazione ortogonali gli uni agli altri;
- fissare sul telaio gli estensimetri con del filo di ferro non troppo tesato. Ad una distanza simmetrica di 3-4 cm dall'elettromagnete di ogni strumento fare 2 spirali di filo di ferro sui braccetti e fissarle ai tondini della struttura metallica;
- fissare i cavi di segnale degli estensimetri con fascette di plastica alla struttura metallica posta all'interno del cassero;
- fare uscire i cavi di segnale dalla sommità del cassero e collegarli ad un pannello di centralizzazione o direttamente all'Unità di Acquisizione Dati.

13.3.9.3 Documentazione d'installazione

La documentazione fornita alla DL in seguito all'installazione dello strumento dovrà comprendere:

- informazioni generali (commessa, cantiere, opera, progressiva della sezione strumentata, data, nominativo dell'operatore);
- Codifica dei singoli strumenti;
- schema grafico di installazione degli strain meters e delle celle di pressione all'interno del rivestimento definitivo con indicazione dell'orientazione e della posizione;
- documentazione tecnica relativa agli strumenti installati rilasciata dal produttore, con indicazione del tipo di strumento e delle relative caratteristiche tecniche;
- certificato di taratura dei singoli strumenti, con indicazione della sensibilità iniziale e della deriva strumentale, di data non anteriore di sei mesi la data di posa.
- risultati della tesatura iniziale (frequenza di zero) per le barrette e della lettura di zero per le celle di carico
- documentazione di eventuali misure di controllo effettuate;
- schema grafico del cablaggio alla centralina di lettura o al datalogger (ove previsto)

13.3.10 Celle di pressione nel rivestimento definitivo

Per stimare l'azione assiale nel rivestimento definitivo è possibile installare celle di pressione per cls installate radicalmente.

La cella di pressione consiste in un piatto di forma rettangolare o circolare, riempito di olio disperato e collegato ad un trasduttore di pressione elettrico o a corda vibrante mediante un tubo idraulico. La pressione che grava nel rivestimento definitivo viene trasmessa all'olio di cui è riempita la cella e viene misurata in modo elettrico la deformazione del diaframma sensibilizzato che costituisce il trasduttore di pressione.

13.3.10.1 Specifiche tecniche

Piatto cella	200 X 400 mm
Trasduttore di pressione	Diaframma ceramico
Fondo scala	5 MPa
Carico ammissibile	130% FS
Risoluzione	0,01% FS
Accuratezza	<0,3% FS
Segnale di uscita	4-20 mA
Range di temperatura	-10°C +55°C
Materiale	acciaio inossidabile

13.3.10.2 Modalità d'installazione

Le procedure di installazione da adottarsi dovranno essere le seguenti:

- una corretta installazione deve essere eseguita in modo che l'accoppiamento tra la cella e il getto di calcestruzzo sia garantito perfettamente.
- fissare la cella, mediante della legatura metallica, all'armatura o a rinforzi metallici del calcestruzzo o agli anelli di rinforzo della struttura. La cella deve essere fissata molto bene in modo da evitare che cambi posizione durante le fasi di cementazione;
- fissare il tubo idraulico di ripressurizzazione della cella ad una struttura di rinforzo (centina, rete o tubo di protezione), in modo tale da evitare stiramenti, proteggendolo con un leggero strato di malta;
- portare le terminazioni idrauliche in un punto facilmente accessibile per potere eventualmente ripressurizzare le celle;
- svolgere i cavi elettrici, aventi una lunghezza tale da raggiungere il pannello di centralizzazione e lettura o direttamente alla Unità di Acquisizione Dati fissandoli mediante legature di ferro al paramento della galleria.

13.3.10.3 Documentazione d'installazione

La documentazione fornita alla DL in seguito all'installazione dello strumento dovrà comprendere:

- informazioni generali (commessa, cantiere, opera, progressiva della sezione strumentata, data, nominativo dell'operatore);
- Codifica dei singoli strumenti;

- schema grafico di installazione degli strain meters e delle celle di pressione all'interno del rivestimento definitivo con indicazione dell'orientazione e della posizione;
- documentazione tecnica relativa agli strumenti installati rilasciata dal produttore, con indicazione del tipo di strumento e delle relative caratteristiche tecniche;
- certificato di taratura dei singoli strumenti, con indicazione della sensibilità iniziale e della deriva strumentale, di data non anteriore di sei mesi la data di posa.
- risultati della tesatura iniziale (frequenza di zero) per le barrette e della lettura di zero per le celle di carico
- documentazione di eventuali misure di controllo effettuate;
- schema grafico del cablaggio alla centralina di lettura o al datalogger (opve previsto)

13.3.11 Martinetto piatto strumentato nel rivestimento definitivo

Per la determinazione della tensioni assiali che agiscono sul rivestimento è possibile eseguire prove di martinetto piatto sul rivestimento definitivo di calotta. I martinetti installati per l'esecuzione della prova potranno essere successivamente lasciati in posizione e strumentati con trasduttori di pressione elettrici collegati a una centralina di acquisizione automatica per registrare eventuali variazioni dello stato tensionale nel tempo.
La prova prevede l'esecuzione, mediante una sega circolare diamantata si esegue un taglio dello spessore di 4 mm. Il rilascio delle tensioni determina una parziale chiusura dell'intaglio che è rilevata mediante misura con estensimetro meccanico rimovibile. Si inserisce quindi un martinetto piatto avente la stessa sagoma dell'intaglio e spessore di 4 mm. Il martinetto è pressurizzato fino ad ottenere l'annullamento della deformazione verificatasi in fase di realizzazione dell'intaglio.
Lo stato di sollecitazione in direzione normale al piano di prova è ottenuto dalla pressione esistente nel martinetto quando si verifica l'annullamento della deformazione (pressione di ripristino), moltiplicata per una costante sperimentale < 1 dipendente dalla geometria del martinetto, dalla sua rigidezza, etc.. La costante sperimentale è determinata attraverso calibrazione dei martinetti in laboratorio con una pressa da 5000 kN.

13.3.11.1 Specifiche tecniche

MARTINETTO PIATTO

Forma martinetto	Semi-ogivale
Dimensioni	350 x 260 x 3,5 mm

L'utilizzo di martinetti piatti con forma e dimensioni differenti da quelle sopra indicate dovrà essere preventivamente autorizzato dalla DL.

TRASDUTTORE DI PRESSIONE

Fondo scala	10 MPa
Carico ammissibile	100% FS
Risoluzione	0,025% FS
Accuratezza	<0,5% FS
Segnale di uscita	Frequenza
Temperatura operativa	-20°C +100°C

Materiale	Acciaio inossidabile

13.3.11.2 Modalità d'installazione

Le modalità esecutive della prova saranno le seguenti:

- rilievo dei caratteri geomeccanici della parete da sottoporre a prova, al fine di individuare eventuali anisotropie dell'ammasso roccioso e di permettere la scelta della direzione più opportuna per l'esecuzione del taglio.
- installazione sulla parete di almeno 6 basi di misura, disposte simmetricamente (3 per ogni lato) rispetto alla linea sulla quale si eseguirà il taglio;
- misura delle distanze reciproche tra le basi installate, in corrispondenza delle diverse sezioni;
- scavo di un taglio piano, normale alla parete, equidistante dalle basi di misura, di dimensioni tali da alloggiare il martinetto piatto; il taglio dovrà essere eseguito utilizzando una sega dotata di disco diamantato munita di un apposito telaio di guida, parallelo alla direzione di taglio;
- misura della distanza tra le basi e registrazione dello spostamento delle stesse dopo l'esecuzione del taglio e del conseguente rilascio tensionale; la misura dovrà poi essere ripetuta ad intervalli regolari fino al raggiungimento della massima deformazione (creep);
- inserimento del martinetto nel taglio praticato e sua dilatazione, con gradini di carico di 0.5 MPa, fino ad annullare per intero lo spostamento delle basi dovuto al taglio, annotando i diversi gradini di carico applicati ed i relativi spostamenti delle basi, fino a raggiungere il carico a cui corrisponde il ripristino della distanza tra le basi di misura che esisteva prima dell'esecuzione del taglio; il carico massimo andrà mantenuto per 15 minuti in modo da misurare la deformazione di creep, leggendo le deformazioni delle basi ogni 5 minuti; il carico deve quindi essere riportato a zero seguendo gli stessi gradini utilizzati precedentemente (decrementi di 0.5 MPa) e leggendo le deformazioni delle basi corrispondenti; alla fine del ciclo, una pressione nulla andrà mantenuta per 15 minuti, leggendo le deformazioni delle basi ogni 5 minuti.
- esecuzione di almeno altri 2 cicli di prova a pressione crescente impiegando almeno 10 incrementi tensionali uguali per ciascun ciclo fino alla massima pressione raggiungibile, che è determinata in funzione del tipo di martinetto impiegato, delle caratteristiche di resistenza della roccia e della pressione di cancellazione registrata nel primo ciclo.

13.3.11.3 Documentazione d'installazione

La documentazione fornita alla DL in seguito all'installazione dello strumento dovrà comprendere:

- informazioni generali (commessa, cantiere, opera, progressiva della sezione strumentata, data, nominativo dell'operatore);
- Codifica dei singoli strumenti;
- schema grafico di installazione dei martinetti nel prerivestimento con indicazione dell'orientazione e della dimensione dell'intaglio;
- documentazione tecnica relativa ai singoli martinetti installati rilasciata dal produttore, con indicazione delle dimensioni dello strumento e delle relative caratteristiche tecniche;
- report interpretativo della prova di carico iniziale, che conterrà per ogni prova:
  - dati identificativi della prova;
  - valori delle deformazioni dovuti all'intaglio;
  - andamento cronologico della pressione applicata al martinetto;
  - curve pressione deformazione;
  - valore della pressione di ripristino, della costante del martinetto, e della tensione misurata.

- Certificato della prova di calibrazione del martinetto piatto, con indicazione della costante sperimentale
- certificato di taratura dei trasduttori di pressione, con indicazione della sensibilità iniziale e della deriva strumentale, di data non anteriore di sei mesi la data di posa.
- risultati della lettura iniziale mediante trasduttore di pressione
- documentazione di eventuali misure di controllo effettuate;
- schema grafico del cablaggio alla centralina di lettura o al datalogger (ove previsto)

13.3.12 Prove Doorstopper sul rivestimento definitivo

Per la determinazione delle deformazioni e la stima delle tensioni nel rivestimento definitivo è possibile eseguire prove doorstopper da effettuarsi nell'estradosso del rivestimento definitivo.
La prova consente di determinare lo stato tensionale nell'ammasso roccioso attraverso la misura con cella estensimetrica triassiale delle deformazioni delle pareti di un foro pilota eseguito all'interno di un foro di sondaggio, a seguito delle liberazione delle tensioni ottenuta mediante sovracarotaggio.
La prova con cella estensimetrica triassiale utilizza 3 rosette estensimetriche diversamente orientate, permettendo così con un'unica prova il rilievo completo dello stato tensionale naturale dell'ammasso roccioso.

13.3.12.1 Modalità d'installazione e di esecuzione della prova

Il fondo del foro nel tratto nel quale si intende eseguire la misura dovrà essere privo di giunti o discontinuità; a tale scopo il tratto da testare dovrà essere ispezionato con una sonda televisiva.
La prova dovrà essere eseguita secondo la metodologia seguente:

- esecuzione di un foro a carotaggio integrale di diametro variabile tra circa 120 e circa 150 mm in funzione della attrezzatura impiegata;
- esecuzione dal fondo del foro di sondaggio di un foro pilota coassiale del diametro di 36 ÷ 38 mm e di lunghezza adeguata all'alloggiamento della cella o della sonda estensimetrica triassiale impiegata;
- esame visivo della carota estratta, che dovrà essere priva di giunti o discontinuità nel tratto di misura; in caso contrario il carotaggio dovrà essere prolungato e dovrà essere eseguito un altro foro pilota a partire dal nuovo fondo foro;
- inserimento nel foro pilota della cella estensimetrica triassiale e incollaggio delle rosette estensimetriche sulle pareti del foro; nel caso di impiego di sonda estensimetrica l'incollaggio avverrà mediante estrusione ad aria compressa di resina sintetica da un serbatoio alloggiato nella sonda stessa; nel caso di impiego di una semplice cella estensimetrica triassiale, il collante dovrà essere preventivamente applicato alle rosette estensimetriche;
- asciugatura del collante;
- esecuzione della lettura di zero degli estensimetri;
- approfondimento del foro mediante sovracarotaggio con carotiere a pareti sottili di diametro adeguato all'attrezzatura impiegata;
- recupero a giorno della cella triassiale insieme con la carota di roccia in cui è inserita;
- collegamento della cella alla centralina di misura per la misura degli spostamenti indotti dal rilascio tensionale conseguente al sovracarotaggio, da effettuare in condizioni di equilibrio termico; in caso di impiego di cella estensimetrica triassiale tipo C.S.I.R.O. si effettuerà un monitoraggio continuo delle deformazioni durante le operazioni di sovracarotaggio;

La determinazione delle costanti elastiche della roccia, necessarie per il calcolo delle tensioni, potrà essere ricavata da una prova di compressione monoassiale con rilievo delle deformazioni assiali e

diametrali, da eseguirsi in laboratorio su un campione della stessa roccia, oppure sottoponendo a prova la porzione di roccia contenente la cella estensimetrica con un'apposita pressa radiale.

13.3.12.2 Documentazione relativa alla prova

Gli elaborati prodotti a seguito della prova saranno i seguenti:

- tabelle delle deformazioni degli estensimetri;
- descrizione della formulazione matematica interpretativa per il calcolo delle tensioni;
- tabelle con i valori di modulo di elasticità e di rapporto di Poisson utilizzati per i calcoli e modalità di prova con cui sono stati misurati;
- tabella dei valori dei tensori di sforzo calcolati e relativi intervalli di confidenza;
- tabella dei valori delle tensioni principali calcolate e relative orientazioni.

13.3.12.3 Piezometro elettrico radiale

Per il controllo del carico piezometrico al contorno del cavo nel medio lungo termine, è possibile installare piezometrici elettrici a corda vibrante in 2 perforazioni eseguite in direzione suborizzontale all'altezza dei piedritti. I piezometri saranno solitamente attrezzati con datalogger per consentire la misura in automatico.

13.3.12.4 Specifiche tecniche

Principio di funzionamento	A corda vibrante
Campo di misura	Da definire (su indicazione del ttista/ DL)
Massimo sovraccarico	30 % del F.S.
Deriva termica	Non superiore a 0,05% del FS /°C
precisione	0.3% F.S.
sensibilità	0.01% F.S.
Segnale in uscita	frequenza
Campo di temperatura	-10 ÷ +55°C
Materiale	Acciaio inox

L'utilizzo di piezometri elettrici con caratteristiche tecniche differenti da quanto sopra riportato dovrà essere preventivamente autorizzato dalla Direzione Lavori.

13.3.12.5 Preparazione del foro

Se il piezometro non deve essere posato a fondo foro, il foro dovrà essere riempito, ritirando man mano il rivestimento, fino ad una quota di 0.5 m più bassa di quella di installazione, con una miscela acqua-cemento-bentonite in proporzioni tali che la consistenza della miscela, a posa avvenuta, sia simile a quella del terreno nella zona del piezometro.
Una volta avutasi la presa, il foro deve essere accuratamente lavato con acqua pulita (previo degrado nel caso di presenza di fango a polimeri), interponendo se necessario un sottile tappo di palline di bentonite e ghiaietto per stabilizzare il tetto della miscela plastica.
Al fine di evitare perdite di saturazione del piezometro durante le fasi di installazione il foro dovrà essere mantenuto costantemente pieno d'acqua. Inoltre prima dell'inserimento nel foro il piezometro,

contenuto in un sacchetto di geotessile riempito di sabbia e acqua, dovrà essere inserito in un secondo sacchetto impermeabile pieno d'acqua da rompere una volta immerso in acqua all'interno del foro di sondaggio. L'inserimento del piezometro nel sacchetto di geotessile e nel sacchetto impermeabile dovrà essere eseguito all'interno di un contenitore pieno d'acqua.

13.3.12.6 Modalità d'installazione

L'installazione seguirà la seguente procedura, avendo cura, per ogni singola fase, di scandagliare la profondità del foro in modo da rispettare la profondità di posa di progetto:

- posa di uno spessore di 0.5 m di sabbia fine e pulita;
- discesa a quota del piezometro elettrico, inserito all'interno di un sacchetto di geotessile riempito di sabbia e acqua, e del cavo elettrico di collegamento;
- posa di sabbia attorno al piezometro e al di sopra per circa 0.5 m, ritirando man mano il rivestimento, senza l'ausilio della rotazione, con l'avvertenza di controllare che cella e cavi non risalgano assieme al rivestimento;
- posa di un tampone impermeabile dello spessore complessivo di 1 m, realizzato inserendo bentonite in palline (Ø = 1 ÷ 2 cm) in strati di 20 cm alternata a ghiaietto in strati di 2 ÷ 3 cm, ritirando sempre man mano il rivestimento;
- riempimento del foro al di sopra del tampone impermeabile con una miscela plastica acqua-cemento-bentonite (con proporzioni in peso rispettivamente di 100, 30 e 5), calata attraverso apposite aste discese sul fondo del foro;
- sistemazione e protezione della boccaforo con la creazione di un chiusino in acciaio verniciata, ben cementato nel'ammasso, munito di coperchio con lucchetto e chiavi che verranno consegnate alla Direzione Lavori;
- al termine dell'installazione dovrà essere eseguito il rilievo topografico fornendo le coordinate plano-altimetriche della testa dello strumento. Dovrà inoltre essere installato, un paletto identificativo con codifica dello strumento adiacente allo stesso. In alternativa, si potrà rivettare al chiusino, o al coperchio, un'etichetta metallica con l'identificativo dello strumento
- esecuzione della prima lettura significativa tramite centralina portatile.
- Sistemazione dei cavi di segnale a boccaforo con terminale di misura alloggiato in cassetta di protezione o cablato fino a centralina di acquisizione dati (datalogger), avendo la massima cura, durante le successive lavorazioni in cantiere, a non danneggiare i cavi di segnali

13.3.12.7 Documentazione d'installazione

La documentazione fornita alla DL in seguito all'installazione dello strumento dovrà comprendere:

- informazioni generali (commessa, cantiere, opera, progressiva della sezione strumentata, data, nominativo dell'operatore);
- codifica dello strumento;
- diametro e stratigrafia del foro di sondaggio (se eseguito a carotaggio continuo);
- Schema grafico con indicazione dell'ubicazione e orientazione della perforazione relativamente alla sezione d'installazione;
- caratteristiche del piezometro e schema di installazione nel foro, con indicazione della profondità del piezometro nel foro;
- documentazione tecnica relativa agli strumenti installati rilasciata dal produttore, con indicazione del tipo di strumento e delle relative caratteristiche tecniche;
- Quota del piano campagna, quota assoluta o relativa e coordinate planimetriche della testa di misura;

- certificato di taratura del sensore piezometrico, con indicazione della sensibilità iniziale e della deriva strumentale, di data non anteriore di sei mesi la data di posa;
- tabella con le letture eseguite per la determinazione della prima lettura significativa.
- schema grafico del cablaggio alla centralina di lettura o al datalogger (opve previsto)

13.3.13 Estrusimetro

La determinazione della distanza di influenza entro la quale si manifestano gli effetti dello scavo, nel volume di ammasso situato dietro al fronte, è l'obiettivo principale di questo tipo di monitoraggio.
Queste misure di spostamento dell'ammasso roccioso a seguito dell'avanzamento del fronte di scavo, congiuntamente alle misure di convergenza, consentiranno di valutare il comportamento tenso-deformativo dell'ammasso nella zona più prossima al fronte di scavo (estrusioni e preconvergenze).
Il tubo di misura è costituito da una serie di tubi in PVC o ABS di lunghezza pari a un metro e di diametro interno pari a circa 60 mm, opportunamente assemblati per raggiungere la lunghezza desiderata. Gli spezzoni di tubo sono forniti di manicotti che fungono sia da collegamento che da base per la battuta della sonda. L'installazione del tubo si completa con la cementazione dello strumento all'interno del foro. Le misure all'interno del tubo saranno effettuate per mezzo di sonda manuale in grado di rilevare sia gli spostamenti planimetrici per tutta la lunghezza del tubo con passo di 1 metro.

13.3.13.1 Specifiche tecniche

Materiale tubo	HPVC ϕ 63/70 mm esterno
Manicotti-anelli di misura	manicotti in ABS
Interdistanza basi di misura	1 m
Sensore	LVDT
Base di misura	1000 mm
Campo di Misura (f.s.)	+/- 50 mm
Precisione del sistema (sonda + UAD)	+/-0.3 mm/m
Campo di Temperatura	0° / +40° C

13.3.13.2 Modalità d'installazione

La colonna estensimetrica deve essere installata in un foro con diametro minimo di 100 mm.
Precedentemente e/o contemporaneamente all'esecuzione del sondaggio si devono assemblare i vari spezzoni di tubo estensoinclinometrico secondo la seguente procedura :

- collegare due tubi estensimetrici tramite l'apposito manicotto. Il collegamento viene eseguito grazie agli appositi quattro fori circolari i quali devono coincidere con le rispettive sedi presenti nel tubo che viene infilato nel manicotto;
- Sulla testa del tubo che viene infilato nel manicotto deve essere spalmato uno strato di silicone;
- inserire le viti a brugola nei quattro fori del manicotto ed avvitarle fino a portarle a filo del manicotto stesso, senza forzarle nelle loro sedi;
- sigillare con nastro adesivo la giunzione dei due tubi così uniti al fine di impedire l'entrata di boiacca all'interno della colonna estensimetrica;

- prendere un terzo tubo e collegarlo agli altri due seguendo le istruzioni suddette;
- ripetere le operazioni sopra descritte per gli altri spezzoni fino a raggiungere la lunghezza necessaria ma senza assemblare insieme più di tre tubi alla volta;
- collegare la cannetta di sfiato (costituita da materiale in PEAD PN6-10 DN 16-20) al tubo di fondo foro tramite robusti legacci realizzati con nastro adesivo o fascette tenditrici. La cannetta di iniezione sarà posizionata nel tratto di tubo posto in prossimità della bocca foro;
- calare nel foro i primi tre spezzoni di tubi, tra loro precedentemente assemblati, insieme alla cannetta di sfiato già ad essi collegata;
- calare nel foro altri tre metri di tubo, collegandoli direttamente a quelli già presenti nel foro attraverso il manicotto e seguendo le istruzioni precedentemente descritte;
- contemporaneamente calare nel foro anche la cannetta di iniezione e collegarla alla tubazione tramite nastro adesivo o fascette tenditrici;
- ripetere le ultime tre operazioni precedentemente descritte fino a raggiungere la bocca foro avendo collegare negli ultimi 3 metri di la cannetta corta di iniezione ;
- prima di procedere all'iniezione della boiacca cementizia si deve realizzare un tappo a bocca foro utilizzando cemento a presa rapida;
- iniettare a partire dalla cannetta corta la boiacca cementizia con le seguenti caratteristiche 80 Kg di acqua, 55 Kg di cemento, 5,5 Kg di bentonite attivata;
- a livello di riempimento raggiunto e stabilizzazione avvenuta, si deve procedere al lavaggio dell'interno del tubo strumentato al fine di eliminare eventuale sporcizia.

13.3.13.3 Documentazione d'installazione

La documentazione fornita alla DL in seguito all'installazione dello strumento dovrà comprendere:

- informazioni generali (commessa, cantiere, opera, progressiva della sezione strumentata, data, nominativo dell'operatore);
- codifica dello strumento;
- stratigrafia del foro di sondaggio (se eseguito a carotaggio)
- caratteristiche del tubo estensimetrico installato;
- caratteristiche della miscela utilizzata per la cementazione del tubo e quantità assorbita durante la cementazione;
- schema di installazione nel foro del tubo estensimetrico;
- Schema grafico con indicazione dell'ubicazione dello strumento sul fronte;

13.4 Monitoraggio di versanti e opere all'aperto

Durante la realizzazione di opere geotecniche all'aperto e successivamente nella fase di esercizio dell'opera, deve essere sempre eseguito un monitoraggio con lo scopo di:

- tenere sotto controllo eventuali movimenti dei versanti adiacenti all'opera o la possibile riattivazione di frane quiescenti interferenti con l'opera, che possano mettere a rischio la sicurezza del cantiere o l'integrità dell'opera stessa;
- verificare la validità delle previsioni progettuali attraverso un confronto sistematico, in corso d'opera, tra le stesse previsioni e le prestazioni/comportamento del terreno nell'intorno dell'opera;
- assicurare che l'opera sia in grado di esplicare le sue funzioni nel tempo, risultando idonea all'esercizio, resistente e stabile senza riduzioni significative della sua integrità o necessità di interventi di manutenzione straordinari.
- Verificare che lo stato di sollecitazione della struttura rimanga entro i limiti fissati dal progetto anche nella fase di esercizio.

13.4.1 Piezometro tipo Casagrande

Il piezometro tipo Casagrande consente il rilievo, mediante apposita sondina elettrica (freatimetro) munita di cavo graduato, della profondità della superficie piezometrica, attraverso l'inserimento in un foro di sondaggio di un piezometro costituito da un filtro cilindrico collegato a due tubicini rigidi in PVC per il raccordo con la superficie.
Il piezometro tipo Casagrande è adatto a terreni poco permeabili.
Il piezometro può essere attrezzato successivamente con trasduttore di pressione per letture automatizzate.

13.4.1.1 Specifiche tecniche

La cella tipo Casagrande è costituita da un cilindro poroso di materiale plastico (ad es. polietilene soffiato) o di ceramica, che dovrà avere un diametro minimo di 50 mm e una lunghezza non inferiore a 200 mm; il collegamento del cilindro poroso con la superficie è assicurato da due tubicini rigidi in PVC (andata e ritorno); il tubicino in andata dovrà avere diametro non inferiore a 1.5" (gas) per permettere l'eventuale inserimento all'interno della tubazione di un trasduttore di pressione elettrico mentre, il tubicino in ritorno dovrà avere un diametro interno non inferiore a 15 mm e uno spessore non inferiore a 3 mm; i singoli spezzoni di tubo, di lunghezza generalmente variabile tra 1.5 e 3 m, dovranno essere collegati tra loro da appositi manicotti di giunzione. L'innesto tra la cella e la tubazione da 1.5" dovrà essere realizzato mediante apposito raccordo idraulico.
Le caratteristiche generali della cella piezometrica dovranno essere le seguenti:

Filtro	Diametro esterno 55 mm circa e lunghezza tra 100 e 500 mm
Materiale	Agglomerato di polietilene o equivalente
Porosità	Tra 20 e 60 micron

L'utilizzo di celle o tubi piezometrici di materiali o dimensioni diversi da quelli descritti dovrà essere subordinato ad approvazione da parte della Direzione Lavori.
Nel caso il piezometro sia attrezzato mediante trasduttore di pressione, quest'ultimo dovrà soddisfare le seguenti specifiche tecniche:

Principio di funzionamento	A corda vibrante
Campo di misura	Da definire
Massimo sovraccarico	30 % del F.S.
Deriva termica	Non superiore a 0,05% del FS /°C
precisione	0.3% F.S.
sensibilità	0.01% F.S.
Segnale in uscita	frequenza
Campo di temperatura	-10 ÷ +55°C
Materiale	Acciaio inox

13.4.1.2 Preparazione del foro

La perforazione del foro di sondaggio in cui andrà installata la cella Casagrande dovrà essere eseguita utilizzando, come fluido di circolazione, acqua oppure fango a polimeri degradabili. In nessun caso è permesso l'uso di fango bentonitico.

Se la cella Casagrande non deve essere posata a fondo foro, il foro dovrà essere riempito, ritirando man mano il rivestimento, fino ad una quota di 0.5 m più bassa di quella di installazione, con una miscela acqua-cemento-bentonite in proporzioni tali che la consistenza della miscela, a posa avvenuta, sia simile a quella del terreno nella zona del piezometro.
Una volta avutasi la presa, il foro deve essere accuratamente lavato con acqua pulita (previo degrado nel caso di presenza di fango a polimeri), interponendo se necessario un sottile tappo di palline di bentonite e ghiaietto per stabilizzare il tetto della miscela plastica.

13.4.1.3 Modalità d'installazione

L'installazione seguirà le seguenti fasi, avendo cura, per ogni singolo step, di scandagliare la profondità del foro in modo da rispettare la profondità di posa di progetto:

- posa di uno spessore di 0.5 m di sabbia grossa o ghiaietto pulito (Ø = 1 ÷ 4 mm);
- discesa a quota della cella Casagrande, precedentemente assemblata con i due tubicini rigidi in PVC; i singoli spezzoni di tubo dovranno essere collegati tra loro mediante appositi manicotti di giunzione, opportunamente sigillati;
- posa di sabbia grossa o ghiaietto pulito (Ø = 1 ÷ 4 mm) attorno alla cella Casagrande e al di sopra per circa 0.5 m, ritirando man mano il rivestimento, senza l'ausilio della rotazione, con l'avvertenza di controllare che cella e tubicini non risalgano assieme al rivestimento;
- posa di un tampone impermeabile dello spessore complessivo di 1 m, realizzato inserendo bentonite in palline (Ø = 1 ÷ 2 cm) in strati di 20 cm alternata a ghiaietto in strati di 2 ÷ 3 cm, ritirando sempre man mano il rivestimento;
- riempimento del foro al di sopra del tampone impermeabile con una miscela plastica acqua-cemento-bentonite (con proporzioni in peso rispettivamente di 100, 30 e 5), calata attraverso apposite aste discese sul fondo del foro;
- sistemazione e protezione della estremità del piezometro con la creazione di un chiusino in acciaio verniciata, ben cementato nel terreno, munito di coperchio con lucchetto e chiavi che verranno consegnate alla Direzione Lavori; nel caso di installazione in luoghi aperti al traffico veicolare o pedonale (strade, piazzali, marciapiedi), e solo su specifica richiesta della D.L., in luogo del chiusino standard dovrà essere installato idoneo chiusino carrabile in ghisa, posto in opera a filo della pavimentazione esistente;
- al termine dell'installazione dovrà essere eseguito il rilievo topografico fornendo le coordinate plano-altimetriche della testa dello strumento. Dovrà inoltre essere installato, un paletto identificativo con codifica dello strumento adiacente allo stesso. In alternativa, si potrà rivettare al chiusino, o al coperchio, un'etichetta metallica con l'identificativo dello strumento
- esecuzione della prima lettura significativa, da considerarsi tale dopo aver eseguito almeno tre letture, la prima delle quali deve avvenire a non meno di due ore dalla realizzazione del piezometro e le successive a distanza di 24 ore l'una dall'altra, fino a completa stabilizzazione del livello dell'acqua nel foro; la misura del livello dovrà essere eseguita in entrambi i tubi del piezometro, controllando così che il circuito e il filtro siano liberi da bolle d'aria o impurità che possano impedire il libero flusso dell'acqua; in caso di rilevamento di un livello dell'acqua non uguale nei due tubi, dovrà essere eseguito il lavaggio dei tubi; a questa fase di controllo dovrà presenziare la Direzione Lavori che successivamente prenderà in consegna il piezometro.

Nel caso si preveda l'automatizzazione del piezometro Casagrande, è richiesta l'installazione all'interno del piezometro di un trasduttore di pressione (inserito all'interno di una custodia appositamente sagomata con anello di tenuta) che sigilli il tubo a diametro maggiorato (1 ½") e di un tappo con tenuta tale da garantire la possibilità di realizzare la "chiusura" del secondo tubo (di diametro ½") e quindi della cella. Per l'installazione, si devono eseguire le seguenti operazioni:

- Lavaggio del piezometro prima dell'installazione del trasduttore;

- Controllo dell'integrita' del filtro e del suo corretto montaggio sul corpo della cella;
- Saturazione della cella porosa in acqua disarmata;
- inserimento del traduttore con la punta conica e il contrappeso (es. tubo in acciaio inox appoggiato allo strumento) entro il tubo in PVC da 1 ½" reggendolo per il cavo elettrico, fino a che vada ad inserirsi nella sede sulla cella porosa; per accertarsi che la quota raggiunta coincida con la quota di posa del filtro, controllare la lunghezza del cavo introdotto;
- durante la posa del trasduttore, devono essere eseguite letture di controllo per verificare il corretto funzionamento del trasduttore in relazione al carico piezometrico nel foro.
- collegamento del sensore alla centralina di misura ed inserimento del sensore nel tubo di misura, fino a raggiungere la sede di esercizio, ponendo particolare cura per evitare sovrappressioni dannose per il trasduttore, e lettura del livello di falda mediante misuratore di livello nel tubo da 1/2";
- esecuzione di una misura mediante centralina;
- inserimento nel tubo da 1/2" dell'elemento di chiusura dopo il ripristino delle condizioni iniziali (livello di falda stabilizzato);
- esecuzione di una misura dopo alcune ore dall'ultimazione dell'installazione della strumentazione ripetute nei giorni successivi.

Ad installazione ultimata, deve essere protetto la parte fuoriuscente del piezometro da p.c. mediante un pozzetto in cls o tubo metallico PVC serie pesante.

13.4.1.4 Documentazione d'installazione

La documentazione dovrà comprendere:

- informazioni generali (commessa, cantiere, ubicazione, data, nominativo dell'operatore);
- codifica dello strumento;
- stratigrafia del foro di sondaggio (se eseguito a carotaggio continuo);
- tipo e schema di installazione nel foro della cella Casagrande;
- Quota del piano campagna, quota assoluta o relativa e coordinate planimetriche della testa di misura;
- Stralcio planimetrico di Progetto con indicazione dell'ubicazione dello strumento;
- tabella con le letture eseguite per la determinazione della prima lettura significativa.

Nel caso d'installazione del trasduttore di pressione, è richiesta la seguente documentazione aggiuntiva:

- documentazione tecnica del trasduttore rilasciata dal produttore, con indicazione del tipo di strumento e delle relative caratteristiche tecniche;
- certificato di taratura del sensore piezometrico, con indicazione della sensibilità iniziale e della deriva strumentale, di data non anteriore di sei mesi la data di posa;
- tabella con le letture eseguite per la determinazione della prima lettura significativa.

13.4.2 Piezometro elettrico

Il piezometro elettrico installato in un foro di sondaggio consente di misurare direttamente la pressione o sovrappressione interstiziale in un terreno fine limoso-argilloso. I piezometri saranno solitamente attrezzati con datalogger per consentire la misura in automatico.

13.4.2.1 Specifiche tecniche

Principio di funzionamento	A corda vibrante

Campo di misura	Da definire (su indicazione del ttista/ DL)
Massimo sovraccarico	30 % del F.S.
Deriva termica	Non superiore a 0,05% del FS /°C
precisione	0.3% F.S.
sensibilità	0.01% F.S.
Segnale in uscita	frequenza
Campo di temperatura	-10 ÷ +55°C
Materiale	Acciaio inox

L'utilizzo di piezometri elettrici con caratteristiche tecniche differenti da quanto sopra riportato dovrà essere preventivamente autorizzato dalla Direzione Lavori.

13.4.2.2 Preparazione del foro

La perforazione del foro di sondaggio in cui andrà installato il piezometro dovrà essere eseguita utilizzando, come fluido di circolazione, acqua oppure fango a polimeri degradabili. In nessun caso è permesso l'uso di fango bentonitico.
Se il piezometro non deve essere posato a fondo foro, il foro dovrà essere riempito, ritirando man mano il rivestimento, fino ad una quota di 0.5 m più bassa di quella di installazione, con una miscela acqua-cemento-bentonite in proporzioni tali che la consistenza della miscela, a posa avvenuta, sia simile a quella del terreno nella zona del piezometro.
Una volta avutasi la presa, il foro deve essere accuratamente lavato con acqua pulita (previo degrado nel caso di presenza di fango a polimeri), interponendo se necessario un sottile tappo di palline di bentonite e ghiaietto per stabilizzare il tetto della miscela plastica.
Al fine di evitare perdite di saturazione del piezometro durante le fasi di installazione il foro dovrà essere mantenuto costantemente pieno d'acqua. Inoltre prima dell'inserimento nel foro il piezometro, contenuto in un sacchetto di geotessile riempito di sabbia e acqua, dovrà essere inserito in un secondo sacchetto impermeabile pieno d'acqua da rompere una volta immerso in acqua all'interno del foro di sondaggio. L'inserimento del piezometro nel sacchetto di geotessile e nel sacchetto impermeabile dovrà essere eseguito all'interno di un contenitore pieno d'acqua.

13.4.2.3 Modalità d'installazione

L'installazione seguirà la seguente procedura, avendo cura, per ogni singola fase, di scandagliare la profondità del foro in modo da rispettare la profondità di posa di progetto:

- posa di uno spessore di 0.5 m di sabbia fine e pulita;
- discesa a quota del piezometro elettrico, inserito all'interno di un sacchetto di geotessile riempito di sabbia e acqua, e del cavo elettrico di collegamento;
- posa di sabbia attorno al piezometro e al di sopra per circa 0.5 m, ritirando man mano il rivestimento, senza l'ausilio della rotazione, con l'avvertenza di controllare che cella e cavi non risalgano assieme al rivestimento;
- posa di un tampone impermeabile dello spessore complessivo di 1 m, realizzato inserendo bentonite in palline (Ø = 1 ÷ 2 cm) in strati di 20 cm alternata a ghiaietto in strati di 2 ÷ 3 cm, ritirando sempre man mano il rivestimento;

- riempimento del foro al di sopra del tampone impermeabile con una miscela plastica acqua-cemento-bentonite (con proporzioni in peso rispettivamente di 100, 30 e 5), calata attraverso apposite aste discese sul fondo del foro;
- sistemazione e protezione della boccaforo con la creazione di un chiusino in acciaio verniciata, ben cementato nel terreno, munito di coperchio con lucchetto e chiavi che verranno consegnate alla Direzione Lavori; nel caso di installazione in luoghi aperti al traffico veicolare o pedonale (strade, piazzali, marciapiedi), e solo su specifica richiesta della D.L., in luogo del chiusino standard dovrà essere installato idoneo chiusino carrabile in ghisa, posto in opera a filo della pavimentazione esistente;
- al termine dell'installazione dovrà essere eseguito il rilievo topografico fornendo le coordinate plano-altimetriche della testa dello strumento. Dovrà inoltre essere installato, un paletto identificativo con codifica dello strumento adiacente allo stesso. In alternativa, si potrà rivettare al chiusino, o al coperchio, un'etichetta metallica con l'identificativo dello strumento
- esecuzione della prima lettura significativa tramite centralina portatile.
- Sistemazione dei cavi di segnale a boccaforo in scatola di centralizzazione per lettura con centralina portatile o cablaggio a Unità di Acquisizione dati.

13.4.2.4 Documentazione d'installazione

La documentazione fornita alla DL in seguito all'installazione dello strumento dovrà comprendere:

- informazioni generali (commessa, cantiere, ubicazione, data, nominativo dell'operatore);
- codifica dello strumento;
- diametro e stratigrafia del foro di sondaggio (se eseguito a carotaggio continuo);
- schema di installazione del piezometro nel foro;
- documentazione tecnica del piezometro rilasciata dal produttore, con indicazione del tipo di strumento e delle relative caratteristiche tecniche;
- Quota del piano campagna, quota assoluta o relativa e coordinate planimetriche della testa di misura;
- Stralcio planimetrico di Progetto con indicazione dell'ubicazione dello strumento;
- certificato di taratura del sensore piezometrico, con indicazione della sensibilità iniziale e della deriva strumentale, di data non anteriore di sei mesi la data di posa;
- tabella con le letture eseguite per la determinazione della prima lettura significativa;
- schema grafico del cablaggio alla centralina di lettura o al datalogger (opve previsto).

13.4.3 Tubo inclinometrico

L'installazione di un tubo inclinometrico in un foro di sondaggio consente, attraverso misure ripetute nel tempo, la misura dello spostamento orizzontale del terreno lungo tutta la verticale. Tali misure vengono effettuate introducendo nel tubo una apposita sonda inclinometrica che, dotata di sensori servoaccelerometrici di elevata precisione, consente di misurare l'inclinazione del tubo in corrispondenza di una determinata sezione.

13.4.3.1 Normative e specifiche di riferimento

ASTM D 4622 - 86 (1993) - Standard Test Method for Rock Mass Monitoring Using Inclinometers.

13.4.3.2 Caratteristiche della strumentazione

I tubi inclinometrici dovranno essere di alluminio o in ABS e dovranno avere una sezione circolare provvista di quattro scanalature con funzione di guida per la sonda inclinometrica.

Le dimensioni del tubo inclinometrico, per una perforazione di 101 mm, dovranno essere le seguenti:

- $ø_{int}$ tubo = 76 mm;
- $ø_{int}$ guide = 82 mm;
- $ø_{est}$ guide = 86 mm;

Dimensioni diverse del tubo inclinometrico da installare nel foro, in funzione di un diverso diametro di perforazione, dovranno essere indicate nel progetto delle indagini o dovranno essere comunicate all'Impresa direttamente dalla Direzione Lavori.
I tubi inclinometrici, che dovranno essere disponibili in spezzoni di 3 m, dovranno soddisfare i seguenti requisiti:

- massa non inferiore a 1350 g/m;
- spiralatura dei tubi inferiore a 0.5°/m;
- assoluta perpendicolarità delle sezioni terminali degli spezzoni di tubo rispetto all'asse del tubo, con la tolleranza di 1°.

I tubi inclinometrici dovranno essere assemblati mediante manicotti di giunzione, della lunghezza minima di 300 mm, che dovranno soddisfare il seguente requisito: øint guide manicotto < øest guide tubo inclinometrico + circa 1 mm.
Il gioco massimo di accoppiamento tra i tubi (sfalsamento rotazionale) dovuto ai soli manicotti non dovrà essere superiore a 1°/giunto.
In caso di installazione di tubi inclinometrici in ambiente aggressivo (ambienti alcalini, presenza di correnti vaganti, ecc.) in luogo dei tubi in alluminio si utilizzeranno tubi in ABS di spessore minimo non inferiore a 4 mm, il cui utilizzo tuttavia dovrà essere subordinato a preventiva autorizzazione da parte della Direzione Lavori.
In nessun caso potranno essere installati tubi inclinometrici in materiali diversi (ad es. PVC o vetroresina).

13.4.3.3 Controlli preliminari

In cantiere, prima dell'installazione, dovrà essere controllato quanto segue:

- i tubi e i manicotti non devono avere lesioni o schiacciature dovute al trasporto, soprattutto nelle parti terminali;
- le estremità dei tubi e dei manicotti non dovranno avere sbavature che possano compromettere il buon accoppiamento dei tubi e lo scorrimento della sonda di misura;
- il tubo per l'iniezione della miscela di cementazione, applicato all'esterno della colonna inclinometrica, dovrà essere perfettamente efficiente;
- la miscela di cementazione che dovrà essere costituita da acqua, cemento pozzolanico e bentonite rispettivamente in proporzione di 100, 30 e 5 parti in peso;
- dovranno essere controllati infine il diametro delle punte del trapano, il diametro e la lunghezza dei rivetti, il tipo e la scadenza del mastice, l'efficienza della morsa di sostegno.

13.4.3.4 Preparazione del foro

La perforazione del foro di sondaggio in cui verrà installato il tubo inclinometrico dovrà essere verticale e di diametro non inferiore a 101 mm e non superiore a 127 mm, con una deviazione globale dalla verticale non superiore al 2%. La perforazione dovrà essere eseguita a carotaggio continuo.
Diametri di perforazione non inclusi nel range indicato dovranno essere approvati dalla DL.
Una volta installato il tubo inclinometrico, il rivestimento del foro dovrà essere estratto con movimenti di sola trazione e assolutamente senza rotazione della colonna del rivestimento, per evitare danneggiamenti e soprattutto fenomeni di spiralatura del tubo inclinometrico. Per facilitare le operazioni di estrazione della colonna del rivestimento, essa dovrà avere giunti con filettatura M/F

senza manicotti o ingrossamenti esterni (colonna liscia), dovrà essere in ottimo stato (senza scampanature in corrispondenza dei giunti filettati) e dovrà essere di notevole spessore (10 mm circa).

13.4.3.5 Installazione

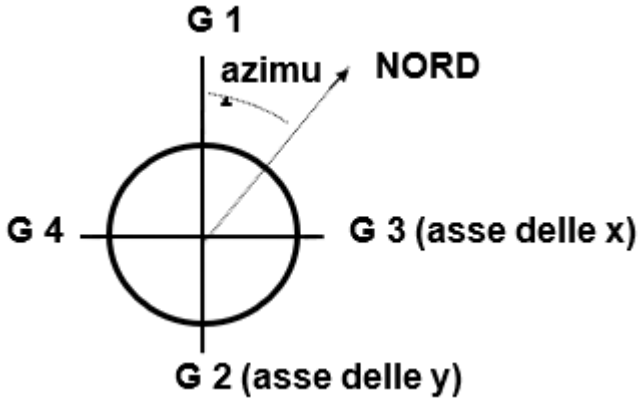
La posa in opera dei tubi inclinometrici dovrà avvenire in accordo con le seguenti modalità:

- lavaggio accurato con acqua pulita del foro di sondaggio;
- preassemblaggio dei tubi inclinometrici in spezzoni di 6 m, terminanti ad un estremo con un manicotto. La realizzazione dei giunti dovrà avvenire nel modo seguente:
- inserimento del manicotto sul tubo per metà della sua lunghezza;
- realizzazione dei fori per i rivetti (> 4 per ogni tubo) lungo generatrici equidistanti dalle guide e a circa 50 mm dall'estremità del manicotto;
- con il manicotto in posizione mediante delle spine, inserimento di un altro tubo e realizzazione degli altri fori per i rivetti;
- rimozione del manicotto;
- applicazione di un sottile strato di mastice all'esterno del tubo e all'interno del manicotto;
- inserimento del primo tubo nel manicotto e chiodatura con rivetti;
- attesa di circa 10' e quindi applicazione di una abbondante fasciatura con nastro adesivo autovulcanizzante, evitando assolutamente bruschi movimenti che possano causare torsioni;
- montaggio del tappo di fondo sul primo spezzone di tubo, già munito di manicotto, e fissaggio dell'estremità inferiore del tubo per l'iniezione della miscela cementizia; nel caso in cui il tappo di fondo sia provvisto di apposita valvola unidirezionale per l'iniezione della miscela questultima operazione non sarà necessaria;
- inserimento del primo spezzone di tubo nel foro (in terreni sotto falda riempire il tubo di acqua per contrastare la spinta di Archimede e favorirne l'affondamento);
- bloccaggio del tubo mediante apposita morsa, in modo che dal foro fuoriescano circa 40 ÷ 50 cm di tubo più il manicotto;
- inserimento dello spezzone successivo; incollaggio, rivettatura e sigillatura del giunto;
- allentamento della morsa per permettere di calare il tubo nel foro (riempiendolo d'acqua se necessario) fissando nel contempo il tubo di iniezione;
- bloccaggio del tubo con la morsa, in modo che dal foro fuoriescano circa 40 ÷ 50 cm di tubo più il manicotto;
- prosecuzione delle operazioni descritte fino al completamento della colonna, annotando la lunghezza dei tratti di tubo e la posizione dei manicotti;
- cementazione del tubo inclinometrico da fondo foro, da eseguire a bassissima pressione, in ogni caso non superiore a 200 kPa, attraverso il tubo di iniezione o attraverso la valvola di fondo, osservando la risalita della miscela cementizia all'esterno del tubo inclinometrico; il rivestimento di perforazione dovrà essere estratto, operando solo a trazione e senza rotazione, non appena la miscela appare in superficie; nella fase di estrazione del rivestimento il rabbocco della miscela potrà essere eseguito da testa foro, per mantenere il livello costante a p.c.; qualora si noti l'abbassamento del livello della miscela il rabbocco dovrà continuare nei giorni successivi;
- accurato lavaggio con acqua pulita dell'interno del tubo inclinometrico mediante attrezzo a fori radiali preferibilmente dotato di pattini zigrinati per la pulizia delle guide;
- installazione a testa foro di un chiusino di protezione in acciaio verniciato; il chiusino di protezione, che dovrà essere ben cementato al terreno, dovrà sporgere di almeno di 10 cm dalla sommità del tubo inclinometrico, dovrà essere provvisto di un coperchio con chiusura antigelo e dotato di lucchetto e chiavi che dovranno essere consegnate alla Direzione Lavori; nel caso

di installazione in luoghi aperti al traffico veicolare o pedonale (strade, piazzali, marciapiedi), e solo su specifica richiesta della D.L., in luogo del chiusino standard dovrà essere installato idoneo chiusino carrabile in ghisa, posto in opera a filo della pavimentazione esistente;
- controllo della funzionalità della tubazione mediante il calaggio nel foro una sonda testimone, lungo le guide del tubo fino a fondo foro. Il tubo inclinometrico verrà dichiarato idoneo, in via preliminare, se la sonda testimone sarà passata in tutte e quattro le guide senza incontrare ostacoli sia in discesa sia in risalita.
- al termine dell'installazione dovrà essere eseguito il rilievo topografico fornendo le coordinate plano-altimetriche della testa dello strumento. Dovrà inoltre essere installato, un paletto identificativo con codifica dello strumento adiacente allo stesso. In alternativa, si potrà rivettare al chiusino un'etichetta metallica con l'identificativo dello strumento.

13.4.3.6 Prescrizioni minime di accettazione della tubazione inclinometrica

Al termine delle operazioni di installazione e cementazione, non prima di 10 ÷ 14 giorni dalla installazione del tubo, si dovrà verificare la funzionalità della tubazione inclinometrica attraverso il controllo della continuità e dell'allineamento degli spezzoni di tubo e la verifica della rispondenza dell'inclinazione e della spiralatura della tubazione alle specifiche di accettazione.
Le operazioni di collaudo e la lettura iniziale di riferimento saranno eseguite dalla Società incaricata del successivo monitoraggio, in contraddittorio con l'Impresa e alla presenza della Direzione Lavori.
Il controllo verrà eseguito calando nel foro una sonda testimone (di caratteristiche analoghe a quella da utilizzarsi per le successive misure), facendola scorrere lungo le guide del tubo fino a fondo foro, estraendola e quindi ripetendo l'operazione altre tre volte, dopo aver ruotato la sonda di 90° ogni volta che viene estratta dal foro. Il tubo inclinometrico verrà dichiarato idoneo se la sonda testimone sarà passata in tutte e quattro le guide senza incontrare ostacoli sia in discesa sia in risalita. In questa fase inoltre verrà scelta la guida di riferimento (guida 1), preferibilmente orientata secondo la probabile direzione di movimento, se ne misurerà l'azimut, e si numereranno tutte le guide secondo lo schema seguente:



Successivamente dovranno essere verificate anche la verticalità e la spiralatura del tubo, che verrà dichiarato idoneo se la deviazione dalla verticale rilevata sarà inferiore al 2% e la spiralatura totale sarà inferiore a 0.5°/metro lineare.

13.4.3.7 Documentazione richiesta relativa all'installazione

La documentazione fornita alla DL in seguito all'installazione dello strumento dovrà comprendere:
- informazioni generali (commessa, cantiere, ubicazione, data, nominativo dell'operatore);
- codifica dello strumento;

- stratigrafia del foro di sondaggio;
- caratteristiche del tubo inclinometrico installato;
- caratteristiche della miscela utilizzata per la cementazione del tubo e quantità assorbita durante la cementazione;
- schema di installazione nel foro del tubo inclinometrico;
- quota del piano campagna, quota assoluta o relativa e coordinate planimetriche della testa di misura;
- stralcio planimetrico di Progetto con indicazione dell'ubicazione dello strumento;
- azimut della guida di riferimento e schema della numerazione delle guide;
- misura di deviazione dalla verticale;
- misura della spiralatura.

La documentazione richiesta deve essere fornita sia su formato cartaceo, che tramite supporto informatico in formato testo o excel.

13.4.4 Estensimetro multibase ad aste

Le misure con estensimetri da foro consentono di monitorare gli spostamenti relativi tra la testa di un foro di sondaggio comunque orientato ed un ancoraggio fissato in profondità all'interno dello stesso; in un singolo foro di sondaggio possono essere posizionati più estensimetri ad asta con ancoraggi a diverse profondità.

Il sistema prevede l'installazione, all'interno di perforazioni, di punti di ancoraggio collegati alla superficie con aste di vetroresina protette da una robusta guaina esterna. Le aste, libere di scorrere all'interno della loro guaina protettiva, trasferiscono il movimento del punto di ancoraggio alla testa dello strumento. Tale movimento viene rilevato o tramite un trasduttori di spostamento elettrico installati alla testa delle astine di misura.

13.4.4.1 Normative e specifiche di riferimento

ASTM D 4403 - 84 (94) - Standard Practice for Extensometers Used in Rock

13.4.4.2 Specifiche tecniche

Gli estensimetri ad asta a singola base (ancoraggio) o multibase saranno costituiti dai seguenti elementi:

- testa di misura in ferro zincato ad una o più basi con alloggiamenti in acciaio inox per i comparatori e/o trasduttori lineari di spostamento protetti da tappo in plastica, dotata di coperchio di protezione a tenuta stagna;
- riscontri di lettura con astine filettate di lunghezza non inferiore a 150 mm riposizionabili;
- aste di misura in acciaio con idoneo sistema di accoppiamento e dotate di tubazione rigida di protezione in PVC o acciaio;
- ancoraggi profondi in acciaio ad aderenza migliorata di lunghezza non inferiore a 500 mm da cementare alle pareti del foro;
- sistema di collegamento tra gli ancoraggi e le aste di misura;
- tubo di iniezione della malta cementizia.

Le caratteristiche generali della strumentazione dovranno essere le seguenti:

Estensimetro a barre

Materiale aste	fibra di vetro
Coefficiente di espansione lineare	3,5*10-6/°C
Diametro astine	7 mm

Guaina protettiva	nylon
Numero basi	3 basi

Trasduttore di spostamento

Range di misura	50-100 mm
Tipo di sensore	Potenziometro lineare
Linearità	0,02% FS
Accuratezza	0,01% FS
Grado di protezione	IP 56
Temperatura operativa	da –10 a 50°C

13.4.4.3 Preparazione del foro

Il foro per l'installazione di basi estensimetriche ad asta dovrà avere diametro non inferiore a 101 mm nel caso di estensimetri fino a 3 basi di misura e non inferiore a 127 mm nel caso di estensimetri fino a 6 basi di misura e dovrà avere una lunghezza superiore di almeno 50 cm della lunghezza relativa alla base di ancoraggio più profonda.
Una volta installate le basi di misura, il rivestimento del foro dovrà essere estratto con movimenti di sola trazione e assolutamente senza rotazione della colonna del rivestimento, per evitare danneggiamenti e/o spostamenti delle basi di ancoraggio e delle astine in vetroresina. Per facilitare le operazioni di estrazione della colonna del rivestimento, essa dovrà avere giunti con filettatura M/F senza manicotti o ingrossamenti esterni (colonna liscia), dovrà essere in ottimo stato (senza scampanature in corrispondenza dei giunti filettati) e dovrà essere di notevole spessore (10 mm circa).

13.4.4.4 Installazione

Al termine dell'esecuzione del foro si provvederà ad installare nel foro gli estensimetri ad asta, avendo cura di posizionare gli ancoraggi esattamente alle profondità indicate dal progetto delle indagini o dalla Direzione Lavori.
Le procedure di installazione da adottarsi dovranno essere le seguenti:

- posizionare l'estensimetro svolto in prossimità del foro in cui sarà installato;
- inserire la dima di installazione sulla testa dell'estensimetro per bloccare lo scorrimento delle barre in vetroresina durante l'installazione;
- inserire la base più lunga nella cavità all'interno del foro fissando il tubo di iniezione con nastro adesivo ad intervalli regolari. Quando si arriva ad un ancoraggio, montare il centratore. Ripetere l'operazione per tutte le basi di misura;
- fissare e sigillare la testa dell'estensimetro a bocca foro con cemento a presa rapida o con l'utilizzo di un packer gonfiabile;
- quando la testa estensimetrica risulta fissata si passa alla cementazione per iniezione dello strumento (la composizione della miscela cementizia è normalmente la seguente: 100 Kg di acqua, 30 Kg di cemento, 5 Kg di bentonite attivata) si deve procedere iniettando la malta cementizia dal tubetto più lungo. In questo caso, se non si verificano inconvenienti durante l'iniezione si deve vedere fuoriuscire malta, contemporaneamente dagli altri due tubetti;
- sigillare i tubi di iniezione e di sfiato;
- attendere il tempo necessario per consentire la completa maturazione della miscela cementizia (a tal scopo, durante la fase di iniezione dello strumento, è opportuno riempire di miscela una

piccola cavità in roccia o un piccolo contenitore in polistirolo per sincerarsi direttamente della consistenza del prodotto);
- sbloccare le aste di misura interne rimuovendo la dima di installazione dalle connessioni;
- installare la piastra di riscontro delle astine di misura;
- A presa avvenuta procedere alla regolazione dello zero iniziale impiegando un comparatore centesimale o un trasduttore lineare di spostamento ed agendo sulla vite di regolazione della testa di misura, con esecuzione di almeno tre misure di riscontro;
- installare, se richiesti da Progetto o dalla Direzione Lavori, i trasduttori elettrici di spostamento:
- cablare le terminazioni elettriche utilizzando un cavo multipolare per ogni estensimetro;
- svolgere i cavi elettrici, aventi una lunghezza tale da raggiungere il pannello di centralizzazione e lettura o direttamente alla Unità di Acquisizione Dati;
- proteggere la testa estensimetrica con il proprio coperchio;
- nel caso di installazioni verticali da piano campagna, installare a testa foro un chiusino di protezione in acciaio verniciato; il chiusino di protezione, che dovrà essere ben cementato al terreno, dovrà sporgere di almeno di 10 cm dalla sommità della testa dello strumento, dovrà essere provvisto di un coperchio con chiusura antigelo e dotato di lucchetto e chiavi che dovranno essere consegnate alla Direzione Lavori; nel caso di installazione in luoghi aperti al traffico veicolare o pedonale (strade, piazzali, marciapiedi), e solo su specifica richiesta della D.L., in luogo del chiusino standard dovrà essere installato idoneo chiusino carrabile in ghisa, posto in opera a filo della pavimentazione esistente;
- al termine dell'installazione dovrà essere eseguito il rilievo topografico fornendo le coordinate plano-altimetriche della testa dello strumento. Dovrà inoltre essere installato, un paletto identificativo con codifica dello strumento adiacente allo stesso. In alternativa, si potrà rivettare al chiusino, o al coperchio, un'etichetta metallica con l'identificativo dello strumento.

13.4.4.5 Documentazione richiesta relativa all'installazione

La documentazione fornita alla DL in seguito all'installazione dello strumento dovrà comprendere:
- informazioni generali (commessa, cantiere, ubicazione, data, nominativo dell'operatore);
- stratigrafia del foro di sondaggio (se eseguito a carotaggio continuo);
- diametro del foro di sondaggio;
- Codifica dello strumento;
- Quota del piano campagna, quota assoluta o relativa e coordinate planimetriche della testa di misura;
- Stralcio planimetrico di Progetto con indicazione dell'ubicazione dello strumento;
- documentazione tecnica relativa allo strumento installato rilasciata dal produttore, con indicazione del tipo di strumento e delle relative caratteristiche tecniche;
- caratteristiche della miscela utilizzata per la cementazione;
- schema di installazione nel foro degli estensimetri con indicazione della profondità degli ancoraggi;
- Certificati di taratura dei trasduttori di spostamento, con indicazione della sensibilità iniziale e della deriva strumentale, di data non anteriore di sei mesi dalla data di posa;
- risultati della calibrazione iniziale con indicazione dello zero iniziale espresso in centesimi di millimetro, della temperatura dell'aria, della roccia e del sistema estensimetrico;
- documentazione di tutte le misure eseguite.

13.4.5 Tubazione per misura estensimetrica incrementale tipo increx e inclinometrica

La posa in opera all'interno di un foro di sondaggio comunque inclinato di una tubazione per misure estensimetriche incrementali consente, attraverso l'uso di una apposita sonda removibile, il rilievo delle variazioni di lunghezza lungo la tubazione conseguenti a deformazioni nel terreno in cui è inserita.
Il principio di funzionamento si basa sull'induzione elettromagnetica che consente di determinare la posizione e gli spostamenti di appositi anelli magnetici cementati alle pareti del foro.
La misura può essere accoppiata a misure inclinometriche, in modo da determinare gli spostamenti secondo tre componenti tra loro ortogonali.

13.4.5.1 Caratteristiche dell'attrezzatura e specifiche tecniche

I tubi estensimetrici dovranno essere di ABS e dovranno avere una sezione circolare provvista di quattro scanalature con funzione di guida per la sonda estensimetrica.
Le dimensioni del tubo estensimetrico, per una perforazione di 127 mm, dovranno essere le seguenti:

- $ø_{int}$ tubo = 60 mm;
- $ø_{est}$ tubo = 70 mm;
- $ø_{int}$ guide = 63.5 mm;
- spessore = 5.0 mm
- massa $\geq$ 1600 g/m

All'esterno del tubo estensimetrico dovranno essere posizionati ad intervalli di lunghezza di 1 m appositi anelli metallici di massa non inferiore a 600 g.
Le caratteristiche generali della strumentazione estensimetrica dovranno essere le seguenti:

Materiale tubo	HPVC o ABS: □ 63/70 mm esterno
Manicotti	manicotti in ABS
Interdistanza basi di misura	1 m
Sensore	LVDT
Base di misura	1000 mm
Campo di Misura (f.s.)	+/- 50 mm
Precisione del sistema (sonda +centralina di acquisizione)	+/-0.3 mm/m
Campo di Temperatura	0° / +40° C

Dimensioni diverse del tubo estensimetrico da installare nel foro, in funzione di un diverso diametro di perforazione, dovranno essere indicate nel progetto delle indagini o dovranno essere comunicate all'Impresa direttamente dalla Direzione Lavori.

13.4.5.2 Preparazione del foro

La perforazione del foro di sondaggio in cui verrà installato il tubo estensimetrico dovrà essere di diametro pari a 127 mm e dovrà avere l'orientazione indicata nel progetto delle indagini o dalla Direzione Lavori. La perforazione dovrà essere eseguita a carotaggio continuo.
Diametri di perforazione diversi da quello indicato dovranno essere indicati nel progetto delle indagini o dovranno essere comunicate all'Impresa direttamente dalla Direzione Lavori.
Una volta installato il tubo estensimetrico, il rivestimento del foro dovrà essere estratto con movimenti di sola trazione e assolutamente senza rotazione della colonna del rivestimento, per evitare danneggiamenti al tubo estensimetrico. Per facilitare le operazioni di estrazione della colonna

del rivestimento, essa dovrà avere giunti con filettatura M/F senza manicotti o ingrossamenti esterni (colonna liscia), dovrà essere in ottimo stato (senza scampanature in corrispondenza dei giunti filettati) e dovrà essere di notevole spessore (10 mm circa).

13.4.5.3 Controlli preliminari

In cantiere, prima dell'installazione, dovrà essere controllato quanto segue:

- i tubi e i manicotti non devono avere lesioni o schiacciature dovute al trasporto, soprattutto nelle parti terminali;
- le estremità dei tubi e dei manicotti non dovranno avere sbavature che possano compromettere il buon accoppiamento dei tubi e lo scorrimento della sonda di misura;
- l'eventuale tubo per l'iniezione della miscela di cementazione applicato all'esterno della colonna inclinometrica, dovrà essere perfettamente efficiente;
- la miscela di cementazione dovrà essere costituita da acqua, cemento e bentonite rispettivamente in proporzione di 100, 30 e 5 parti in peso.

13.4.5.4 Installazione

La posa in opera dei tubi estensimetrici dovrà avvenire in accordo con le seguenti modalità:

- lavaggio accurato con acqua pulita del foro di sondaggio;
- preassemblaggio dei tubi estensimetrici in spezzoni di 6 m, terminanti ad un estremo con un manicotto. L'accoppiamento dei manicotti con gli spezzoni di tubo dovrà avvenire impiegando apposito collante secondo la seguente procedura:
  - applicazione di un sottile strato di collante all'esterno del tubo e all'interno del manicotto;
  - inserimento del manicotto sul primo tubo per metà della sua lunghezza;
  - inserimento di un secondo spezzone di tubo nel manicotto;
  - attesa di circa 10' e quindi applicazione di una abbondante fasciatura con nastro adesivo autovulcanizzante, evitando assolutamente bruschi movimenti che possano causare torsioni;
- montaggio del tappo di fondo sul primo spezzone di tubo, già munito di manicotto, e fissaggio dell'estremità inferiore del tubo per l'iniezione della miscela cementizia; nel caso in cui il tappo di fondo sia provvisto di apposita valvola unidirezionale per l'iniezione della miscela questultima operazione non sarà necessaria;
- montaggio sul primo spezzone di tubo di un anello magnetico ogni metro di lunghezza, controllandone la posizione con apposito strumento spaziatore;
- inserimento del primo spezzone di tubo nel foro (in terreni sotto falda riempire il tubo di acqua per contrastare la spinta di Archimede e favorirne l'affondamento);
- bloccaggio del tubo mediante apposita morsa, in modo che dal foro fuoriescano circa 40 ÷ 50 cm di tubo più il manicotto;
- inserimento dello spezzone successivo su cui saranno stati posizionati ogni metro gli anelli magnetici; incollaggio e sigillatura del giunto;
- allentamento della morsa per permettere di calare il tubo nel foro (riempiendolo d'acqua se necessario) fissando nel contempo il tubo di iniezione;
- bloccaggio del tubo con la morsa, in modo che dal foro fuoriescano circa 40 ÷ 50 cm di tubo più il manicotto;
- prosecuzione delle operazioni descritte fino al completamento della colonna, annotando la lunghezza dei tratti di tubo e la posizione dei manicotti;
- cementazione del tubo estensimetrico, da eseguire a bassissima pressione, in ogni caso non superiore a 200 kPa, attraverso il tubo di iniezione o attraverso la valvola di fondo, osservando

la risalita della miscela cementizia all'esterno del tubo estensimetrico; il rivestimento di perforazione dovrà essere estratto, operando solo a trazione e senza rotazione, non appena la miscela appare in superficie; nella fase di estrazione del rivestimento il rabbocco della miscela potrà essere eseguito da testa foro, per mantenere il livello costante a p.c.; qualora si noti l'abbassamento del livello della miscela il rabbocco dovrà continuare nei giorni successivi;

- accurato lavaggio con acqua pulita dell'interno del tubo estensimetrico mediante attrezzo a fori radiali;
- installazione a testa foro di un chiusino di protezione in acciaio verniciato; il chiusino di protezione, che dovrà essere ben cementato al terreno, dovrà sporgere di almeno di 10 cm dalla sommità del tubo estensimetrico e dovrà essere provvisto di un coperchio con chiusura antigelo, dotato di lucchetto e chiavi che dovranno essere consegnate alla Direzione Lavori; nel caso di installazione in luoghi aperti al traffico veicolare o pedonale (strade, piazzali, marciapiedi), e solo su specifica richiesta della D.L., in luogo del chiusino standard dovrà essere installato idoneo chiusino carrabile in ghisa, posto in opera a filo della pavimentazione esistente;
- controllo della funzionalità della tubazione mediante il calaggio nel foro una sonda testimone, lungo le guide del tubo fino a fondo foro. La tubazione verrà dichiarata idonea, in via preliminare, se la sonda testimone sarà passata in tutte e quattro le guide senza incontrare ostacoli sia in discesa sia in risalita.
- al termine dell'installazione dovrà essere eseguito il rilievo topografico fornendo le coordinate plano-altimetriche della testa dello strumento. Dovrà inoltre essere installato, un paletto identificativo con codifica dello strumento adiacente allo stesso. In alternativa, si potrà rivettare al chiusino un'etichetta metallica con l'identificativo dello strumento.

13.4.5.5 Prescrizioni minime di accettazione della tubazione estensimetrica

Al termine delle operazioni di installazione e cementazione, non prima di 10 ÷ 14 giorni dalla installazione, si dovrà verificare la funzionalità della tubazione estensimetrica attraverso il controllo della continuità e dell'allineamento degli spezzoni di tubo.
Le operazioni di collaudo e la lettura iniziale di riferimento saranno eseguite dalla Società incaricata del successivo monitoraggio, in contraddittorio con l'Impresa e alla presenza della Direzione Lavori.
Il controllo verrà eseguito calando nel foro una sonda testimone, facendola scorrere lungo le guide del tubo fino a fondo foro, estraendola e quindi ripetendo l'operazione altre tre volte, dopo aver ruotato la sonda di 90° ogni volta che viene estratta dal foro. Il tubo estensimetrico verrà dichiarato idoneo se la sonda testimone sarà passata in tutte e quattro le guide senza incontrare ostacoli sia in discesa sia in risalita.
Successivamente si dovrà effettuare la calibrazione iniziale della tubazione mediante sonda estensimetrica incrementale avente, registrando le differenze di lunghezza di tutti i tratti strumentati rispetto alla lunghezza di riferimento di un metro.
La tubazione estensimetrica verrà dichiarata idonea se tutte le distanze relative tra i riscontri di misura installati risulteranno comprese entro la tolleranza di ± 5.0 mm rispetto alla distanza nominale di 1 m. Nel caso di utilizzo della tubazione come estenso-inclinometro inoltre la deviazione dalla verticale dovrà risultare inferiore al 2%.

13.4.5.6 Documentazione richiesta relativa all'installazione

La documentazione fornita alla DL in seguito all'installazione dello strumento dovrà comprendere:

- informazioni generali (commessa, cantiere, ubicazione, codifica dello strumento, data, nominativo dell'operatore);
- codifica dello strumento;

- stratigrafia del foro di sondaggio;
- caratteristiche del tubo estensimetrico installato;
- caratteristiche della miscela utilizzata per la cementazione del tubo e quantità assorbita durante la cementazione;
- schema di installazione nel foro del tubo estensimetrico;
- quota del piano campagna, quota assoluta o relativa e coordinate planimetriche della testa di misura;
- stralcio planimetrico di Progetto con indicazione dell'ubicazione dello strumento.

13.5 Monitoraggio della sovrastruttura in Ponti e Viadotti

13.5.1 Clinometro di superficie

L'installazione di un clinometro di superficie consente, attraverso misure ripetute nel tempo, la determinazione della variazione di inclinazione di una parete rocciosa, di singoli blocchi rocciosi o di elementi strutturali portanti.

13.5.1.1 Specifiche tecniche

La strumentazione dovrà essere costituita da:

- clinometro di superficie biassiale fisso dotato di appositi sensori servoaccelerometrici per la misura dell'inclinazione, rispondenti alle seguenti specifiche tecniche:

tipologia di sensore	servoaccelerometrico
campo di misura	$\pm$15°
risoluzione	0.001% F.S.
ripetibilità	0.01% F.S.
sensibilità	1/20.000 sen α
temperatura di esercizio	-20 ÷ +70°C
assetto azimutale	<0.5°
segnale elettrico in uscita	4 ÷ 20 mA

- staffa di supporto per il fissaggio alla parete con possibilità di regolazione tridirezionale dello strumento;
- cavo elettrico a 6 conduttori schermato, di collegamento tra il clinometro e il pannello di misura, conforme alle specifiche tecniche delle presenti Norme Tecniche d'Appalto;
- pannello di centralizzazione e misura dotato di connettori per l'esecuzione delle misure con centralina di lettura e alimentazione portatile; il pannello dovrà essere dotato di chiusura con lucchetto e chiavi che saranno consegnate alla Direzione Lavori.

L'utilizzo di strumentazione con caratteristiche diverse da quelle sopra descritte dovrà essere subordinato a preventiva autorizzazione da parte della Direzione Lavori.

13.5.1.2 Installazione

Nell'installazione del clinometro particolare cura dovrà essere posta nell'assicurare un perfetto accoppiamento della staffa di supporto con la parete rocciosa e/o struttura

L'ubicazione dello strumento e l'orientazione degli assi di misura dovranno essere conformi alle indicazioni fornite nel progetto delle indagini o dalla Direzione Lavori.

Dopo l'installazione dello strumento dovrà essere effettuata una calibrazione iniziale di zero ottenuta dalla media di almeno 4 distinte letture eseguite con centralina di lettura portatile attraverso il pannello di misura.

13.5.1.3 Documentazione richiesta relativa all'installazione

La documentazione fornita alla DL in seguito all'installazione dello strumento dovrà comprendere:

- informazioni generali (commessa, cantiere, ubicazione, data, nominativo dell'operatore, codifica dello strumento);
- codifica dello strumento;
- schema di installazione del clinometro con indicazione dell'orientazione degli assi di misura (sensori);
- documentazione tecnica relativa allo strumento installato rilasciata dal produttore, con indicazione del tipo di strumento e delle relative caratteristiche tecniche;
- risultati della calibrazione iniziale con documentazione di tutte le misure effettuate;
- certificato di taratura del clinometro, con indicazione della sensibilità iniziale e della deriva strumentale, di data non anteriore di sei mesi la data di posa.

13.5.2 Celle di carico toroidali

Le celle di carico elettriche sono composte da un corpo in acciaio di forma toroidale, sensibilizzato con strain-gauges di tipo resistivo e una piastra in acciaio che permette una più omogenea ripartizione del carico sull'interno della cella. Sotto carico la cella toroidale subisce una deformazione che viene rilevata dagli estensimetri che variando il loro valore di resistenza generano un segnale elettrico proporzionale al carico applicato.

13.5.2.1 Specifiche tecniche

Materiale	acciaio inossidabile 17-4PH
Fondo scala*	Fino a 1200 KN
Carico ammissibile	150% FS
Sensibilità	0,001 mV
Accuratezza	<0,5%FS
Temperatura operativa	-10 °C +55°C

(*) Nota: il fondo scala è funzione del carico massimo ammissibile dal tirante

13.5.2.2 Installazione

Le procedure di installazione da adottarsi dovranno essere le seguenti:

- spianare e lisciare la superficie di contatto nell'intorno del foro predisposto per il tirante da strumentare, scalpellando le asperità maggiori;
- stendere un leggero strato di cemento a presa rapida per garantire la planarità della superficie, qualora ce ne fosse la necessità;
- appoggiare la cella di carico sulla superficie predisposta ed installare la piastra di distribuzione;
- collegare la cella ad una centralina portatile e procedere alla fase di tesatura del tirante fino al valore di progetto, ricordandosi che successivamente alla tesatura si verifica un assestamento di tutto il sistema e quindi una diminuzione del valore di carico di circa un 10-15%;
- fissare i cavi delle celle di carico lungo il paramento della galleria o della paratia con semplice filo di legatura fino ad un pannello di centralizzazione o direttamente all'Unità di Acquisizione Dati.

13.5.2.3 Documentazione richiesta relativa all'installazione

La documentazione fornita alla DL in seguito all'installazione dello strumento dovrà comprendere:

- informazioni generali (commessa, cantiere, ubicazione, n.tirante strumentato, data, nominativo dell'operatore);
- codifica dello strumento;
- prospetto di Progetto dell'opera con indicazione dell'ubicazione dello strumento;
- schema grafico del cablaggio a centralina di lettura o datalogger (ove previsto)
- risultati della tesatura iniziale con documentazione di tutte le misure effettuate;
- documentazione tecnica relativa allo strumento installato rilasciata dal produttore, con indicazione del tipo di strumento e delle relative caratteristiche tecniche;
- certificato di taratura della cella di carico, con indicazione della sensibilità iniziale e della deriva strumentale, di data non anteriore di sei mesi la data di posa.

13.5.3 Barrette estensimetriche per calcestruzzo

Per la determinazione delle deformazioni e la stima delle tensioni nelle strutture in calcestruzzo, armato e non (rivestimenti definitivi, pali o diaframmi armati o plastici,...) è prevista l'installazione di strain meters a corda vibrante.
Gli estensimetri a corda vibrante per cls sono costituiti da un corpo tubolare in acciaio inox sigillato, all'interno del quale si trova un filo di acciaio, tensionato tra due estremità a due supporti ancorati alla struttura da monitorare. Ogni deformazione della struttura comporterà uno spostamento relativo dei supporti e una conseguente variazione di tensione della corda di acciaio. Tale tensione viene misurata eccitando la corda mediante un elettromagnete e rilevandone la frequenza di risonanza.

13.5.3.1 Specifiche tecniche

Le caratteristiche generali della strumentazione dovranno essere le seguenti:

Lunghezza	150-250 mm
Segnale in uscita	Hertz
campo di misura	3000 με
range di temperatura	-20, +80 °C
Precisione	< 2% F.S.
Sensibilità	0,5 μ□
Stabilità	0,1% FS/anno
Coefficiente di espansione termica	12,0 μ□ /°C
Termistore	NTC (YSI 44005)
Precisione termistore	0,5° C

L'utilizzo di strumentazione con caratteristiche diverse da quelle sopra descritte dovrà essere subordinato a preventiva autorizzazione da parte della Direzione Lavori.

13.5.3.2 Installazione

Gli estensimetri dovranno essere messi in opera, conformemente agli schemi di progetto, previa accurata pulitura del punto di installazione, ed affogati nei getti di cls.
Il fissaggio degli strain meters dovrà essere effettuato secondo l'orientazione di progetto e tramite legatura alle barre di armatura.
Si dovrà garantire che la distanza tra le basi di ancoraggio del sensore corrisponda alla posizione media del campo di misura strumentale.
Nel caso di installazione in rivestimenti definitivi (rivestimenti in galleria, solette di cls,...) il fissaggio degli strain meters dovrà essere effettuato prima del getto avendo cura di fascettare i cavi di segnale

alle armature fino a farli fuoriuscire dal getto in posizione protetta e accessibile per il successivo cablaggio. Nel caso di messa in opera su cls non armato l'installazione del sensore è prevista mediante fissaggio degli strumenti ad un telaio in acciaio annegato all'interno del calcestruzzo.
Nel caso di installazione di strain meters in pali o diaframmi armati, si dovrà procedere alla legatura degli strumenti, secondo le indicazioni sopraccitate e alle quote di progetto, sulle gabbie di armatura prima della calaggio della gabbia all'interno della perforazione. Durante il calaggio della gabbia si dovrà procedere alla fascettatura dei cavi di segnale alla gabbia di armatura fino a testa palo/diaframma. Nella zona di scapitozzatura i cavi dovranno essere protetti con un tubo metallico fuoriuscente dal getto.
Tutti i sensori ed i cavi di misura dovranno essere adeguatamente protetti per evitare danneggiamenti accidentali durante la posa dell'armatura, durante l'esecuzione del getto e durante eventuali scapitozzature.
Per ogni tipo di installazione i cavi di misura dovranno essere adeguatamente protetti e fissati per evitare che eventuali sforzi di trazione sugli stessi siano trasmessi al sensore.
Successivamente al getto si procederà alla lettura di funzionamento della strumentazione e al successivo cablaggio ad un pannello di centralizzazione o direttamente all'Unità di Acquisizione Dati.

13.5.3.3 Documentazione richiesta relativa all'installazione

La documentazione da fornire al termine dell'installazione dovrà comprendere:

- informazioni generali (commessa, cantiere, ubicazione, data, nominativo dell'operatore);
- schema grafico di installazione degli strain meters all'interno del getto con indicazione dell'orientazione e della posizione; ivi compresa la codifica dei singoli strumenti;
- schema grafico del cablaggio a centralina di lettura o datalogger (ove previsto)
- documentazione tecnica relativa allo strumento installato rilasciata dal produttore, con indicazione del tipo di strumento e delle relative caratteristiche tecniche;
- certificato di taratura della strumentazione, con indicazione della sensibilità iniziale e della deriva strumentale, di data non anteriore di sei mesi la data di posa.

13.5.4 Barrette estensimetriche per acciaio

Per la determinazione delle deformazioni e la stima delle tensioni nelle strutture in acciaio (ad esempio le armature dell'impalcato o le centinature nei pozzi di fondazione) è prevista l'installazione di strain meters a corda vibrante.
Gli estensimetri a corda vibrante per acciaio sono costituiti da un corpo tubolare in acciaio inox sigillato, all'interno del quale si trova un filo di acciaio, teso tra due supporti (blocchi) resi solidali mediante saldatura o resinatura alla struttura da monitorare. Ogni deformazione della struttura comporterà uno spostamento relativo dei supporti e una conseguente variazione di tensione (e quindi di frequenza di vibrazione) della corda di acciaio. Tale tensione viene misurata eccitando la corda mediante un elettromagnete e rilevandone la frequenza di risonanza.

13.5.4.1 Specifiche tecniche

Le caratteristiche generali della strumentazione dovranno essere le seguenti:

Lunghezza	150-250 mm
Segnale in uscita	Hertz
campo di misura	3000 μ□
range di temperatura	-20, +60 °C
Precisione	< 2% F.S.

Sensibilità	0,5 μ□
Stabilità	0,1% FS/anno
Coefficiente di espansione termica	12,0 μ□ /°C
Termistore	NTC (YSI 44005)
Precisione termistore	0,5° C

L'utilizzo di strumentazione con caratteristiche diverse da quelle sopra descritte dovrà essere subordinato a preventiva autorizzazione da parte della Direzione Lavori.

13.5.4.2 Installazione

Gli estensimetri dovranno essere messi in opera, conformemente agli schemi ed all'orientazione di progetto, previa accurata pulitura del punto di installazione.
Le procedure di installazione da adottarsi dovranno essere le seguenti:

- fissare mediante saldatura ad arco i blocchetti di ancoraggio nelle posizioni prestabilite sull'anima della centina metallica a ridosso delle ali, utilizzando una apposita dima distanziatrice;
- inserire le estremità dell'estensimetro nei blocchetti di ancoraggio prestando molta attenzione a che le viti di serraggio entrino perfettamente nell'alloggiamento preposto all'interno dei suddetti blocchetti;
- serrare una delle estremità dell'estensimetro al blocchetto con l'apposita vite a frugola;
- tendere manualmente l'estensimetro fino a raggiungere la posizione desiderata in funzione del comportamento atteso del profilato (solitamente la posizione intermedia del campo di misura strumentale), avendo cura di non oltrepassare il limite inferiore o superiore del campo di misura strumentale. Per effettuare questa operazione è necessario collegare lo strumento ad una centralina di misura manuale che fornisca in tempo reale i valori di frequenza di vibrazione del filo d'acciaio;
- proteggere lo strumento da eventuali urti accidentali con un lamierino metallico sottile sagomato ad arte, fissato alla pannellatura con punti di saldatura ad arco;
- svolgere i cavi elettrici, aventi una lunghezza tale da raggiungere il pannello di centralizzazione e lettura o direttamente alla Unità di Acquisizione Dati fissandoli mediante legature di ferro alla coronella di micropali o alle centinature superiori; i cavi dovranno essere adeguatamente protetti e fissati per evitare che eventuali sforzi di trazione sugli stessi siano trasmessi al sensore.

13.5.4.3 Documentazione richiesta relativa all'installazione

La documentazione da fornire al termine dell'installazione dovrà comprendere:

- informazioni generali (commessa, cantiere, ubicazione, data, nominativo dell'operatore);
- schema grafico di installazione degli strain meters sulla centina con indicazione dell'orientazione e della posizione; ivi compresa la codifica dei singoli strumenti;
- schema grafico del cablaggio a centralina di lettura o datalogger (ove previsto)
- documentazione tecnica relativa allo strumento installato rilasciata dal produttore, con indicazione del tipo di strumento e delle relative caratteristiche tecniche;
- certificato di taratura della strumentazione, con indicazione della sensibilità iniziale e della deriva strumentale, di data non anteriore di sei mesi la data di posa.
- Risultati delle letture effettuate in termini di frequenza e di deformazione.

13.5.5 Accelerometri

L'installazione di un accelerometro consente, attraverso misure in continuo ad alte frequenze di acquisizione o comunque ripetute nel tempo, la determinazione delle vibrazioni e degli scuotimenti

cui l'opera è sottoposta, con la conseguente determinazione dei suoi parametri modali (frequenze, forme modali e smorzamenti) e la loro eventuale variazione nel tempo.

13.5.5.1 Specifiche tecniche

La strumentazione dovrà essere costituita da:

- accelerometro triassiale fisso o accelerometro monoassiale combinabile meccanicamente con altri monoassiali in modo da restituire la misura in tre direzioni, rispondente alle seguenti specifiche tecniche:

tipologia di sensore	Accelerometro
campo di misura	±2g
Frequenza di acquisizione	100 ÷ 250 Hz
range di risposta in frequenza	0.1 ÷ 100 Hz
sensibilità	≥ 1000 mV/g
temperatura di esercizio	-30 ÷ +70°C
Rumore spettrale (0-100 Hz)	≤ 10 μg/√Hz
Range dinamico	≥ 90 dB

- staffa di supporto per il fissaggio alla parete con possibilità di regolazione dello strumento;
- cavo elettrico a 6 conduttori schermato, di collegamento tra l'accelerometro e la centralina di acquisizione, conforme alle specifiche tecniche delle presenti Norme Tecniche d'Appalto;
- almeno un sensore di temperatura interno per l'attestazione della temperatura interna ad element strutturale in corrispondenza del sensore
- Pannello contenente la centralina di acquisizione a 24 bit di campionamento dotata di memoria di backup e sensore GPS che ne permetta la sincronizzazione rispetto al tempo assoluto UTC; il pannello dovrà essere dotato di chiusura con lucchetto e chiavi che saranno consegnate alla Direzione Lavori.

L'utilizzo di strumentazione con caratteristiche diverse da quelle sopra descritte dovrà essere subordinato a preventiva autorizzazione da parte della Direzione Lavori.

13.5.5.2 Modalità di installazione

Nell'installazione dell'accelerometro particolare cura dovrà essere posta nell'assicurare un perfetto accoppiamento della staffa di supporto con la porzione di struttura da misurare.
L'ubicazione dello strumento e l'orientazione degli assi di misura dovranno essere conformi alle indicazioni fornite nel progetto delle indagini o dalla Direzione Lavori e in generale solidali con gli assi principali dell'opera (direz. Trasversale e longitudinale). Eventuali rotazioni rispetto agli assi principali devono essere accuratamente stimate e segnalate.
Dopo l'installazione dello strumento dovrà essere effettuata una prova di registrazione di almeno 4 distinte letture di 60 secondi con centralina di lettura portatile attraverso il pannello di misura.

13.5.5.3 Documentazione richiesta relativa all'installazione

La documentazione fornita alla DL in seguito all'installazione dello strumento dovrà comprendere:

- informazioni generali (commessa, cantiere, ubicazione, data, nominativo dell'operatore, codifica dello strumento);
- codifica dello strumento;
- schema di installazione dell'accelerometro con indicazione dell'orientazione degli assi di misura (schema sensori);

- schema di rappresentazione del collegamento dei canali in centralina, per una più agevole manutenzione in caso di necessità di intervento in esercizio;
- documentazione tecnica relativa allo strumento installato rilasciata dal produttore, con indicazione del tipo di strumento e delle relative caratteristiche tecniche;
- risultati della calibrazione iniziale con documentazione di tutte le misure effettuate;
- certificato di taratura dello strumento, con indicazione della sensibilità iniziale e della deriva strumentale, di data non anteriore di sei mesi la data di posa.

13.6 Sistemi di acquisizione dati a 2 o più canali

Le unità di acquisizione dati consentono l'acquisizione automatica, secondo cadenze prefissate e modificabili in qualsiasi momento, dei segnali provenienti dai trasduttori elettrici (di qualsiasi natura), fornendo loro nel contempo l'opportuna alimentazione. Le unità sono completamente autonome sia dal punto di vista dell'alimentazione elettrica che della memorizzazione dei dati: devono poter essere abbandonate in campo anche nelle più disagevoli condizioni climatiche e/o ambientali. Il loro uso consente di ottenere un gran numero di dati senza la necessità di recarsi sul posto per la misura manuale.
Unitamente all'acquisitore dovrà essere fornito il software di gestione dello stesso. Il file di output delle misure acquisite dovrà essere, in ogni caso, compatibile con il programma excel (es. formati .xls, .csv, .txt).

13.6.1 Caratteristiche delle apparecchiature

13.6.1.1 Apparecchiatura a 2 canali

Queste apparecchiature, alloggiate in "case" di adeguate dimensioni e geometria ed alimentate mediante batterie a secco o ricaricabili, possono essere utilizzate anche all'interno di fori di sondaggio per la misura di uno o due segnali (esempio la misura del livello e la temperatura) e sono costituite dai seguenti elementi:

- scheda elettronica a microprocessore con memoria tamponata per la memorizzazione dei parametri operativi con capacità non inferiore a 8 Kbyte;
- scheda PCMCIA per la memorizzazione dei dati acquisiti con capacità non inferiore a 128 Kbyte;
- porta seriale RS232 optoisolata per collegamento a PC o, in alternativa, porta USB (il cavo di collegamento dovrà essere fornito alla Direzione Lavori, unitamente all'acquisitore);
- connettori tipo MIL per il collegamento rapido dei trasduttori;
- scheda di ingresso a multiplexer con relè per ciascun ingresso;
- convertitore A/D autorange e autozero a doppia rampa con risoluzione $\pm$20000 punti;
- ingresso digitale (contatore a 4 cifre);
- protezioni elettriche a 4 livelli su ciascun canale di ingresso (opzionali);
- armadio di contenimento IP67 per le versioni all'aperto e IP68 per le versioni da inserire in fori di sondaggio.

Le apparecchiature installate devono in ogni caso soddisfare i seguenti requisiti:

- autonomia di almeno 4 mesi con 2 acquisizioni giornaliere;
- possibilità di impostare tramite il software, anche per via remota in caso di utilizzo di modem di trasmissione dati, i seguenti parametri:
  - range di scansione;
  - range di acquisizione;
  - alimentazione dei sensori;
  - fondo scala elettrico;

- linearizzazione del segnale mediante impostazione del gain e dello zero per la conversione in unità ingegneristiche.
- temperatura di funzionamento da –20° a +70° ;
- Acquisitore Multisensor: possibilità di misurare sensori in corrente (4 ÷ 20 mA), in tensione, strain-gage, Pt100, fornendo loro una tensione variabile da 2 a 24 V dc (scelta canale per canale) o una corrente di riferimento (1 mA).

13.6.1.2 Apparecchiature pluricanali

In questo caso le apparecchiature, alimentate mediante batterie a secco o ricaricabili, dovranno essere espandibili con schede di espansione da 16 canali analogici ciascuno fino ad un massimo di 96 canali analogici e saranno costituite dai seguenti elementi:

- scheda elettronica a microprocessore con memoria tamponata per la memorizzazione dei parametri operativi con capacità non inferiore a 8 Kbyte;
- scheda PCMCIA per la memorizzazione dei dati acquisiti con capacità non inferiore a 128 Kbyte;
- doppia porta seriale RS232 optoisolata con possibilità di collegamento in cascata di più unità di acquisizione dati, riconoscibili mediante indirizzo, fino ad un massimo di 64 unità;
- porta seriale RS232 optoisolata per collegamento a PC o, in alternativa, porta USB (il cavo di collegamento dovrà essere fornito alla Direzione Lavori, unitamente all'acquisitore);
- scheda di ingresso a multiplexer con relè per ciascun ingresso;
- convertitore A/D autorange e autozero a doppia rampa con risoluzione ±20000 punti;
- protezioni elettriche a 4 livelli su ciascun ingresso analogico (opzionali);
- display alfanumerico a cristalli liquidi e tastiera per la programmazione di tutti i parametri operativi anche senza la disponibilità di un PC;
- relè generale di massimo e minimo attivabile automaticamente in caso di superamento delle soglie di allerta;
- armadio di contenimento IP67 in lamiera verniciata o poliestere rinforzato, con pressacavi a tenuta per gli ingressi dei cavi provenienti dai sensori.

Le apparecchiature installate dovranno in ogni caso soddisfare i seguenti requisiti:

- autonomia di almeno 2 mesi con 2 acquisizioni giornaliere;
- possibilità di impostare tramite il software, anche per via remota in caso di utilizzo di modem di trasmissione dati, i seguenti parametri:
- range di scansione;
- range di acquisizione;
- alimentazione dei sensori;
- fondo scala elettrico;
- linearizzazione del segnale mediante impostazione del gain e dello zero per la conversione in unità ingegneristiche;
- soglie di valore di misura minimo e di massimo per eventuali segnali di allerta.
- possibilità di leggere sul display i dati memorizzati dalla RAM-CARD;
- temperatura di funzionamento da –20° a +70° C;
- Acquisitore Multisensor: possibilità di misurare sensori in corrente (4 ÷ 20 mA), in tensione, strain-gage, Pt100, fornendo loro una tensione variabile da 2 a 24 V dc (scelta canale per canale) o una corrente di riferimento (1 mA).

13.6.2 Installazione

Le unità di acquisizione dati dovranno essere installate in luoghi adeguatamente protetti sia contro atti di vandalismo sia da condizioni climatiche particolarmente avverse. In questo ultimo caso dovranno essere ubicate all'interno di armadi in vetroresina tipo stradale.
Nel caso sia previsto un monitoraggio in automatico anche a lungo termine, e cioè dopo la fine della realizzazione dell'opera, è necessario che l'acquisitore sia ubicato in modo definitivo in zone protette, facilmente raggiungibili e non interferenti con le lavorazioni durante la realizzazione delle opere e con le fasi di esercizio della stesse.
Le connessioni e gli ammaraggi dei cavi dei sensori dovranno essere fatte a regola d'arte garantendo una buona connessione elettrica con le morsettiere o connettori di ingresso. Anche in questo caso si dovrà provvedere a cablaggi non interferenti con le lavorazioni durante la realizzazione dell'opera e con le fasi di esercizio della stessa.
Al termine dell'installazione le unità andranno adeguatamente testate in tutte le loro funzioni (scansioni, memorizzazione, trasmissione dati, ecc.).

13.6.3 Documentazione richiesta relativa all'installazione

La documentazione da fornire al termine dell'installazione dovrà comprendere:

- schemi di cablaggio (ingressi, eventuale linea di alimentazione e collegamenti seriali);
- manuale d'uso;
- Software di gestione e programmazione dell'acquisitore;
- ubicazione plano-altimetrica dell'unità di acquisizione;
- misure di zero di tutta la sensoristica installata;
- tabella con indicazione dei sensori in ingresso, con i parametri operativi impostati canale per canale (alimentazione, scala, gain, zero, soglie di allerta, ecc.);
- eventuali schede aggiuntive (convertitori di seriale, convertitori per fibra ottica, ecc.);
- eventuali note e osservazioni.

13.7 Cavi elettrici di collegamento

I cavi elettrici dovranno essere adatti per la trasmissione del segnale e realizzati in esecuzione robusta, adatti per ambienti umidi e per l'immersione in getti di calcestruzzo. Dovranno essere del tipo schermato, con guaina esterna in poliuretano o silicone. Lo schermo potrà essere realizzato con treccia di rame o foglio di alluminio: in questo ultimo caso è richiesto il filo di drenaggio in rame. La sezione dei conduttori sarà sufficiente a garantire la corretta tensione di alimentazione del sensore considerando la lunghezza del tratto di cavo e quindi la relativa caduta di potenziale.

13.7.1 Caratteristiche tecniche

13.7.1.1 Cavi a 6 conduttori

Tali cavi, di diametro non superiore a 9 mm, sono costituiti da. 6 conduttori di sezione pari a 0.22 mm^2.

13.7.1.2 Cavi multipolari

Tali cavi, di diametro non superiore a 15 mm, sono costituiti da 15 coppie di conduttori di sezione pari a 0.22 mm^2.
Tutti i cavi impiegati dovranno soddisfare le seguenti specifiche tecniche:

- conduttori in rame elettrolitico ricotto in formazione flessibile;

- isolamento in silicone o poliuretano per la guaina esterna e in PVC o poiolefina reticolata per i conduttori;
- schermo in treccia di rame; è consentito in alternativa l'uso di schermo in alluminio, con conduttore di drenaggio in rame stagnato;
- norme applicabili: CEI 20-11 CEI 20-29 CEI 46-6;
- isolamento guaina esterna:
- tensione di prova: 300 V;
- tensione di esercizio: 300 Vrms;
- resistenza di isolamento > 200 MΩ/Km;
- isolamento guaina di separazione conduttori:
- tensione di prova: 300 V;
- tensione di esercizio: 300 Vrms;
- resistenza di isolamento > 200 MΩ/Km;
- percentuale calza:
  - > 90% per cavi con schermo a calza;
  - > 60% per cavi con schermo a calza e schermo elettrostatico in nastro di alluminio e poliestere;
- caratteristiche ignifughe: non propagante l'incendio (secondo la norma UL 94 VO).

Art. 14 Cordoli stradali

14.1 Descrizione e campo di applicazione

Per cordolo si intende un elemento prefabbricato o realizzato in opera con funzione di separazione di superfici allo stesso livello o a livelli differenti per consentire il delineamento fisico o visivo o contenimento e separazione tra superfici soggette a diversi tipi di traffico.
La forma, la geometria dei cordoli sono definite in progetto così come il tipo di materiale utilizzato per la produzione degli elementi che può essere:

- Prefabbricato in calcestruzzo
- In conglomerato bituminoso
- In gomma o materiale plastico (il progetto o gli enti gestori delle viabilità comunali, possono altresì prevedere rallentatori di velocità e dissuasori di sosta - artt. 179 e 180 del regolamento di esecuzione e attuazione del codice della strada)
- Pietra naturale

Ogni fornitura deve essere tale da consentire a mezzo di pezzi speciali, la realizzazione di curve, angoli, smussi, passi carrai e quant'altro definito nel progetto.

14.2 Normative di riferimento

- UNI EN 1340: Cordoli di calcestruzzo - Requisiti e metodi di prova
- UNI EN 13198: Prodotti prefabbricati di calcestruzzo - Prodotti per l'arredo urbano e da giardino
- UNI EN 1343: Cordoli di pietra naturale per pavimentazioni esterne - Requisiti e metodi di prova
- Art. 42 del Decreto Leg.vo 30 aprile 1992, n. 285 - Nuovo Codice della Strada; art. 178 Elementi prefabbricati per salvagenti pedonali e delimitatori di corsia - Regolamento di Esecuzione e di Attuazione del Codice della Strada.

14.3 Criteri di accettazione dei materiali

14.3.1 Cordoli prefabbricati in calcestruzzo

I cordoli prefabbricati in calcestruzzo dovranno essere qualificati in conformità al Regolamento UE n°305/2011 sui prodotti da costruzione. Ogni fornitura dovrà essere accompagnata dalla marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA della norma europea armonizzata UNI EN 1340 con sistema di attestazione di conformità 4.
In conformità alla suddetta norma i cordoli i prefabbricati in calcestruzzo devono possedere i seguenti requisiti in funzione del tipo di strada ove ne è previsto l'utilizzo così come definita nel Codice della strada e in funzione del fatto che siano o meno sormontabili:

- Cordoli sormontabili per le strade di tipo A, B, C, D:
    - classe 3 di resistenza a flessione (marcatura U - 6 MPa resistenza a flessione caratteristica e 4,8 resistenza minima a flessione)
    - classe 3 di resistenza al gelo-disgelo con sali antighiaccio (marcatura D – perdita di massa dopo la prova di gelo/disgelo ≤ 1,0 kg/m^2 e > 1,5 kg/m^2 come media senza singoli valori)
    - classe 4 di resistenza all'abrasione (marcatura I – ≤ 20 mm prova appendice "G" EN 1340 o ≤ 18.000 mm^3/5000mm^2 prova appendice "H")
- Cordoli sormontabili per le strade di tipo E, F:
    - classe 2 di resistenza a flessione (marcatura T - 5 MPa resistenza a flessione caratteristica e 4,0 resistenza minima a flessione)

- classe 3 di resistenza al gelo-disgelo con sali antighiaccio (marcatura D – perdita di massa dopo la prova di gelo/disgelo ≤ 1,0 kg/m^2 e > 1,5 kg/m^2 come media senza singoli valori)
- classe 3 di resistenza all'abrasione (marcatura H – ≤ 23 mm prova appendice "G" EN 1340 o ≤ 20.000 mm^3/5000mm^2 prova appendice "H")

- Cordoli non sormontabili, cordoli per strade di tipo F-bis (Itinerario ciclopedonale) e cordoli per tutti gli altri usi non ricadenti nelle precedenti tipologie:
  - classe 1 di resistenza a flessione (marcatura S – 3,5 MPa resistenza a flessione caratteristica e 2,8 resistenza minima a flessione)

Quando richiesto in progetto o dai gestori delle viabilità i cordoli possono essere colorati. La colorazione deve essere presente in tutto l'elemento e non solo sullo strato superficiale degli elementi.

14.3.2 Cordoli in conglomerato bituminoso

14.3.2.1 Realizzati con vibrofinitrice

Il cordolo in conglomerato bituminoso può essere previsto negli elaborati progettuali a delimitazione dell'arginello in terra in assenza di elementi marginali (le cunette costituiscono un naturale contenimento mentre le canalette posso essere sagomate per incorporare il cordolo).
Il cordolo deve essere realizzato in occasione della posa dello strato di binder con la stessa miscela impiegata per la formazione del binder stesso utilizzando la vibrofinitrice e i rulli con un procedimento che deve essere sottoposto all'approvazione del Direttore dei Lavori nel rispetto delle dimensioni del cordolo di progetto. Per la qualifica del materiale si rimanda ai contenuti dell'art. 31 di questo capitolato speciale.

14.3.2.2 Realizzati con cordolatrice

Nel caso di impiego di macchina cordolatrice ad estrusione (non obbligatoria) occorre che l'Appaltatore presenti uno studio di prequalifica di una miscela bituminosa a caldo con caratteristiche di impermeabilità e che abbia idonea coesione dopo la posa.
La miscela dovrà altresì:

- Utilizzare aggregati dotati di marcatura CE e DoP attestanti la conformità all'appendice ZA della norma europea armonizzata UNI EN 13043 con sistema di attestazione di conformità 2+;
- Utilizzare aggregati di dimensione massima indicativamente pari a 8 mm – indicare la curva granulometrica adottata secondo la UNI EN 933-1;
- Bitumi dotati di marcatura CE e DoP (è consigliabile un bitume normale di tipo A di cui al § 31.4.2.2.2 di questo capitolato speciale d'appalto) – indicare la % di bitume utilizzato.

14.3.3 Cordoli in gomma o in materiale plastico

L'art. 178 del regolamento di esecuzione e di attuazione del codice della strada, in riferimento all'art. 42 del codice della strada "*segnali complementari*", consente di utilizzare, principalmente in ambito urbano e nel rispetto delle indicazioni progettuali, cordonature longitudinali in materiale plastico o gomma di colore giallo. Devono essere dotati di un solido sistema di fissaggio alla pavimentazione in modo da impedirne lo spostamento o il distacco per effetto delle sollecitazioni derivanti dal traffico e devono essere posizionati in modo da consentire il deflusso delle acque piovane.

Gli elementi devono avere una larghezza compresa tra i 15 e 30 cm, altezza compresa tra 5 e 15 cm con una consistenza ed un profilo tale da consentirne il sormonto in caso di necessità. Possono essere dotati di inserti rifrangenti o di altri sistemi catadiottrici per renderli maggiormente visibili.
I delimitatori di corsia, conformemente alle disposizioni del sopra citato art. 178, devono:

- essere approvati/omologati dal Ministero dei lavori pubblici - Ispettorato generale per la circolazione e la sicurezza stradale
- posti in opera previa ordinanza dell'ente proprietario della strada.

L'approvazione/ omologazione del Ministero dei lavori pubblici e l'ordinanza dell'ente proprietario della strada devono essere consegnati al Direttore dei Lavori nel processo di prequalifica anche in casi di utilizzo di rallentatori di velocità e dissuasori di sosta - artt. 179 e 180 del regolamento di esecuzione e attuazione del codice della strada.

14.3.4 Cordoli in pietra naturale

I cordoli in pietra naturale per pavimentazioni esterne e finiture stradali dovranno essere qualificati in conformità al Regolamento UE n°305/2011 sui prodotti da costruzione. Ogni fornitura dovrà essere accompagnata dalla marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA della norma europea armonizzata UNI EN 1343 con sistema di attestazione di conformità 4.
La denominazione della pietra naturale vale a dire nome tradizionale, famiglia petrologica, colore tipico e luogo di origine deve essere dichiarata in conformità alla norma EN 12440 (annesso A § A.2.4) nel rispetto delle indicazioni progettuali o degli enti gestori delle viabilità. E' necessario privilegiare l'impiego di pietre locali di provenienza da cave poste in prossimità del cantiere. Il
In sede di prequalifica il Fornitore dovrà consegnare adeguata campionatura della pietra naturale nelle diverse tipologie commerciali (prima scelta, seconda scelta).
Si riporta di seguito il requisito di carico di rottura che devono possedere i cordoli in pietra naturale in funzione alla loro destinazione d'uso. Tale tabella è tratta dal prospetto 1 dell'Appendice A della norma armonizzata EN 1343.

Classe	Carico di rottura minimo kN	Uso tipico
0	Nessun requisito	Decorazione
1	0.75	Cordoli incorporati in malta, solo per aree pedonali
2	3.5	Aree pedonali e ciclabili
3	6.0	Accesso occasionale di automobili, veicoli leggeri e motocicli Entrate di autorimesse
4	9.0	Aree pedonali, aree di mercato occasionalmente utilizzate da
		veicoli di trasporto e mezzi di soccorso
5	14.0	Aree pedonali spesso utilizzate da autoveicoli pesanti
6	25.0	Vie e strade, stazioni di rifornimento

14.4 Documenti di prequalifica

L'Appaltatore deve trasmettere al Direttore dei Lavori per approvazione almeno 15 giorni prima dell'inizio delle attività, la documentazione di seguito elencata.

La mancata presentazione della documentazione preliminare comporta la non autorizzazione all'inizio dell'esecuzione dei lavori, né saranno accettate eventuali lavorazioni svolte prima dell'approvazione delle modalità esecutive.

- La marcatura CE e DoP o schede tecniche dei cordoli che si intende utilizzare;

- Certificazione di approvati/omologati dal Ministero dei lavori pubblici - Ispettorato generale per la circolazione e la sicurezza stradale e ordinanza dell'ente proprietario della strada alla posa dei cordoli in gomma o plastica di cui all'art. 178 del regolamento di esecuzione e di attuazione del codice della strada (la stessa documentazione è richiesta per rallentatori di velocità e dissuasori di sosta);
- Lo studio della miscela bituminosa nel caso di utilizzo di cordolatrice nei termini di cui al § 14.3.2.2;
- la descrizione delle modalità esecutive di posa dei cordoli;

I requisiti d'accettazione potranno inoltre essere accertati con ulteriori prove a cura della Direzione Lavori sia in fase di prequalifica presso il fornitore (controllo non vincolante per l'autorizzazione), sia in corso d'opera, prelevando il materiale in sito o ancora presso il fornitore, prima e dopo avere effettuato le lavorazioni.

14.5 Modalità esecutive

14.5.1 Cordoli in calcestruzzo e pietra

L'Appaltatore deve sempre rispettare le modalità esecutive approvate dal Direttore dei Lavori in fase di qualifica.
In linea generale le fasi di posa di un cordolo sono le seguenti:

1. preparazione del piano di posa (scavo e stesa dei materiali di sottofondo);
2. getto delle fondazioni con calcestruzzo con classe di resistenza minima ≥ C12/15;
3. tracciamento topografico per il rispetto della posizione plano-altimetrica dei cordoli individuata a progetto
4. allettamento degli elementi per prevenire rotture da flessione causate dal traffico veicolare a malta sopra la fondazione di calcestruzzo indurito;
5. rinfianco degli elementi. Il progetto o il Direttore dei Lavori a suo insindacabile giudizio, possono prevedere il rinfianco degli elementi per trattenere il cordolo e prevenire eventuali spostamenti orizzontali. Il rinfianco andrà eseguito con calcestruzzo con classe di resistenza minima ≥ C12/15

I giunti tra un cordoli e il successivo (tra 5 e 7 mm) di solito vengono lasciati vuoti oppure riempiti di malta o boiacca di cemento per motivi estetici ad insindacabile giudizio del Direttore dei Lavori.
Ogni 15 metri circa deve essere previsto un giunto di dilatazione di circa 1 cm (il taglio deve riguardare anche il rinfanco e la fondazione) che va riempito con materiale facilmente compressibile.
Quando i cordoli vengono utilizzati sul bordo di pavimenti in calcestruzzo dotati di tagli (di dilatazione), questi tagli devono estendersi anche al cordolo, al "rinfianco" e alla fondazione del cordolo.

14.5.2 Cordoli su arginello

Nella posa a contenimento dell'arginello di strade e autostrade il cordolo, sia che venga realizzato in conglomerato bituminoso, sia che venga realizzato in elementi prefabbricati in calcestruzzo, deve essere posato sopra lo strato presente sotto il binder (in generale viene posato sopra lo strato di base) perché, oltre a svolgere la funzione di contenimento dell'arginello, deve fungere da "cassero" per binder e usura con l'obiettivo di convogliare l'acqua piovana presso gli inviti degli embrici. Le dimensioni del cordolo dovranno corrispondere alle previsioni progettuali. In corrispondenza degli inviti degli embrici il cordolo deve essere interrotto (o rimosso a posteriori per favorire pose continue o quando l'embrice è posato successivamente al cordolo) e raccordato con il corpo di invito stesso. Tale raccordo deve essere sigillato con malta o boiacca in modo da essere completamente impermeabile. Eventuali materiali di risulta come ad esempio l'eccesso di cordolo bituminoso

rimosso in corrispondenza degli inviti degli embrici, non devono essere lasciati sull'arginello ma devono essere smaltiti a discarica autorizzata a cura ed onere dell'Appaltatore.
La posizione del cordolo su arginello, in presenza contemporanea di dispositivi di ritenuta, deve sempre rispettare la posizione planoaltimetrica del progetto e del manuale di installazione delle barriere.
In caso di utilizzo di macchina cordolatrice, il cordolo deve essere posato previa stesa di una mano di attacco in emulsione bituminosa non modificata oppure modificata con polimeri a seconda che il successivo strato di binder che si andrà a realizzare dopo la formazione del cordolo, contenga rispettivamente bitume normale oppure modificato. Il dosaggio dovrà essere pari a 0,25 kg/m^2.

14.5.3 Cordoli in gomma o in materiale plastico

La posa di questi cordoli deve rispettare le specifiche del produttore approvate dal Direttore dei Lavori, del Regolamento del codice della strada ed eventualmente dell'Ente gestore della viabilità.

14.6 Controlli e prove

14.6.1 Controlli a carico dell'Appaltatore

Per l'accettazione in cantiere del materiale occorre eseguire i seguenti controlli:

- Corrispondenza del DDT alle specifiche di prequalifica approvate dal Direttore dei Lavori
- Corrispondenza di eventuali marcature cordoli ai contenuti del DDT
- Corrispondenza geometrica degli elementi alle specifiche di prequalifica
- Assenza di difetti macroscopici delle forniture in merito ad abrasioni, crepe, sbeccature ecc

Prima e durante la posa del materiale occorre eseguire i seguenti controlli:

- Esecuzione dei necessari tracciamenti topografici
- Rispetto delle modalità di posa indicate nei documenti di prequalifica e nel precedente § 14.5
- Conformità delle forniture in opera alle indicazioni del progetto esecutivo in merito a tipo materiale, geometrie, quote, ecc.
- Corretta esecuzione del fissaggio per i cordoli in gomma o materiale plastico: la Direzione Lavori portà ordinare l'esecuzione di prove di sfilamento sui tasselli di fissaggio dei cordoli in gomma/materiale plastico, secondo i carichi dichiarati dal Fornitore/Produttore.

Dopo la posa del materiale occorre eseguire i seguenti controlli:

- Rilievo topografico per il rispetto delle quote plano-altimetriche del progetto

14.6.2 Prove a carico della Direzione Lavori

Non sono previste prove di laboratorio in capo alla Direzione Lavori.
Per quanto attiene i cordoli in conglomerato bituminoso, si rimanda al § 31.10 di questo Capitolato Speciale.
Eventuali vizi che dovessero manifestarsi durante l'approvvigionamento e la posa in opera sulla qualità del prodotto potranno essere indagati dalla Direzione Lavori attarverso prove di carattere fisico/chimico/meccanico e, nel caso di cordoli in pietra, analisi petrografiche.

Art. 15 Manufatti tubolari in lamiera d'acciaio ondulata

15.1 Campo di applicazione

Le presenti specifiche riguardano manufatti per opere di ingegneria idraulica (tombini, canali, condotte, ecc.) e sottopassi stradali aventi struttura portante in lamiera ondulata di acciaio zincato a caldo, con onda normale alla generatrice, a piastre multiple o ad elementi incastrati.
I manufatti a piastre multiple saranno costituiti da più piastre curve da assemblare con bullonature. Il tipo di ondulazione è unico per l'intero manufatto mentre il numero di intervalli (forature per le giunzioni con i bulloni), è invece variabile da piastra a piastra in relazione alla configurazione. Il progetto può prevedere diverse forme di sezione dei manufatti quali: circolare, ellittica, ribassata e ad arco.

Le luci attualmente coperte dalle tipologie di condotte standard arrivano ad un massimo di 7 ÷ 8 m, fino a raggiungere i 10 ÷ 12 m di luce in caso di condotte ad arco dotate di travi di spinta laterali in cemento armato.

Le piastre standard si identificano in relazione al tipo di ondulazione e per il numero d'intervalli (ovvero la distanza in asse tra due fori adiacenti lungo la giunzione circonferenziale).
Per i manufatti ad elementi incastrati l'elemento tipo sarà costituito da due mezze sezioni curvate ai raggi prescritti; dei due bordi longitudinali di ogni elemento uno sarà a dritto filo, l'altro ad intagli tali da formare quattro riseghe atte a ricevere ad incastro il bordo dritto dell'altro elemento.

Tali manufatti, avendo una funzione strutturale, devono essere qualificati e controllati secondo quanto disciplinato all'art. 25 di questo capitolato mentre la per la zincatura a caldo dell'acciaio di protezione contro la corrosione deve essere conforme a quanto disciplinato all'art. 25 bis.

15.2 Criteri di accettazione dei materiali

15.2.1 Lamiera ondulata

Le lamiere dovranno essere della qualità indicata in progetto e comunque non inferiore a S235 JR e conformi alla norma UNI EN 10025-2. Tali acciaio dovranno essere zincati a caldo in conformità alla norma UNI EN ISO 1461 nel rispetto della prestazione richiesta considerando come classe di durabilità la VH (very high, secondo il prospetto 2 della UNI EN ISO 14713-1) e come categoria di corrosività la C4 (alto, secondo il prospetto 1 della UNI EN ISO 14713-1).
La struttura dovrà comunque presentare una rigidezza sufficiente ai fini della movimentazione e dell'installazione.

15.2.2 Unioni bullonate

Si rimanda ai contenuti del § 25.4.1.3.

15.3 Documenti di prequalifica

Come indicato in precedenza, la prequalifica dei manufatti deve essere fatta in analogia a quanto disciplinato nell'art. 25 di questo capitolato pertanto l'Appaltatore, con 20 giorni di anticipo rispetto al momento in cui intende approvvigionare l'acciaio da impiegare per le strutture metalliche, deve presentare al Direttore dei Lavori per sua approvazione, la documentazione di qualifica "Q1" di cui ai § 25.5.1 e § 25.5.2 di questo capitolato speciale in considenrazione del fatto che però tali manufatti generalmente non necessitano di saldature e vengono montati in opera.
Dopo l'approvazione da parte del Direttore dei Lavori dei documenti qualifica "Q1" ed emesso l'ordine di approvvigionamento del materiale, l'Appaltatore procederà alla prequalifica Q2 per l'inizio delle lavorazioni nel centro di trasformazione; quindi, prima di trasportare le forniture in cantiere deve

presentare al Direttore dei Lavori per sua approvazione:

- la documentazione di cui al § 25.6.3 afferente il Piano di utilizzo, la certificazione e la rintracciabilità dei materiali;
- il piano di montaggio dettagliato e comprensivo di schemi grafici ("esplosi"), che precisi il verso di progressione del montaggio, le modalità di eventuali preassemblaggi ed il loro ordine. In ragione della geometria della struttura in relazione al rilevato, occorrerà tener conto di una monta di costruzione atta a compensare gli assestamenti. In funzione delle diverse condizioni operative, delle dimensioni e della forma del manufatto, per il montaggio potranno impiegarsi diverse tecniche; in ogni caso l'obiettivo fondamentale durante il montaggio sarà quello di mantenere la sagoma di Progetto.

Il montaggio potrà avvenire esclusivamente dopo l'approvazione del Direttore dei Lavori dei documenti di cui sopra.
Laddove l'assemblaggio avvenga anche solo parzialmente presso uno stabilimento esterno al cantiere l'Appaltatore, dopo la ricezione del materiale dovrà concordare con la Direzione Lavori, almeno 5 giorni lavorativi prima rispetto al momento in cui intende iniziare il montaggio, la data per l'esecuzione dei controlli di cui al § 15.5.2 (§ 25.8.2).

Per quanto riguarda la qualifica del processo di zincatura si rimanda ai contenuti dell'art. 25 bis.

15.4 Modalità esecutive

15.4.1 Fornitura, trasporto e scarico

Gli elementi di lamiera saranno forniti in imballaggi completi di piastre e bulloneria, nonché degli attrezzi da impiegare per il montaggio, con le istruzioni complete e dettagliate per l'assemblaggio (relative alla sequenza di montaggio ed alla posizione dei singoli pezzi).
I singoli pezzi dovranno essere chiaramente contrassegnati, così da facilitarne l'identificazione, la movimentazione e la collocazione senza procedere a tentativi.
Lo scarico e la movimentazione delle lamiere in cantiere dovranno avvenire con idonee cautele atte a conservare puliti i vari pezzi e a non danneggiare il rivestimento, tanto di zinco quanto bituminoso.
E' pertanto prescritto l'impiego di sollevamento e tassativamente vietato l'impiego di mezzi ribaltanti.
La sistemazione a deposito dovrà avvenire in modo razionale in un'area pulita ed asciutta prossima al sito d'impiego, facendo impiego di adeguati sistemi di sollevamento/separazione da terra del materiale a stoccaggio

15.4.2 Preparazione del piano di posa

La fondazione del manufatto dovrà essere tale da evitare concentrazioni di carico e cedimenti differenziali.
Pertanto occorrerà provvedere ad una bonifica del piano di fondazione come indicato negli elaborati progettuali e comunque:

- in presenza di un terreno di fondazione a debole o disuniforme capacità portante, sarà necessario rimuoverlo e sostituirlo con materiale granulare opportunamente compattato, per una larghezza pari ad almeno il triplo di quella del manufatto;
- eventuali trovanti lapidei dovranno essere rimossi e la fondazione ricostituita con l'apporto di materiale granulare compattato;
- in presenza di roccia lapidea, occorrerà rimuoverla per uno spessore di 30 cm e sostituirla con materiale granulare compattato.

Sul piano di fondazione verrà quindi posato un letto di posa in sabbia monogranulare, dello spessore minimo di 10 cm, esteso in larghezza per tutto il fondo del manufatto e sagomato come il profilo del

fondo, al fine di permettere un mutuo accoppiamento perfetto.

15.4.3 Montaggio

Senza il permesso della Direzione Lavori non sarà consentito alcun taglio degli elementi approvvigionati a pie' d'opera; in caso di taglio, le superfici di taglio saranno opportunamente molate, e successivamente protette con vernice allo zinco.

15.4.3.1 Strutture a piastre multiple

Il montaggio potrà essere realizzato secondo quattro tipologie sotto descritte; l'adozione di una o più modalità dovrà essere precisata nel piano di montaggio.

15.4.3.1.1 Montaggio in sequenza

Generalmente si adotterà il metodo del montaggio in sequenza, realizzando direttamente il manufatto sul piano di posa precedentemente preparato, procedendo in sequenza al montaggio di singoli elementi successivi uno all'altro, iniziando dal fondo, e proseguendo con i fianchi ed infine con la copertura.
Inizialmente i diversi elementi verranno assemblati con il minor numero possibile di bulloni, così da ottenere la massima flessibilità d'insieme finché tutti gli elementi non siano collocati in posto.
Dopo che una congrua porzione del manufatto sia stata assemblata nella forma voluta, si provvederà ad inserire i bulloni rimanenti ed a fissarli senza serrarli, procedendo sempre dal centro di un giunto verso i bordi.
Una volta inseriti tutti i bulloni, essi verranno serrati progressivamente ed uniformemente, partendo da un estremo della struttura, operando mediante chiave dinamometrica con una coppia compresa nel campo di valori indicato nelle istruzioni di montaggio approvati dal Direttore dei Lavori in fase di qualifica.

15.4.3.1.2 Preassemblaggio di componenti longitudinali

Sarà consentito utilizzare il metodo di montaggio con preassemblaggio di componenti longitudinali, previa approvazione della Direzione Lavori. Questo metodo, che permette la contemporaneità delle lavorazioni di preparazione della fondazione e quelle del preassemblaggio, eliminando la difficoltà di inserimento e serraggio dei bulloni degli elementi a contatto con la fondazione), comporta il preassemblaggio fuori opera di elementi longitudinali (fondo, fianchi e copertura), per l'intera lunghezza della struttura o per congrue porzioni di essa.
Secondo questo metodo è necessario procedere al completo serraggio dei bulloni degli elementi di fondo, fianchi e copertura prima della posa in opera; ciò comporta che non è possibile posticipare il serraggio come nel caso precedente, e che riveste grande importanza la cura nel rispettare esattamente la sagoma di Progetto durante la costruzione.
Per agevolare l'accoppiamento degli elementi longitudinali (il fondo con i fianchi e l'insieme del fondo e dei fianchi con la copertura) sarà consentito ricorrere a tiranti di collegamento degli opposti bordi longitudinali, da rilasciare a montaggio completato.
Durante la costruzione dovranno essere effettuati controlli mirati ad assicurarsi che la sagoma rispetti le tolleranze di Progetto; in caso negativo dovranno essere eseguite le necessarie correzioni prima di procedere con le fasi successive.
Nelle grandi strutture sarà previsto un serraggio progressivo dei bulloni, operando un primo serraggio con una coppia prossima al valore medio del campo riportato nelle istruzioni di montaggio approvati dal Direttore dei Lavori in fase di qualifica, e, una volta completata la struttura ed assicurato il corretto allineamento degli elementi, un secondo serraggio sino al valore massimo.

15.4.3.1.3 Preassemblaggio per sezioni

Sarà consentito utilizzare il metodo di montaggio con preassemblaggio per sezioni previa approvazione della Direzione Lavori: in questo caso le sezioni longitudinali complete vengono preassemblate fuori opera e quindi poste in opera per essere collegate tra loro.

15.4.3.1.4 Preassemblaggio completo

Il preassemblaggio completo della struttura potrà essere effettuato sia in officina sia in cantiere.
Il preassemblaggio in officina può essere impiegato per piccoli manufatti, essendo limitato dalla sagoma massima trasportabile.
Il preassemblaggio in cantiere, essendo adatto per strutture da varare intere, è indicato per installazioni su fondazioni sommerse.

15.4.3.2 Strutture ad elementi incastrati

Nel montaggio del manufatto le sovrapposizioni circolari dovranno essere sfalsate, così che ogni elemento superiore si innesti sulla metà circa dei due elementi inferiori corrispondenti; in senso longitudinale il collegamento avverrà per mezzo di appositi ganci in acciaio zincato.

15.4.4 Rinfianco e rinterro

Il materiale di rinfianco del manufatto dovrà essere eventualmente inumidito per facilitare la sua penetrazione sotto i quarti inferiori delle strutture circolari o sotto le piastre angolari di base nelle sezioni ribassate o policentriche.
Il materiale dovrà essere posato e compattato a strati orizzontali di spessore non superiore a 30 cm, disposti alternativamente sui due lati del manufatto, in modo da non generare spinte asimmetriche.
La compattazione di ogni strato dovrà dar luogo ad una densità non inferiore a quella indicata al § 3.3.13 afferente il costipamento in opera dei rilevati da applicarsi anche nei tratti non in rilevato.
Per la compattazione dovranno essere impiegati mezzi atti ad evitare di arrecare danni al manufatto, (in vicinanza del manufatto preferibilmente pestelli pneumatici).
Si dovrà inoltre evitare il passaggio dei mezzi di cantiere sulla condotta senza un adeguato ricoprimento della struttura che assicuri un'idonea ripartizione del carico al fine di non generare nel manufatto sollecitazioni superiori a quelle previste dal calcolo.
Il rilevato intorno alla struttura dovrà estendersi per almeno tre volte la luce del manufatto e il terreno impiegato sarà normalmente costituito dallo stesso materiale adottato per la realizzazione dello corpo stradale.

15.5 Controlli e prove

15.5.1 Controlli a carico dell'Appaltatore

L'Appaltatore è tenuto a documentare in apposito report l'esito delle seguenti verifiche da trasmettere alla Direzione Lavori:

Controllo dei documenti di accompagno delle forniture in cantiere
In accordo al § 11.3.1.5 delle NTC2018, tutte le forniture di acciaio in arrivo in cantiere, per le quali sussiste l'obbligo della Marcatura CE, devono essere accompagnate da:

- Copia del Documento di trasporto DDT
- Copia della Marcatura CE e DOP
- Certificato di controllo interno 3.1. di cui alla norma UNI EN 10204

- certificato di conformità della zincatura ai requisiti della norma UNI EN ISO 1461 nelle modalità di cui al § 25.6.1 bis di questo capitolato oltre ai certificati di laboratorio di cui al § 25.4.2.2

Si prescrive anche l'obbligo di mantenere compilato ed aggiornato un registro di tutte le carpenterie che man mano giungono in cantiere in modo da garantire sempre la rintracciabilità di tutti i componenti. Detto registro deve implementare i contenuti indicati al § 25.6.3 con l'elenco dei documenti di cui sopra.
L'Appaltatore deve sempre verificare la rispondenza tra i documenti di cui sopra e le forniture in arrivo in cantiere e consegnare settimanalmente copia di detti documenti unitamente al registro della rintracciabilità dei materiali alla Direzione Lavori.

Altri Controlli

- della corrispondenza delle forniture in cantiere alle specifiche di qualifica e ai documento di accompagno delle forniture
- della corretta movimentazione, deposito e conservazione delle lamiere, dei bulloni e di qualsiasi altro materiale
- della corretta esecuzione del piano di posa
- della corretta esecuzione delle modalità di montaggio in cantiere rispetto alle specifiche del presente capitolato e del produttore approvate dal Direttore dei Lavori
- della geometria finale del manufatto a mezzo di rilievo topografico nel rispetto delle tolleranze secondo quando indicato al § 15.6.1

Controlli del serraggio dei bulloni
Per il controllo del serraggio dei bulloni si rimanda ai contenuti del § 25.10.3 di questo capitolato.

15.5.2 Prove a carico della Direzione Lavori

Prove sugli acciai di cui al § 11.3.4.11.3 delle NTC2018
Per il controllo degli acciai (lamiere, bulloni e chiodi) si rimanda ai contenuti del § 25.8.2 di questo capitolato con la precisazione che i prelievi degli acciai sono da fare con l'arrivo del materiale in cantiere.
Laddove l'Appaltatore esegua un preassemblaggio in stabilimento esterno al cantiere il personale della Direzione Lavori con frequenza a discrezione del Direttore dei Lavori si recherà presso detto luogo di assemblaggio delle carpenterie per effettuare tutti i controlli di accettazione di sua competenza di cui al § 11.3.4.11.3 delle NTC2018.
In tal caso Il prelievo dei campioni sarà effettuato dal Direttore Tecnico del Centro di trasformazione o del fabbricante secondo le disposizioni del Direttore dei Lavori; quest'ultimo deve assicurare, mediante sigle, etichettature indelebili, ecc., che i campioni inviati per le prove al laboratorio incaricato, con spedizione a cura del Direttore di Stabilimento, siano effettivamente quelli da lui prelevati, nonché sottoscrivere la relativa richiesta di prove. Il prelievo potrà anche essere eseguito dallo stesso laboratorio incaricato della Committente per l'esecuzione delle prove.

Prove sulle zincature
Per il controllo sulle zincature si rimanda ai contenuti del § 25.6.3 bis di questo capitolato.

15.6 Tolleranze

Le tolleranze per la posa rispetto alle geometrie di progetto sono stabilite in:
- 3 cm in verticale
- 5 cm in orizzontale

15.6.1 Geometria e deformazioni

Una volta terminato il montaggio completo del manufatto la Direzione Lavori indicherà all'Appaltatore le sezioni da marcare per la verifica topografica del manufatto con intervalli di misurazione di lunghezza pari al massimo 10 m sullo sviluppo del manufatto. I punti di mira per le suddette verifiche saranno individuati in contraddittorio con la Direzione Lavori e verranno marcati con pittura indelebile.

Il controllo delle deformazioni avverrà mediante misure topografiche, a cura ed onere dell'Appaltatore, del diametro verticale e dello scostamento orizzontale tra i punti di riferimento materializzanti gli assi dell'elemento in calotta e dell'arco rovescio della struttura; la Direzione Lavori potrà disporre l'esecuzioni di ulteriori misure di dimensioni significative.

Le misure saranno effettuate nelle quattro configurazioni seguenti:

1) montaggio completo, in assenza di rinfianco
2) rinfianco a metà altezza del manufatto
3) rinfianco sino alla quota di chiave del manufatto
4) rinterro ultimato.

Inoltre, il difetto di verticalità definito come rapporto tra la distanza tra gli assi verticali passanti per i due punti di riferimento ed il diametro verticale non dovrà risultare superiore al 3%.

Nella configurazione 4 il valore dell'altezza H dovrà essere compreso tra quelli misurati nelle configurazioni 1 e 3.

Qualora i valori sopra definiti non siano rispettati, la Direzione Lavori potrà rifiutare l'opera e disporne lo smontaggio parziale o totale e la ricostruzione del rilevato a spese dell'Appaltatore.

L'esame visivo della parete del manufatto non dovrà rivelare discontinuità angolari, inversioni di curvatura, deformazioni localizzate.

Art. 16 Gabbioni, materassi metallici, barriere paramassi

16.1 Descrizione e campo d'applicazione

Il presente articolo di capitolato si applica ai manufatti basati sull'impiego di rete metallica a doppia torsione, adottati per la protezione di argini e rilevati (materassi), per opere di sostegno a gravità (gabbioni), per il contenimento di scarpate instabili (reti e barriere paramassi), che hanno sostanziale valenza strutturale e, come tali, devono presentare i requisiti specificatamente richiesti dalle NTC 2018.
Per altre tipologie di intervento sulle scarpate si rimanda i contenuti dell'art. 11 di questo capitolato.

16.2 Normativa di riferimento

- Norme tecniche per le costruzioni - DM 17 gennaio 2018
- Circolare 20 Aprile 2017 n.3703 C.S. LL.PP: Qualificazione di gabbioni e reti metalliche ad uso strutturale"
- Presidenza del Consiglio Superiore dei LL.PP – Servizio Tecnico Centrale: Linee guida per la certificazione di idoneità tecnica all'impiego e l'utilizzo di prodotti in rete metallica a doppia torsione. Settembre 2013
- UNI EN 10218-1: Filo di acciaio e relativi prodotti – Generalità – Metodi di prova
- UNI EN 10218-2: Filo di acciaio e relativi prodotti – Generalità – Dimensioni e tolleranze dei fili
- UNI EN 10223-3: Fili e prodotti trafilati di acciaio per recinzioni - Reti di acciaio a maglie esagonali per impieghi industriali
- UNI EN ISO 16120-2: Vergella in acciaio non legato per trasformazione in filo - Parte 2: Requisiti specifici per vergella per impieghi generali
- UNI EN 10244-2: Fili e prodotti trafilati di acciaio - Rivestimenti metallici non ferrosi sui fili di acciaio - Rivestimenti di zinco o leghe di zinco - giugno 2009
- UNI EN 10245-2: Fili e prodotti trafilati di acciaio - Rivestimenti organici sui fili di acciaio - Fili rivestiti in PVC
- UNI EN 10245-5: Fili e prodotti trafilati di acciaio - Rivestimenti organici sui fili di acciaio - Parte 5: Fili rivestiti in poliammide
- UNI EN 13383-1: Aggregati per opere di protezione (armourstone) – Specifiche
- UNI 11437: Opere di difesa dalla caduta massi - Prove su reti per rivestimento di versanti
- UNI EN 15381: Geotessili e prodotti affini - Caratteristiche richieste per l'impiego nelle pavimentazioni e nelle coperture di asfalto
- UNI EN ISO 6988 - Rivestimenti metallici ed altri rivestimenti non organici - Prova con anidride solforosa con condensazione generale di umidità
- UNI EN ISO 4892-2: Materie plastiche - Metodi di esposizione a sorgenti di luce di laboratorio - Parte 2: Lampade ad arco allo xeno
- UNI EN ISO 4892-3: Materie plastiche - Metodi di esposizione a sorgenti di luce di laboratorio - Parte 3 : Lampade fluorescenti UV
- UNI EN 12385-4: Funi di acciaio - Sicurezza - Parte 4: Funi a trefoli per usi generali nel sollevamento

16.3 Criteri di accettazione dei materiali

16.3.1 Gabbioni e materassi metallici

L'impiego dei gabbioni e delle reti metalliche con finalità strutturali è consentito solo se si è in possesso del Certificato di Valutazione Tecnica (NTC § 11.1 lett. C) rilasciato dal Servizio Tecnico Centrale. E' anche consentita la marcatura CE che faccia riferimento ad una ETA (Valutazione Tecnica Europea o European Technical Assessment) rilasciata sulla base di un EAD (Documento

di Valutazione Europea o European Assessment Document). A titolo esemplificativo, si evidenziano alcuni EAD riguardanti i gabbioni e le reti metalliche ad uso strutturale:

- EAD 200019-00-0102 per Gabbioni e materassi in rete metallica a doppia torsione
- EAD 200039-00-0102 per Gabbioni e materassi in rete metallica a doppia torsione con rivestimento di zinco

Il sistema di attestazione della conformità deve essere di tipo 2+.
I gabbioni metallici dovranno avere forma prismatica ed essere in rete metallica a doppia torsione, con maglia esagonale, tessuta con trafilato di ferro, conforme alle UNI-EN 10223-3 e UNI-EN 10218-1/2, in accordo con le "Linee Guida per la certificazione di idoneità tecnica all'impiego e l'utilizzo di prodotti in rete metallica a doppia torsione" approvate dalla Prima Sezione del Consiglio Superiore LL.PP., con parere n. 69 reso nell'adunanza del 2 luglio 2013.

16.3.1.1 Filo di acciaio

Il filo di acciaio impiegato per la costruzioni delle reti deve essere del tipo a basso tenore di carbonio costituito da vergella utilizzata nei processi di trafilatura a freddo di cui alla UNI EN ISO 16120-2. Il filo deve avere al momento della produzione una resistenza a trazione compresa fra i 350 ed i 550 N/mm^2 ed un allungamento minimo a rottura superiore o uguale al 8%.
Per le tolleranze ammesse sui valori del diametro del filo, per i limiti di ovalizzazione ed altre caratteristiche tecniche si può fare riferimento alle indicazioni della UNI-EN 10218-2.
A titolo di riferimento, vengono di seguito riportati i diametri nominali standard del filo attualmente disponibili insieme ai valori delle tolleranze ammesse su ciascun diametro nel caso che il filo sia stato sottoposto unicamente ad un trattamento di protezione galvanica.

Diametro (*)	Tolleranza
(mm)	(mm)
2,2	±0,06
2,4	±0,06
2,7	±0,06
3,0	±0,07
3,4	±0,07
3,9	±0,07

Tabella 16.1

*Valori riferiti alla classe T1 della norma UNI-EN 10218-2

16.3.1.2 Caratteristiche meccaniche della rete metallica a doppia torsione

Il valore della resistenza a trazione della rete metallica assume valori differenti in funzione delle diverse combinazioni tra dimensioni della maglia e diametro del filo.
Ai fini del progetto, il valore indicativo della resistenza caratteristica da adottare nelle diverse applicazioni è rappresentato nella seguente tabella.

Tipo di opera	Resistenza caratteristica a trazione (kN/m)
Opere di sostegno e difesa idraulica	50
Materassi metallici	37
Opere in terra rinforzata	35
Opere paramassi	50

Tabella 16.2

Valori diversi possono essere comunque assunti per applicazioni speciali, purché giustificate in

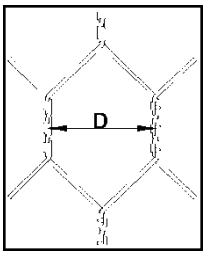
funzione delle condizioni di installazione e del livello di sicurezza specificatamente richiesta.
Ai valori di resistenza caratteristica a trazione devono essere associati valori di "rigidezza" per le applicazioni in cui le prestazioni dipendono dalla deformabilità delle rete, quali in particolare reti paramassi e per i rinforzi di rilevati strutturali in terra armata.

16.3.1.3 Caratteristiche geometriche della rete metallica a doppia torsione

Per la denominazione della maglia tipo, le dimensioni e le relative tolleranze, si può fare riferimento alle specifiche della norma UNI EN 10223-3 e rappresentate nella seguente tabella che si riferisce alle reti standard disponibili in commercio.

Denominazione Tipo	Diametro "D" nominale (mm)	Tolleranze (mm)
6x8	60	Da 0mm a +8mm
8x10	80	Da 0mm a +10mm

Tabella 16.3



Le combinazioni-tipo tra le dimensioni "D" della maglia e il diametro del filo "d" con cui questa è costituita generalmente impiegate sono di seguito riportate:

	Maglia tipo	(D = mm)	Diametro minimo "d" del filo (*)(mm)
Rete per opere paramassi	6x8 8x10 8x10	60 80 80	2,7 2,7(**) 3,0
Gabbioni	6x8 8x10 8x10	60 80 80	2,7 2,7(**) 3,0
Materassi metallici	6x8	60	2,2 (**)
Opere in terra rinforzata	8x10	80	2,2 (**) 2,7 (**)

Tabella16.4

(*) Escluso l'eventuale rivestimento polimerico esterno (**) Diametri standard per fili con rivestimento polimerico

Per ciascuna applicazione la combinazione tra diametro delle maglia "D" e quello del filo "d" deve essere comunque univocamente individuata e il diametro del filo non può essere indicato come "superiore a" o "non inferiore a" o messo in alternativa tra due o più valori.

Il filo di bordatura laterale di tratti di rete e di quello dei singoli elementi di strutture scatolari (gabbioni e materassi metallici) deve avere un diametro maggiore di quello costituente la rete stessa, secondo quanto riportato dalla norma UNI EN 10223-3 e di seguito richiamato.

Diametro del filo della rete	Diametro minimo del filo di bordatura
(mm)	(mm)
2,2	2,7
2,7	3,4
3,0	3,9

Tabella 16.5

16.3.1.4 Graffe metalliche

Per le legature, in alternativa al filo si potrà ricorrere a graffatura pneumatica con graffe metalliche 45x24x3 mm, aventi resistenza a trazione non inferiore a 170 MPa.

16.3.1.5 Caratteristiche del rivestimento protettivo

La protezione del filo dalla corrosione, non potendo essere di fatto associata ad un sovraspessore di tipo sacrificale a causa del suo piccolo spessore iniziale, è affidata ad un rivestimento appartenente ai seguenti consolidati tipi:

- *Rivestimento con leghe di zinco-alluminio Zn95Al5 oppure Zn90Al10*
- *Rivestimenti in materiali polimerici*

Ad ogni tipo di rivestimento compete in generale una diversa durabilità dell'opera, in relazione ai caratteri di impiego ed alle diverse condizioni di aggressività ambientale.
Per le caratteristiche dei diversi tipi di rivestimento protettivo con leghe di zinco, può essere fatto riferimento a quanto previsto dalla norma UNI EN 10223-3 ed a quelli prescritti per la Classe A della norma UNI EN 10244-2. Lo spessore minimo di rivestimento deve essere rapportato al diametro nominale del filo secondo quanto indicato dalla stessa norma UNI EN 10244-2 e riportato nelle seguente Tabella 16.6.

Diametro (mm)	Ricoprimento minimo (gr/m^2)
2.0	215
2.2	230
2.4	230
2.7	245
3.0	255
3,4	265
3.9	275

Tabella 16.6

Il rivestimento in materiali polimerici costituisce una protezione aggiuntiva ed integrativa da adottare in ambienti fortemente aggressivi e/o per opere di elevata vita nominale. I rivestimenti polimerici devono essere conformi alle prescrizioni delle norme UNI EN 10245-2, per i rivestimenti in PVC, e UNI EN 10245-5 per i rivestimenti in poliammide (PA6). Possono essere costituiti anche da polimeri di diversa composizione, purché ne venga garantita e certificata un'aderenza ottimale sul filo ed una

valida resistenza agli agenti atmosferici (raggi U.V. e temperatura) e comunque rispettino, per quanto applicabili, i requisiti di base indicati dalle UNI EN 10245.
Il rivestimento in materiale polimerico deve essere comunque associato a rivestimenti galvanici altamente prestazionali quali quelli costituiti da leghe zinco-alluminio come da tabelle sotto riportate (UNI EN 10223-3).

Diametro interno filo(mm)	Ricoprimento minimo *Zn95Al5 oppure Zn90Al10* (gr/m^2)	Tipo di polimero di rivestimento
2.2	230	PVC
2.4	230	PVC
2.7	245	PVC
3.0	255	PVC
3.4	265	PVC
3.9	275	PVC

Diametro interno filo(mm)	Ricoprimento minimo *Zn95Al5 oppure Zn90Al10* (gr/m^2)	Tipo di polimero di rivestimento
2.2	60	PA6
2.4	60	PA6
2.7	60	PA6
3.0	60	PA6
3,4	60	PA6
3.9	60	PA6

Tabelle 16.7a e 16.7b: quantitativo minimo di Lega zinco alluminio per fili con rivestimento plastico

16.3.1.5.1 Indicazioni sulla vita-nominale delle opere e sulla durabilità dei prodotti

A ciascuna applicazione deve essere associato una vita-nominale, intesa, in accordo con la definizione data al punto.2.4.1 delle NTC 2018 e successive modifiche, come *"il numero di anni nel quale è previsto che l'opera, purchè soggetta alla necessaria manutenzione, mantenga specifici livelli prestazionali".*
Alla vita nominale così definita devono essere adattati i criteri di progetto con particolare riferimento alla durabilità della rete e dei sistemi di protezione dalla corrosione dei fili metallici, anche in riferimento alla possibilità che in un'opera possano essere eseguiti o meno sostituzioni di componenti o ripristini, con operazioni di manutenzione ordinaria, nonché in riferimento alle condizioni di aggressività ambientali. Uno schema di riferimento per il rispetto della prima condizione può essere ricavato dal seguente prospetto.

Tipo di opera

1 - Opere caratterizzate da media difficoltà di manutenzione (es. reti paramassi)
2 - Opere caratterizzate da componenti difficilmente sostituibili senza rifacimento totale (opere di sostegno, idrauliche, ...)
3 - Strutture con elementi non ispezionabili né sostituibili (muri in terra rinforzata,.)

La scelta del materiale da adottare e della sua protezione dovrà derivare dalla combinazione tra i requisiti di vita nominale richiesti dal tipo di opera e dalle condizione di aggressività (bassa, media, alta) degli ambienti nella quale l'opera verrà inserita, secondo i criteri di seguito indicati:
Aggressività ambientale tipo di opera

tipo di rivestimento		
bassa	1 e 2	Lega ZnAl5% oppure Lega ZnAl 10%
media	1	Lega ZnAl5% oppure Lega ZnAl 10%
media	2	Lega ZnAl10% oppure Leghe ZnAl e rivestimento plastico
alta	1 e 2	Lega ZnAl10% oppure Leghe ZnAl e rivestimento plastico
qualsiasi	3	Leghe ZnAl e rivestimento plastico

Per la definizione delle condizioni di aggressività ambientale si potrà fare riferimento alle categorie definite nella norma ISO 9223 (Tabella 1).

Categoria definita nella ISO 9223	Aggressività
C1	Molto bassa
C2	Bassa
C3	Media
C4	Alta
C5	Molto Alta
CX	Estrema

In ambienti dove è potenzialmente prevista la presenza di correnti vaganti, ad esempio in prossimità di impianti, linee ferroviarie e/o di campi di dispersione elettrica, e' opportuno adottare un livello di protezione massima, anche mediante uso di rivestimento polimerico, a meno di specifiche verifiche di dettaglio della particolare situazione in esame.
Per la definizione della vita nominale di opere di difesa idraulica si dovrà tener specificatamente conto del possibile danneggiamento della rete per abrasione da parte del trasporto solido e della maggiore o minore facilità di eseguire eventuali ripristini e quindi prevedere in fase di progetto accorgimenti tecnici opportuni (ad esempio scelta della fondazione più idonea per opere longitudinali o della protezione della gaveta per briglie). In generale nelle opere a contatto permanente o temporaneo con acqua è opportuno prevedere rivestimenti in Lega ZnAl e rivestimento plastico.

16.3.1.6 Materiali di riempimento

In fase di progettazione, è opportuno che vengano riportate tutte le necessarie indicazioni relative ai materiali di riempimento ed alla loro messa in opera, ed in particolare:

a) Pietrame di riempimento per gabbioni e materassi metallici

Deve essere costituito da materiale litoide proveniente da cava o d'alveo dotato di marcatura CE in conformità alla norma UNI EN- 13383-1 con sistema di attestazione della conformità 2+, non friabile né gelivo e quindi non deteriorabile dagli agenti atmosferici, di elevato peso specifico (non inferiore a 2,3 ton/m^3) e di pezzatura superiore alla dimensione della maglia (minimo 1,5 D) in modo da non permettere alcuna fuoriuscita del riempimento, né in fase di posa in opera, né in esercizio. Il materiale di riempimento dovrà essere messo in opera con operazioni meccanizzate e/o manuali, in modo da raggiungere sempre una porosità del 30-40% per ottenere un idoneo

peso di volume, nel rispetto delle ipotesi di progetto.
Il materiale lapideo da impiegarsi sarà di granulometria tale da non determinare la fuoriuscita degli elementi lapidei dalla maglia e da non ostacolare (per la presenza di elementi di dimensioni eccessive, superiori ai 2/3 dello spessore) un buon addensamento del materiale:

- gabbioni maglia 6x8: granulometria 90-200 mm
- gabbioni maglia 8x10: granulometria 120-220 mm
- materassi: granulometria 90-130 mm

In casi speciali (gabbioni rinverditi) al materiale grossolano sarà associata una componente fine destinata ad intasare i vuoti degli elementi lapidei ed a consentire l'attecchimento delle essenze vegetali.
Per quanto riguarda la resistenza a rottura il materiale dovrà rientrare nella categoria CS80 della UNI EN 13383-1.
I requisiti di resistenza all'usura saranno:

- categoria $M_{DE}10$ UNI EN 13383-1: per l'impiego in opere di difesa idraulica in presenza di trasporto solido grossolano (torrenti);
- categoria $M_{DE}20$ UNI EN 13383-1: per l'impiego in opere di difesa costiera;
- categoria $M_{DE}30$ UNI EN 13383-1: per l'impiego in opere di difesa idraulica in presenza di trasporto solido fine (fiumi) o in opere di sostegno.

Laddove non siano disponibili, entro una distanza di 30 km dal perimetro del cantiere, cave o fornitori di materiali lapidei con le caratteristiche di M_{DE} richieste per i vari impieghi oppure in caso di incompatibiità con particolari richieste di Enti, saranno ammessi materiali fino a categoria $M_{DE}=50$ (corrispondente ad un coefficiente micro Deval ≤ 50) determinato in conformità alla norma UNI EN 1097-1. In tale caso sull'intera fornitura di materiale lapideo verrà applicato un deprezzamento della corrispondente voce di prezzo di appalto (fornitura e posa) pari a: 0,0125 x ($M_{DE\ di\ progetto} - M_{DE\ fornito}$) / $M_{DE\ di\ progetto}$ %.
Per quanto riguarda la resistenza al gelo, il materiale dovrà soddisfare i requisiti della categoria FT_A della UNI EN 13383-1.
Per il riempimento dei gabbioni possono altresì essere utilizzati i materiali provenienti dal cantiere nel rispetto dei requisiti di cui sopra nel caso in cui siano disponibili provenienti dagli scavi interni al cantiere che soddisfino i requisiti ambientali per il riutilizzo e sia altresì comprovata, da certificati di laboratorio, da adeguati studi sperimentali di laboratorio e in vera grandezza, l'idoneità tecnica all'utilizzo previsto.
Il materiale non deve contenere sostanze pericolose (ed es. quelle di natura amiantifera).

b) Terreno di rinfianco per opere in terra rinforzata

Per il materiale interposto tra gli elementi di rinforzo in rete metallica a doppia torsione nelle opere in terra rinforzata si rimanda ai contenuti disciplinati al § 3.3.9 di questo capitolato.

16.3.1.7 Geotessile non tessuto di separazione

Il geotessile da stendere tra il terreno e la superficie di contatto dei gabbioni e materassi con funzione di separatore dovrà possedere marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA della norma europea armonizzata UNI EN 13249 con sistema di attestazione di conformità 2+ e dichiarazione di prestazione DoP.
Lo strato di geotessile dovrà essere del tipo nontessuto, in polipropilene o poliestere con resistenza a trazione non inferiore a 19 kN/m, resistenza al punzonamento statico non inferiore a 3 KN e allungamento a rottura non inferiore a 35% in entrambe le direzioni longitudinale e trasversale, la media della somma degli allungamenti {(long.+trasv./2)} maggiore del 50%. Dovrà inoltre soddisfare i criteri di permeabilità e ritenzione: la porometria del geotessile dovrà essere abbastanza aperta da

garantire una permeabilità minima di 60 l/m^{2}s e nel contempo sufficientemente chiusa per evitare fenomeni di dilavamento e erosione; tali condizioni si ottengono con una apertura caratteristica dei pori di compresa nell'intervallo 60÷150 µm.
Inoltre, il geotessile dovrà essere conforme alle norme UNI EN 12225 e 12224, relative rispettivamente ai metodi per la determinazione della resistenza microbiologica e degli agenti atmosferici ad alla norma UNI EN ISO 10722 per la simulazione del danneggiamento durante la posa e per la messa in opera in materiali a grana grossa.
Con riferimento alla UNI EN 13249 occorre prevedere le seguenti durabilità minime in esercizio:
- superiore a 5 anni per opere provvisionali;
- superiore a 25 anni per opere definitive

Si riepilogano di seguito i requisiti richiesti che dovranno risultare in fase di qualifica dalla dichiarazione di DoP o da apposita certificazione rilasciata da laboratorio ufficiale:

Resistenze a trazione MD e CD (UNI EN ISO 10319)	$\geq$ 19 kN/m
Allungamento MD e CD (UNI EN ISO 10319)	$\geq$ 35 (MD e CD) $\geq$ 50 (MD+CD)/2
Resistenze a trazione al 10% di allungamento (UNI EN ISO 10319)	$\geq$ 3 kN/m
Punzonamento statico (UNI EN ISO 12236)	$\geq$ 3 kN
Punzonamento dinamico (UNI EN ISO 13433)	$\leq$ 20 mm
Permeabilità ortogonale al piano (UNI EN ISO 11058)	$\geq$ 60 l/m^{2}s
Diametro di filtrazione(UNI EN ISO 12956)	60÷150 µm

Qualora anche da una sola delle prove di cui sopra risultassero valori non rispondenti a quelli stabiliti, la partita sarà rifiutata e l'Appaltatore dovrà allontanarla immediatamente dal cantiere.
Nel suo conferimento al cantiere, i geotessile dovrà essere identificato indelebilmente secondo le specifiche del § 4 della norma UNI EN ISO 10320.

16.3.2 Barriere paramassi

L'impiego di sistemi o barriere paramassi ad assorbimento di energia con finalità strutturali è consentito solo se si è in possesso del Certificato di Valutazione Tecnica (NTC § 11.1 lett. C) rilasciato dal Servizio Tecnico Centrale. E' anche consentita la marcatura CE che faccia riferimento ad una ETA (Valutazione Tecnica Europea o European Technical Assessment) rilasciata sulla base di un EAD (Documento di Valutazione Europea o European Assessment Document). A titolo esemplificativo, si evidenziano alcuni ETA e EAD riguardanti i gabbioni e le reti metalliche ad uso strutturale:

- EAD 340059-00-0106 – sistema di protezione contro la caduta dei massi
- ETAG 27 – sistemi di protezione paramassi

Il sistema di attestazione della conformità deve essere di tipo 1.
La marcatura CE dovrà essere appositamente segnalata sui montanti di supporto, in conformità a quanto sancito al paragrafo 3.3 della citata ETAG 027 e i sistemi devono essere prodotti in regime di qualità ISO 9001. La certificazione deve contenere esito di prove in vera grandezza "crash test", effettuate da laboratorio indipendente accreditato presso EOTA e che esegua le prove in conformità alla Linea Guida di Benestare Tecnico Europeo ETAG 027.

Le barriere paramassi sono classificate in base alle seguenti caratteristiche tecniche prestazionali:

- Classe energetica CE con specificazione dell'assorbimento energetico del livello massimo di energia MEL e/o del livello di energia di servizio SEL espressi in kJ con MEL ≥ 3 x SEL (in accordo alla tabella 2 riportata al punto 2.2.1.1. della EAD 340059-00-0106).

Table 2 – Falling rock protection kit categories

Energy absorption categories	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
SEL (kJ)	-	85	170	330	500	660	1000	1500	> 1500
MEL (kJ) with MEL ≥ 3 x SEL	100	250	500	1000	1500	2000	3000	4500	> 4500

- Categoria A, B o C in funzione dell'altezza residua misurata dopo il MEL, in accordo al punto 2.2.1.2. della della EAD 340059-00-0106:
  - Categoria A : Altezza Residua ≥ 0,50 altezza nominale
  - Categoria B: 0,30 Altezza nominale < Altezza Residua < 0,50 Altezza nominale
  - Categoria C: Altezza Residua ≤ 0,30 Altezza nominale.

  Se non diversamente specificato a progetto la categoria ammessa delle altezze resideue delle barriere paramassi è la A.
- Deformata massima nelle prove MEL.
- L'altezza commerciale della barriera, da confrontate con quella riportata nel rapporto di prova e nel manuale di installazione tenuto conto dei limiti di tolleranza di cui al punto 4.3 della ETAG 027

Il livello prestazionale richiesto è indicato negli elaborati progettuali.

Il sistema di barriera paramassi comprende anche gli ancoraggi al terreno che possono in genere essere realizzati con:

- barre di acciaio di classe B450C o trefoli del diametro minimo di mm 24 e della lunghezza massima di ml 6 messe in opere a mezzo di perforazione con idonea attrezzatura e di piastre e dadi di bloccaggio;
- funi di tipo spiroidale secondo la norma UNI EN 12385-10 con diametro non inferiore a diametro 16,0 mm a filo elementare zincato (EN 10264-1 e EN 10264-2) ed aventi carico dì rottura minimo garantito non inferiore a quello previsto dalla tabella UNI corrispondente alla formazione della fune impiegata posta in 180,0 kg/mm^2 la classe di resistenza del filo elementare

Laddove questi ancoraggi siano fissati con iniezione di resine, malte o boiacche di cemento queste, trattandosi di materiali o prodotti per uso strutturale, devono essere in possesso della Marcatura CE ovvero, in alternativa, del Certificato di Valutazione Tecnica (CVT) del Servizio Tecnico Centrale della Presidenza del Consiglio Superiore del LL.PP come prescritto dalle NTC2018.

L'Appaltatore dovrà verificare che forze sulle fondazioni desunte dai rapporti di prova della barriera paramassi scelta tra quelle disponibili in commercio siano compatibili con il progetto sulla base anche delle condizioni del sito di installazione. Nel caso risultasse necessario modificare le fondazioni per adattarle ai carichi della barriera scelta tale onere sarà a cura dell'Appaltatore e la nuova soluzione dovrà essere approvata dal Direttore dei Lavori.

16.4 Dossier di prequalifica

L'Appaltatore deve trasmettere al Direttore dei Lavori per approvazione almeno 15 giorni prima dell'inizio delle attività, la documentazione di seguito elencata.
La mancata presentazione della documentazione preliminare comporta la non autorizzazione all'inizio dell'esecuzione dei lavori, né saranno accettate eventuali lavorazioni svolte prima dell'approvazione delle modalità esecutive.

- Certificato di Idoneità tecnica rilasciato da STC ovvero ETA rilasciato sulla base di un EAD oppure marcatura CE , DOP e scheda tecnica dei materiali impiegati.
- Per ogni produttore o fornitore si richiede:
  - Per le reti dei gabbioni e materassi metallici i certificati di laboratorio delle seguenti prove indicate dalla UNI 11437:
    - resistenza a trazione sul filo metallico su n.3 campioni prima della tessitura secondo le indicazioni contenute nel paragrafo 3 della norma UNI EN 10218-1;
    - trazione sulla rete metallica in accordo con la norma UNI EN 15381 annesso D. Si possono usare campioni aventi una larghezza minima pari a 8 volte la larghezza "D" della singola maglia ed una lunghezza minima tra le attrezzature di immorsatura della rete pari ad una lunghezza di maglia intera (definendo come lunghezza di maglia intera una porzione di rete contenente due doppie torsioni successive complete);
    - resistenza del rivestimento plastico sotto carico in accordo con la norma UNI EN 15381 annesso D. Fino ad un carico corrispondente al 50% di quello di rottura nominale non si devono verificare rotture localizzate del rivestimento polimerico nelle torsioni della rete stessa;
    - invecchiamento accelerato in conformità alle norme UNI-EN-ISO 6988 su n. 1 campione di rete metallica in ambiente contenente anidride solforosa SO2 (0,2 l/ciclo). Tali campioni di rete dovranno essere preliminarmente sottoposti a prova di trazione secondo il punto 5.3 effettuata al 50% del carico di rottura nominale. Dopo un numero minimo 28 cicli consecutivi sul rivestimento dei fili non si dovranno presentare tracce evidenti di corrosione;
    - quantità di ricoprimento con procedure riportate nel par 5 della citata norma UNI EN 10244-2 basata sull'impiego del metodo volumetrico, su n.3 campioni di filo metallico prima della tessitura nell'ambito della gamma prodotta;
    - aderenza del rivestimento con procedure conformi a quanto previsto dal paragrafo 4.2.5 della UNI EN 10244-2, su n.3 campioni di filo metallico prima della tessitura. Ad avvolgimento avvenuto non si debbono verificare screpolature del rivestimento;
    - uniformità del rivestimento ovvero della sua centratura sul filo condotta mediante immersione dei campioni in una soluzione di solfato di rame secondo le procedure previste dalle norme UNI EN 10244-2 ed UNI EN 10223-3 su n.3 campioni di filo metallico prima della tessitura. La determinazione dell'uniformità del rivestimento viene valutata in funzione dell'apparire evidente di tracce di rame, provenienti dalla soluzione tampone che si sostituiscono allo zinco sull'acciaio del filo;
    - invecchiamento accelerato rivestimento polimerico con test di trazione (in accordo con la norma ISO 527) per verificare che le caratteristiche fisico meccaniche del polimero base con cui è costituito il rivestimento non varino più del 25%, dopo un'esposizione continua di 4000 ore a lampada allo Xeno in accordo alla EN ISO 4892-2, oppure dopo un'esposizione continua di 2500 ore a QUV-A (modo di esposizione 1) in accordo alla EN ISO 4892-3.
  - Per i materiali di riempimento dei gabbioni i certificati di laboratorio delle seguenti prove:

- peso specifico, resistenza a rottura CS, resistenza all'usura MDE, resistenza al gelo FT, assenza di sostanze pericolose nel rispetto dei requisiti indicati nel § 16.1.6 per ogni materiale omogeneo fornito dallo stesso fornitore.

- Per le reti paramassi i certificati di laboratorio delle seguenti prove:
  - Per elementi di carpenteria: resistenza alla rottura, allungamento, flessibilità secondo la UNI EN 10025-2/3/4/5 di riferimento per l'elemento oggetto di fornitura e spessore della protezione contro la corrosione;
  - Per cavi e funi: forza di rottura / allungamento, proprietà geometriche secondo la UNI EN EN 12385-4 e protezione contro la corrosione secondo UNI EN 10244-2 classe A;
  - Meccanismi di dissipazione: diagramma forza-spostamento, proprietà geometriche: è ammesso uno scarto rispetto a valori dichiarati delle forze di attivazione entro il 15%;
  - Reti ad anello: forza di rottura, proprietà geometriche, rottura dei cavi/allungamento e protezione contro la corrosione secondo UNI EN 10244-2 classe A;
  - Morsetti: carica statica secondo gli standard rilevanti;
  - Per le fondazioni in c.a occorre aver completato la qualifica dei materiali secondo gli articoli 20 e 24 di questo capitolato.

- La certificazione del sistema di controllo della produzione (FPC) e il Certificato UNI EN ISO 9001 del sistema di gestione qualità delle società produttrici dei materiali;
- Manuale d'uso e manutenzione;
- Per le barriere paramassi il progetto delle fondazioni qualora quello dell'esecutivo non è compatibile con le forze agenti sulle fondazioni desunte dai rapporti di prova della barriera scelta dall'Appaltatore.

Le prove e i certificati di accettazione iniziale della fase di prequalifica sono da ripetere ad ogni cambio fornitore o tipo di materiale a cura ed onere dell'Appaltatore.
I requisiti d'accettazione potranno inoltre essere accertati con ulteriori prove a cura della Direzione Lavori sia in in fase di prequalifica in cava (controllo non vincolante per l'autorizzazione), sia in corso d'opera, prelevando il materiale in sito o ancora in cava, prima e dopo avere effettuato le lavorazioni.

Laddove il contratto o i documenti di gara prevedano l'utilizzo di acciai e materiali con ridotta emissione di CO_2 nell'atmosfera rispetto a dei valori di riferimento o laddove prevedano l'utilizzo di elementi composti da materiale riciclato, occorre rispettare i requisiti definiti in detti documenti e le prescrizioni specifiche contenute in questo articolo di capitolato. Inoltre il Direttore dei Lavori potrà richiedere della certificazione integrativa o l'esecuzione di prove ulteriori per la verifica del rispetto dei valori di CO_2 dichiarati dall'Appaltatore, delle percentuali del materiale riciclato o di qualsiasi altro parametro, senza che ciò possa dare diritto a richieste di maggiori costi o tempi.

16.5 Modalità esecutive

Per quanto riguarda le modalità esecutive, occorre fare riferimento alle fasi posa e montaggio approvate in fase di qualifica ed indicate nel manuale d'uso e manutenzione.

In ogni caso il piano di posa dovrà essere convenientemente regolarizzato, livellato e compattato e ove previsto dagli elaborati progettuali dovrà essere steso il geotessile. Il piano di stesa del geotessile dovrà essere perfettamente regolare, privo di discontinuità o di materiali che possano arrecare danneggiamenti al geotessile; se necessario la stesa sarà realizzata previa messa in opera di materiale sabbioso compattato. Dovrà essere curata la giunzione dei teli mediante sovrapposizione di almeno 30 cm nei due sensi longitudinale e trasversale. I teli non dovranno essere in alcun modo esposti al diretto passaggio dei mezzi di cantiere.

Le gabbie ripiegate saranno stese su una superficie piana e non cedevole, ed in seguito verranno aperte alzando:

- per i gabbioni: la faccia anteriore, i fianchi e quindi la faccia posteriore
- per i materassi: le facce di estremità e quindi quelle longitudinali.

I bordi delle diverse facce saranno legati prima alle estremità e poi nel mezzo (lo stesso avverrà per i diaframmi intermedi) con filo metallico (§ 16.3.1.3) o con graffe metalliche (§ 16.3.1.4) applicate con dispositivo pneumatico.

Le gabbie potranno essere tagliate o sagomate in funzione della geometria dell'opera da realizzare; tutti i bordi e le facce ottenuti in questa maniera dovranno essere aggiustati in modo da presentare un aspetto rifinito.

Una volta terminato il montaggio di un certo numero di gabbie, queste verranno collocate sul piano di posa e legate tra loro mediante idonee cuciture, eseguite con filo avente le stesse caratteristiche di quello della rete; si curerà di rispettare gli allineamenti verticali ed orizzontali per mezzo di tondini di ferro sistemati provvisoriamente sugli spigoli superiori, o – preferibilmente - mediante modine di guida a cui far aderire le facce delle gabbie dal lato in vista.

Il riempimento sarà eseguito con pala meccanica con l'ausilio di manodopera per la sistemazione manuale del materiale al fine di ottenere una massa compatta con il minimo indice dei vuoti.

Durante il riempimento, dovranno essere posti in opera i previsti tiranti, costituiti da un unico spezzone di filo avente le stesse caratteristiche di quello usato per le cuciture, fissato alla rete di pareti adiacenti od opposte dell'elemento

In corrispondenza del paramento in vista, per ottenere un aspetto più rifinito ed evitare sfiancamenti, il materiale di riempimento sarà sistemato a mano.

Si avrà cura di limitare l'altezza di caduta del materiale di riempimento (ad un massimo di 1 m) e comunque di evitare il danneggiamento delle gabbie e del loro rivestimento.

Eventuali deformazioni o sfiancamenti delle gabbie dovranno essere corretti prima di procedere ad un ulteriore riempimento.

In ogni caso si manterrà vuota l'ultima cella, al fine di facilitare la legatura della gabbia successiva.

Per i materassi in pendenza, il riempimento procederà dal basso verso l'alto.

Il riempimento avverrà a due strati per i gabbioni di altezza 0,50 m ed a tre strati per quelli di altezza 1,00 m, con l'interposizione di tiranti di collegamento (prefabbricati o realizzati a mano) tra le facce anteriore e posteriore, in ragione di 4 tiranti per m^2 di paramento.

Per i materassi il riempimento avverrà in un unico strato e non saranno necessari tiranti.

Si controllerà che le celle siano riempite uniformemente, particolarmente in corrispondenza degli spigoli e che il bordo superiore dei diaframmi sia accessibile per la legatura.

A riempimento ultimato si procederà alla posa dei coperchi, che verranno fissati alle facce, ai diaframmi e tra di loro; per realizzare una miglior resistenza potrà essere conveniente sfalsare i coperchi rispetto alle basi.

I capi dei fili di legatura eventualmente sporgenti verso l'esterno dovranno essere ripiegati verso Dopo la chiusura degli elementi, la rete delle pareti e del coperchio dovrà risultare ben tesa e con i filoni dei bordi tra di loro a contatto, evitando attorcigliamenti l'interno delle gabbie, così da evitare il pericolo di ferimenti.

Inoltre, in tutte le fasi esecutive, comprese le fasi di preparazione e di sistemazione finale delle aree, per gli aspetti e le problematiche relative a temi ambientali, quali impatti acustici e vibrazionali, emissioni in atmosfera, impatto sulle acque superficiali, sotterranee e sul suolo, impatti sulla componente fauna e vegetazione, si rimanda integralmente a quanto prescritto dalla Normativa Nazionale e Regionale vigente, alle prescrizioni degli Enti preposti alla tutela ambientale, nonché alle condizioni ambientali contenute nelle autorizzazioni ed alle disposizioni del Capitolato Ambientale allegato al progetto esecutivo.

16.6 Controlli in corso d'opera

16.6.1 Controlli dell'Appaltatore

L'Appaltatore è tenuto a documentare in apposito report l'esito delle seguenti verifiche da trasmettere alla Direzione Lavori che opererà, ove indicato sotto, in contraddittorio :

- rispondenza dei documenti di trasporto delle forniture all'arrivo in cantiere e la rispondenza delle caratteristiche per lo specifico impiego previsto a progetto e alla qualifica approvata dal Direttore dei Lavori. Si precisa che ciascun prodotto, nella confezione fornita dal fabbricante, deve chiaramente e costantemente essere riconoscibile attraverso idonea etichettatura dalle quale risultino, in modo inequivocabile, il riferimento al fabbricante, allo stabilimento di produzione ed al lotto di produzione, alle caratteristiche tecniche tipologiche e prestazionali del materiale ed il riferimento del Certificato di Idoneità Tecnica all'Impiego oppure gli estremi della marcatura CE e relativo ETA di riferimento;
- rispondenza dei mezzi d'opera utilizzati e delle modalità di posa alle specifiche di capitolato, di progetto e di qualifica;
- per i gabbioni e i materassi (in contraddittorio con la Direzione Lavori vincolante al prosieguo delle attività):
  - verifica a spot, sul lotto giornaliero di lavori, del tracciamento, della conformità delle legature i, sia sui singoli elementi che sugli accoppiamenti e sulle inserzioni di diaframmi di rinforzo, dell'inserimento di tiranti tra le pareti opposte di ogni singolo elemento di gabbione, nel caso che questo non sia munito di diaframmi interme;
  - corretto montaggio e costipazione del riempimento ad installazione ultimata secondo quanto indicato nei manuali di montaggio, capitolato e progetto;
- per la barriera paramassi (in contraddittorio con la Direzione Lavori vincolante al prosieguo delle attività):
  - verifica a spot, sul lotto giornaliero di lavori, del tracciamento, della corretta esecuzione delle fondazioni, dei montanti, dei cavi e delle funi, dei meccanismi di dissipazione, delle reti ad anello e dei morsetti;
  - corretto montaggio ad installazione ultimata secondo quanto indicato nei manuali di montaggio capitolato e progetto;
- controllo topografico della sagoma dell'opera realizzata con gabbioni, materassi o reti paramassi nel rispetto delle previsioni progettuali. Il rilievo dovrà individuare, sia graficamente, sia in una apposita tabella suddivisa per wbs, i volumi di scavo e dei materiali impiegati suddivisi per provenienza (da scavi interni al cantiere, dai vari fornitori, ecc.). Il rilievo, ed ogni suo successivo aggiornamento da redigere su base mensile se in presenza di lavorazioni, deve essere trasmesso al Direttore dei Lavori in formato dwg;
- dei controlli effettuati in corso d'opera di cui ai successivi paragrafi.

16.6.2 Controllo sulla rete metallica dei gabbioni e materassi

La Direzione Lavori, in contraddittorio e con l'assistenza dell'Appaltatore, dovrà eseguire ogni 30 t di acciaio impiegato della stessa tipologia proveniente dallo stesso fornitore, anche se con forniture successive la verifica delle caratteristiche indicate nel § 16.4.

16.6.3 Controllo sui componenti della barriera paramssi

La Direzione Lavori, in contraddittorio e con l'assistenza dell'Appaltatore, dovrà eseguire sulle barriere paramassi per ogni produttore, anche se con forniture successive la verifica delle caratteristiche seguenti caratteristiche:

- Per elementi di carpenteria ogni 90 tonnellate: resistenza alla rottura, allungamento, flessibilità secondo la UNI EN 10025-2/3/4/5 di riferimento per l'elemento oggetto di fornitura e spessore della protezione contro la corrosione;
- Per cavi, funi, ancoraggi ogni 30 tonnellate: forza di rottura / allungamento, proprietà geometriche secondo la UNI EN EN 12385-4 (o secondo la UNI di riferimento per l'ancoraggio in uso) e protezione contro la corrosione secondo UNI EN 10244-2 classe A;
- Reti ad anello ogni 30 tonnellate: forza di rottura, proprietà geometriche, rottura dei cavi/allungamento e protezione contro la corrosione secondo UNI EN 10244-2 classe A;

16.6.4 Controllo sul materiale da riempimento

La Direzione Lavori, in contraddittorio e con l'assistenza dell'Appaltatore, dovrà eseguire la verifica dei requisiti indicati nel § 16.3.1.6 e cioè peso specifico, granulometria, resistenza a rottura CS, resistenza all'usura MDE, resistenza al gelo FT, assenza di sostanze pericolose ogni 5.000 m^3 di materiale omogeneo fornito dallo stesso fornitore.

16.6.5 Controllo sul geotessile

Nel caso di utilizzo di geotessile la Direzione Lavori, in contraddittorio e con l'assistenza dell'Appaltatore, dovrà eseguire la campionatura del materiale secondo la Norma UNI EN ISO 9862 con frequenza di un prelievo ogni 2.000 m^2 di prodotto omogeneo fornito e per ogni produttore.
Si effettueranno le prove di verifica dei requisiti di cui alla tabella riportata al § 16.3.1.7.

Art. 17 CAM - Sistemi di drenaggio del corpo autostradale a gravità

17.1 Descrizione e campo di applicazione

Le presenti specifiche riguardano i dispositivi di drenaggio a gravità del corpo stradale e autostradale utilizzati per lo smaltimento delle acque meteoriche cadute sulla superficie stradale e sulle superfici ad esso afferenti. Tali dispositivi si suddividono in base alla funzione svolta in elementi di convogliamento e di raccolta.

Gli elementi di convogliamento sono le canalizzazioni e si dividono in:

- fossi di guardia
- collettori

Gli elementi di raccolta e scolo sono elementi idraulici marginali e si dividono in:

- embrici
- canalette grigliate continue e discontinue e caditoie di drenaggio
- cunette triangolari (dette anche alla francese)

Il sistema si completa con i seguenti altri elementi:

- pozzetti e relativi dispositivi di chiusura e di coronamento (caditoie)
- sedimentatori e disoleatori
- manufatti di laminazione e regolatori di portata
- valvole di non ritorno
- paratoie

17.2 Normativa di riferimento

- Decreto 5 agosto 2024, recante "Adozione dei criteri ambientali minimi per l'affidamento del servizio di progettazione ed esecuzione dei lavori di costruzione, manutenzione e adeguamento delle infrastrutture stradali (CAM Strade e s.m.i)".

Collettori:

- UNI EN 1401-1: Sistemi di tubazioni di materia plastica per fognature e scarichi interrati non in pressione - Policloruro di vinile non plastificato (PVC-U) - Parte 1: Specifiche per i tubi, i raccordi ed il sistema
- UNI EN 1401-3: Sistemi di tubazioni di materia plastica per fognature e scarichi interrati non in pressione - Policloruro di vinile non plastificato (PVC-U) - Guida per l'installazione
- UNI EN 1452-2: Sistemi di tubazioni di materia plastica per adduzione d'acqua e per fognature e scarichi interrati e fuori terra in pressione - Policloruro di vinile non plastificato (PVC-U) - Parte 2: Tubi
- UNI EN 1452-3: Sistemi di tubazioni di materia plastica per adduzione d acqua e per fognature e scarichi interrati e fuori terra in pressione - Policloruro di vinile non plastificato (PVC-U) - Parte 3: Raccordi
- UNI EN 13476-3: Sistemi di tubazioni di materia plastica per fognature e scarichi interrati non in pressione - Sistemi di tubazioni a parete strutturata di policloruro di vinile non plastificato (PVC-U), polipropilene (PP) e polietilene (PE) - Parte 3: Specifiche per tubi e raccordi con superficie interna liscia e superficie esterna profilata e per il sistema, Tipo B
- UNI EN ISO 23856: Sistemi di tubazioni di materia plastica per la distribuzione dell'acqua, per scarichi o fognature con o senza pressione - Materie plastiche termoindurenti rinforzate con fibre di vetro (PRFV) a base di resina poliestere insatura (UP)
- UNI 9032: Tubazioni di resine termoindurenti rinforzate con fibre di vetro (PRFV) con o senza cariche - Linee guida per la definizione dei requisiti per l'impiego
- UNI EN 1610: Costruzione e collaudo di connessioni di scarico e collettori di fognatura

- UNI CEN/TS 1046: Sistemi di tubazioni e condotte di materiali termoplastici - Sistemi in pressione e a gravità all'esterno della struttura dell'edificio - Pratiche per la posa interrata
- UNI 11434: Tubi spiralati in polietilene rinforzato con acciaio, per fognature e scarichi interrati non in pressione
- ISO/TR 10358: Plastics pipes and fittings for industrial applications — Collection of data on combined chemical-resistance
- UNI EN 1916: Tubi e raccordi di calcestruzzo non armato, rinforzato con fibre di acciaio e con armature tradizionali
- UNI EN 681-1: Elementi di tenuta in elastomero - Requisiti dei materiali per giunti di tenuta nelle tubazioni utilizzate per adduzione e scarico dell'acqua - Parte 1: Gomma vulcanizzata
- UNI EN 1433: Canalette di drenaggio per aree soggette al passaggio di veicoli e pedoni - Classificazione, requisiti di progettazione e di prova, marcatura e valutazione di conformità

Pozzetti:

- UNI EN 1917: Pozzetti e camere di ispezione di calcestruzzo non armato, rinforzato con fibre di acciaio e con armature tradizionali
- UNI EN 13598-1: Sistemi di tubazioni di materia plastica per scarichi e fognature interrati non in pressione - Policloruro di vinile non plastificato (PVC-U), polipropilene (PP) e polietilene (PE) - Parte 1: Specifiche per raccordi ausiliari inclusi i pozzetti di ispezione poco profondi
- UNI EN 13598-2: Sistemi di tubazioni di materia plastica per scarichi e fognature interrati non in pressione - Policloruro di vinile non plastificato (PVC-U), polipropilene (PP) e polietilene (PE) - Parte 2: Specifiche per i pozzetti di ispezione accessibili al personale e per le camere di ispezione
- UNI CEN/TS 13598-3: Sistemi di tubazioni di materia plastica per scarichi e fognature interrati non in pressione - Policloruro di vinile non plastificato (PVC-U), polipropilene (PP) e polietilene (PE) - Parte 3: Valutazione della conformità
- UNI EN 124-1: Dispositivi di coronamento e di chiusura dei pozzetti stradali - Parte 1: Definizioni, classificazione, principi generali di progettazione, requisiti di prestazione e metodi di prova
- UNI EN 124-2: Dispositivi di coronamento e di chiusura dei pozzetti stradali - Parte 2: Dispositivi di coronamento e chiusura fatti in ghisa
- UNI EN 124-3: Dispositivi di coronamento e di chiusura dei pozzetti stradali - Parte 3: Dispositivi di coronamento e chiusura fatti in acciaio e lega di alluminio
- UNI EN 124-4: Dispositivi di coronamento e di chiusura dei pozzetti stradali - Parte 4: Dispositivi di coronamento e chiusura fatti in calcestruzzo armato
- UNI EN 124-5: Dispositivi di coronamento e di chiusura dei pozzetti stradali - Parte 5: Dispositivi di coronamento e chiusura fatti in materiale composito
- UNI EN 124-6: Dispositivi di coronamento e di chiusura dei pozzetti stradali - Parte 6: Dispositivi di coronamento e chiusura fatti in polipropilene (PP), polietilene (PE) o polivinilcloruro (PVC-U)
- UNI EN 858-1: Impianti di separazione per liquidi leggeri (per esempio benzina e petrolio) - Parte 1: Principi di progettazione, prestazione e prove sul prodotto, marcatura e controllo qualità
- UNI EN 858-2: Impianti di separazione per liquidi leggeri (ad esempio benzina e petrolio) - Scelta delle dimensioni nominali, installazione, esercizio e manutenzione

17.3 Criteri di accettazione

Gli elementi costituenti il sistema di drenaggio devono rispettare i criteri dettati dal D.M. 5 agosto 2024 (CAM Strade), art. 2.3.7 del D.M. (Sistemi di drenaggio lineare), di seguito elencati, salvo diverse specifiche contenute negli elaborati di progetto esecutivo e riassunte nella relazione CAM (criterio 1.1. del D.M.):

- Prodotti in calcestruzzo (prefabbricato, vibro compresso, art. 2.3.3 del D.M.): contenuto di materia riciclata, recuperata o di sottoprodotti, di almeno il 5% sul peso del prodotto.
- Prodotti in acciaio (per uso non strutturale, art. 2.3.4 del D.M.): contenuto minimo di materia recuperata, riciclata o di sottoprodotti come di seguito specificato:
  - acciaio da forno elettrico non legato, contenuto minimo pari al 65%;
  - acciaio da forno elettrico legato, contenuto minimo pari al 60%;
  - acciaio da ciclo integrale, contenuto minimo pari al 12%.
- Tubazioni in materiale plastico (art. 2.3.9 del D.M): contenuto di materia recuperata, riciclata o di sottoprodotti, di almeno il 20% sul peso del prodotto.
- Rinterri e riempimenti (art. 2.4.4 del D.M.): riutilizzo del materiale di scavo. Nel caso di riempimenti con miscele legate, per le specifiche di dettaglio, coerenti con il D.M., si rimanda all'art.30 di questo Capitolato.

Secondo quanto previsto dall' Art. CG.05 di questo Capitolato, le modalità con cui sono stati considerati i criteri sopracitati dovranno essere opportunamente illustrate nel progetto, sempre in funzione delle specifiche del progetto stesso, fatte salve le indicazioni riportate nelle norme UNI di riferimento.

17.3.1 Elementi di convogliamento

Oltre all'uso di fossi di guardia in terra che non necessitano di specifiche di capitolato se non quelle afferenti allo scavo di cui all'art. 1 di questo capitolato, il convogliamento dell'acqua di piattaforma avviene, a seconda delle indicazioni progettuali, attraverso elementi composti da:

- Conglomerato cementizio armato prefabbricato con sistema vibrocompresso o turbocentrifugato a compressione radiale (rotocompresso) a seconda delle indicazioni progettuali: utilizzo per scarichi interrati e fognature non a pressione.
  Gli elementi hanno dimensioni/diametro (interne/o), spessore e classe di resistenza definite/o negli elaborati progettuali, classe di esposizione XC4 e XF2 (se non diversamente specificato negli elaborati di progetto) e acciaio di armatura B450A o B450C o fibre di acciaio in quantità atta ad assicurare la resistenza ai carichi di progetto. Le giunzioni degli elementi potranno essere a innesto con bicchiere in spessore o con bicchiere a campana e dovranno garantire la tenuta idraulica a mezzo di guarnizione incorporata negli elementi prefabbricati in gomma elastomerica conforme alla norma UNI EN 681-1, con pressione di tenuta garantita a collaudo fino a 0,5 bar testata in conformità alla norma UNI EN 1610. Particolare cura dovrà essere posta alla corretta scelta del tipo di elastomero, resistente alle azioni aggressive di olii ed idrocarburi e di adeguata capacità dielettrica. Se richiesto a progetto la condotta deve essere rivestita internamente, sui 360° per uno spessore non inferiore a 6 mm, e nelle due parti dell'incastro per uno spessore non inferiore a 1 mm, con resina poliuretanica con durezza non inferiore a 70 shore. Le forniture dovranno essere accompagnate da marcatura CE e DoP, ai sensi della norma UNI EN 1916, con sistema di attestazione della conformità di tipo 2+ per utilizzo in sotto la sede stradale/autostradale e di tipo 4 in tutti gli altri casi.
- Policloruro di vinile rigido non plastificato (PVC-U): utilizzo per scarichi interrati e fognature non a pressione, per installazione all'esterno della struttura o interrati. La giunzione ad innesto maschio-femmina prevede una guarnizione di tenuta, conforme alla norma UNI EN 681-1 realizzata in elastomero termoplastico. Il diametro nominale DN esterno dei tubi è riportato negli elaborati progettuali mentre la rigidità anulare nominale, misurata secondo EN

ISO 9969, deve essere ≥ 8 kN/m^2 (SN8). Deve inoltre essere rispettato il rapporto dimensionale tra il diametro esterno e lo spessore del tubo normalizzato (SDR). Tali forniture devono essere certificate con il marchio IIP (Istituto Italiano dei Plastici) che ne assicura la conformità alle norme UNI EN 1401-1 o UNI EN 13476-3.

- Policloruro di vinile rigido non plastificato (PVC-U): utilizzo per condotte in pressione acquedotti e irrigazione, per installazione all'esterno della struttura o interrati. La giunzione ad innesto maschio-femmina prevede una guarnizione di tenuta, conforme alla norma UNI EN 681-1 realizzata in gomma sintetica. I tubi hanno diametro nominale DN esterno e pressione nominale PN fino a 25°C come indicato negli elaborati progettuali, rapporto dimensionale tra il diametro esterno e lo spessore del tubo normalizzato (SDR). Tali forniture devono essere certificate con il marchio IIP (Istituto Italiano dei Plastici) che ne assicura la conformità alla norma UNI EN 1452-2.
- Polietilene ad alta densità (PEAD) a doppia parete, lisce internamente e colorate per facilitare l'ispezione visiva (azzurro, verde giallo, ecc.) e corrugate esternamente di colore nero: utilizzo per scarichi interrati e fognature non a pressione di viabilità stradali e autostradali. Il diametro nominale dei tubi DN esterno è riportato negli elaborati progettuali mentre la rigidità anulare nominale SN, misurata secondo EN ISO 9969, deve essere ≥ 8 kN/m^2 (SN8). Le tubazioni devono essere dotate di sistema di giunzione a bicchiere o manicotto e rispettive guarnizioni elastomeriche di tenuta in EPDM o NBR. Tali forniture devono essere certificate con il marchio IIP (Istituto Italiano dei Plastici) che ne assicura la conformità alla norma UNI EN 13476-3.
- Polipropilene (PP) a doppia parete, lisce internamente e colorate per facilitare l'ispezione visiva (azzurro, verde giallo, ecc.) e corrugate esternamente di colore nero: utilizzo per attraversamenti della sede stradale/autostradale di scarichi interrati e fognature non a pressione. Il diametro nominale dei tubi DN esterno è riportato negli elaborati progettuali mentre la rigidità anulare nominale SN, misurata secondo EN ISO 9969, deve essere ≥ 16 kN/m^2 (SN16). Le tubazioni devono essere dotate di sistema di giunzione a bicchiere o manicotto e rispettive guarnizioni elastomeriche di tenuta in EPDM o NBR. Tali forniture devono essere certificate con il marchio IIP (Istituto Italiano dei Plastici) che ne assicura la conformità alla norma UNI EN 13476-3.
- Plastica rinforzata con fibra di vetro (PRFV): utilizzo per scarichi e fognature non in pressione da fissare all'intradosso dell'impalcato di viadotti stradali e autostradali. I tubi sono costituiti da più strati:
  - uno interno liscio costituito da fibre di vetro restitenti chimicamente secondo il grado III della norma DIN ISO 719 e resina poliestere; tale supporto è poi rinforzato con fibre di vetro con adeguate proprietà meccaniche secondo la norma UNI EN ISO 2078 e resina poliestere;
  - uno ottenuto avvolgendo elicoidalmente a differente angolazione sullo strato precedente fili continui di vetro imbevuti di resina per garantire la necessaria resistenza meccanica al tubo nei confronti del peso proprio e quello del fluido, della movimentazione, della posa e dei carichi termici. Questo strato può contenere aggregati (materiale granulare inerte o sabbia silicea) per aumentare la rigidezza trasversale del tubo;
  - uno esterno formato da una resina poliestere termoindurente additivata con pigmenti o inibitori di raggi UV con o senza inerti e riempitivi e con armatura in vetro o filamenti sintetici per proteggere la tubazione della esposizione ai raggi solari.

  I tubi hanno diametro nominale DN interno secondo le indicazioni progettuali e lo spessore deve essere idoneo per consentire una rigidità nominale SN = 5000 secondo la norma UNI EN ISO 23856.

I tubi devono essere giuntati a tenuta idraulica con accoppiamenti a bicchiere, incollati, flangiati o con involucro e guarnizioni elastomeriche di tenuta in EPDM o NBR.
Il sistema deve essere conforme ai requisiti secondo la norma UNI EN ISO 23856.
I Tubi devono essere fissati alla struttura tramite elementi di sostegno, collari in acciaio zincato a caldo o in acciaio inox 1.4306 (AISI 304L) secondo quanto disciplinato in progetto. In caso di acciaio zincato le caratteristiche della zincatura dovranno rispondere ai requisiti di cui all'art. 25bis. Detti collari devono essere installati con una sella il PVC o in gomma per ridurre al minimo l'abrasione.
I sistemi di ancoraggio a scelta tra due diverse tipologie che possono essere:
Di tipo meccanico con adeguata tassellatura ad espansione meccanica in acciaio inox A4 HCR provvista di certificato ETA secondo l'EAD di riferimento 330232-01-0601 (e sue versioni e varianti successive).
Di tipo chimico mediante barratura filettata in acciaio inox A4 HCR di sezione adeguata e completa di bulloneria in acciaio inox A4 HCR, installata su rivestimento definitivo mediante ancorante chimico epossidico o in vinilestere ad iniezione certificato ETA secondo l'EAD di riferimento 330499-01-0601 (e sue versioni e varianti successive). Sia per gli ancoranti meccanici che chimici, in funzione dell'utilizzo previsto, il certificato ETA deve includere l'idoneità per applicazioni sismiche (C1 o C2), l'idoneità per la vita utile di progetto. Il sistema di ancoraggio deve essere resistente al fuoco secondo curva d'incendio ISO 834 secondo quanto riportato nel rispettivo certificato ETA, con una resistenza minima di 850° per 90', salvo diversa specificazione riportata negli elaborati progettuali.
Le caratteristiche del sistema di ancoraggio sono descritte nel certificato ETA di riferimento.
I dati necessari per la progettazione dell'ancoraggio (statica, sismica, incendio, fatica) devono essere descritti e assunti nell'ETA di riferimento del sistema.
La posa del sistema di ancoraggio deve essere eseguita in conformità alle indicazioni riportate nel certificato ETA dell'ancorante, sia per le modalità operative che per le attrezzature da utilizzarsi.

Gli ancoraggi devono essere dimensionati a cura dell'Appaltatore in funzione del tipo di struttura di aggancio, del peso della tubazione (compresa l'acqua di scarico) e del passo come da progetto e devono essere regolabili per consentire la posa nel rispetto della pendenza di progetto. Nelle linee lunghe o quando gli sbalzi termici sono elevati occorrerà utilizzare "loop" o giunti di espansione.

In caso gli elementi di sostegno della condotta siano ancorati sulla carpenteria metallica dell'impalcato occorre inserire il dettaglio dell'aggancio nel processo di prequalifica, accettazione e controllo di cui all'art. 25 di questo capitolato speciale.
Tutti i materiali con cui sono composti gli ancoraggi e gli elementi di sostegno del collettore in PRFV all'impalcato devono avere adeguata protezione alla corrosione nel rispetto dei contenuti dell'art. 25bis di questo capitolato a cui si rimanda.

In aggiunta ai requisiti di cui sopra, per le tubazioni in PVC-U, PEAD e PP l'Appaltatore deve fornire la certificazione attestante:

- la resistenza del materiale agli agenti chimici secondo la norma ISO/TR 10358
- la resistenza del materiale all'abrasione: uno spezzone di tubo contenente acqua e ghiaia viene fatta oscillare ad una frequenza di 20 cicli minuto. La profondità di abrasione interna, misurata dopo 100.000 cicli non deve essere superiore al 30% del valore iniziale dello spessore del tubo (DIN 19566-2)

17.3.2 Materiale per il letto di posa, il rinfianco e il rinterro degli scavi dei collettori

Letto di posa:

Se non diversamente specificato in progetto, dovrà essere realizzato con sabbia non limosa o argillosa.

Tale materiale deve possedere i seguenti requisiti:

- Frazione passante al setaccio 6 mm ≥ 95%;
- Frazione passante al setaccio 2 mm ≥ 70%;
- Frazione passante al setaccio 0,063 mm ≤ 5%;
- Costituito da granuli tondeggianti (massa volumica in mucchio compresa indicativamente, in funzione dell'umidità, tra 1400-2000 kg/mc), resistente (durezza scala di Mohs compresa indicativamente tra 5 e 7), costipabile e pulito (esente da detriti, materiale organico, pietre con spigoli vivi o qualsiasi altro materiale estraneo).

Tale materiale dovrà possedere la marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA della norma europea armonizzata UNI EN 13242 o UNI EN 13139 con sistema di attestazione di conformità 2+ e dichiarazione di prestazione DoP, fatte salve le ulteriori casistiche previste dalle Norme Tecniche delle Costruzioni di riferimento così come descritte al § CG.01.01 del Art. CG.01.

Rinfianco e rinterro:

La scelta del materiale dipende dalla collocazione delle tubazioni come definito ai seguenti § 17.3.2.1 e § 17.3.2.2. Si precisa che, come rinfianco, è da intendersi il materiale posto superiormente al letto di posa e sino a sopra l'estradosso della tubazione, per uno spessore adeguato alla ripartizione dei carichi previsti in progetto, mentre come rinterro si intende il materiale sovrastante il rinfianco e sino al p.c. (o immediatamente al di sotto di eventuali pavimentazioni).il materiale sovrastante il rinfianco e sino al p.c. (o immediatamente al di sotto di eventuali pavimentazioni).

17.3.2.1 Collettori posati sotto la pavimentazione stradale

Nel caso di collettori posati sotto la pavimentazione stradale di qualsiasi categoria secondo l'art. 2, comma 2 del Nuovo Codice della Strada (D.lgs. 30.04.1992 n. 285 e s.m.i.) sia in trincea che in rilevato, il rinfianco e il rinterro dovranno essere realizzati con misto cementato i cui requisiti di accettazione sono riportati al § 30.3 di questo capitolato speciale.

Qualora previsto negli elaborati progettuali o da prescrizioni di Enti Locali gestori della viabilità, i riempimenti degli scavi per la collocazione di tubazioni o per fondazioni in sede stradale saranno eseguiti con una miscela cementizia fluida autolivellante composta da inerti selezionati di diametro compreso da 0 a 12 mm, legante cementizio della classe di resistenza 32,5 o 42,5, additivi fluidificanti ed areanti idonei al raggiungimento del modulo di deformazione Md (con Δp compreso tra 1,5 e 2,5 kg/cm2) ≥ 160 MPa a seguito di verifica con l'esecuzione di prova di carico con piastra (Norma CNR n. 9/67, 146/92). Tale prova deve essere fatta sulla superficie finita di riempimento a 24 h dalla stesa e in numero di una prova per ogni giorno di lavoro.

L'impasto risultante dovrà essere privo di impurità e sostanze dannose, idoneo quindi al riempimento dei collettori. La miscela, dopo 24 ore dalla posa in opera, dovrà essere idonea al passaggio veicolare ed avere una resistenza meccanica uguale o maggiore a 5 Kg/cmq (0,5 MPa).

Qualora tali collettori dovessero far parte di opere idrauliche interferenziali in capo a terzi, i materiali e le modalità di posa delle tubazioni dovranno essere verificati con l'Ente Gestore di competenza.

17.3.2.2 Collettori non sottostanti la pavimentazione stradale

Nel caso di collettori non sottostanti la pavimentazione stradale è possibile utilizzare, nel rispetto delle norme vigenti in materia ambientale e nel rispetto del Capitolato Ambientali, materiale di risulta

dagli scavi, prestando cura ad utilizzare per il rinfianco, il materiale più fine e per il rinterro, il materiale con pezzatura più grossolana. In nessun caso comunque dovranno essere utilizzate pietre di grosse dimensioni (> di 5 cm) per evitare il danneggiamento delle tubazioni.

17.3.3 Elementi di raccolta

La raccolta dell'acqua meteorica ricadente sulla superficie stradale avviene, a seconda delle indicazioni progettuali, attraverso i seguenti elementi:

17.3.3.1 Embrici

Gli embrici sono elementi modulari prefabbricati in conglomerato cementizio vibrato utilizzati per lo scolo delle acque di piattaforma. Il primo elemento di embrice è un pezzo speciale detto invito e collocato lungo apposite aperture sul ciglo stradale e a seguire sono posati gli embrici modulati lungo le scarpate in rilevato fino al fosso di guardia posto al piede della piattaforma stradale.
Sono dotati di incastro maschio femmina con svasatura antiscivolo a coda di rondine per garantire il bloccaggio e la sovrapposizione dei pezzi.
Gli embrici devono essere realizzati in calcestruzzo non armato almeno di classe di resistenza C28/35 a meno di valutazioni specifiche del progettista sulla classe di esposizione ambientale, delle dimensioni specificate a progetto (generalmente pari a cm 50/40 di larghezza x cm 50 di sviluppo in lunghezza e altezza cm 20/15 con spessore della base pari a cm 5 e delle pareti pari a cm 4,5).
Gli embrici sono ancorati al terreno mediante due tondini in acciaio almeno del diametro 24 mm e lunghezza ≥ 80 cm, infissi nel terreno come indicato nelle modalità esecutive al § 17.5.4.
La ditta produttrice degli elementi deve essere in possesso del certificato del Sistema di Gestione per la Qualità secondo UNI EN 9001.

17.3.3.2 Canalette e caditoie di drenaggio

Si definisce canaletta di drenaggio un gruppo rettilineo composto da elementi prefabbricati di materiale indicato in progetto e riportato al § 17.3.3.2.2, che permette la raccolta e il convogliamento di acqua superficiale delle pavimentazioni stradali per tutta la sua lunghezza per scarico progressivo.
La raccolta dell'acqua avviene mediante griglie e/o coperture che sono fissate all'interno del corpo della canaletta allo scopo di soddisfare le condizioni di traffico indicate a progetto e riportate al § 17.3.3.2.2, realizzate mediante un sistema di fissaggio con chiusura rapida, agevole e veloce con possibilità di aggiunta di bulloni da avvitare in appositi inserti filettati solidali al telaio, senza ostacoli sotto la griglia che possano impedire l'evacuazione dell'acqua nella canaletta.
La superficie della canaletta dovrà essere perfettamente liscia per consentire il massimo scorrimento dell'acqua e per evitare ristagni di sostanze putrescibili, di fango e di inerti; dovrà essere inoltre priva di punti di collegamento con l'esterno.
Per le canalette di tipo "M" così come definite nella norma UNI EN 1433 (le tipo "M" sono canalette che richiedono un ulteriore supporto per sostenere i carichi orizzontali e verticali durante il servizio), il progetto prevede il rinfianco della canaletta con calcestruzzo debolmente armato avente classe di resistenza a compressione compresa tra C25/30 e C35/45 o compresa tra C30/37 XF4 e C40/50 XF4 a seconda che sia, rispettivamente, "non esposto" a cicli di gelo e disgelo oppure "esposto" a cicli di gelo e disgelo e a meno di valutazioni specifiche del progettista sulla classe di esposizione ambientale. Il calcestruzzo dovrà inoltre avere classe di consistenza non inferiore a S4 e dovrà essere realizzato con aggregati lapidei molto fini (diametro massimo 8/10 mm).
Il progettista definisce le dimensioni interne della canaletta.
Le canalette possono avere andamento continuo o discontinuo. Presentano uno scarico al collettore sottostante a mezzo di tubo in PEAD del diametro e con passo definito negli elaborati progettuali e

guarnizione di tenuta sia sulla canaletta che sul collettore.

La caditoia si differenzia dalla canaletta perché è un elemento di raccolta delle acque di tipo puntuale e trova collocazione generalmente sugli impalcati stradali, autostradali e nei parcheggi a seconda delle esigenze progettuali nella soluzione con chiusino grigliato o bocca di lupo cioè con un'apertura realizzata lungo il cordolo.
Il progettista definisce negli elaborati di appalto anche le dimensioni e la tipologia della caditoia sugli impalcati.
La caditoia presenta uno scarico al collettore sottostante a mezzo di tubo del diametro del diametro definito negli elaborati progettuali con guarnizione di tenuta sia sulla caditoia che sul collettore. La tubazione di collegamento tra caditoia e collettore interrato è realizzata in PEAD. Nel caso di caditoie su impalcati stradali con collettori appesi alla struttura, tale collegamento può essere realizzato in PRFV, in acciaio INOX o in acciaio zincato.

Ciascuna fornitura di canalette di drenaggio deve essere accompagnata dalla Dichiarazione di Prestazione (DoP) e dalla marcatura CE, attestanti la conformità all'allegato ZA alla norma europea armonizzata di riferimento UNI EN 1433 con sistema di attestazione di conformità di tipo 3.

Le classi di carico, di impiego previste e i materiali utilizzabili per le canalette e le caditoie di drenaggio sono indicate nei successivi § 17.3.3.2.1 e 17.3.3.2.2

17.3.3.2.1 Classe di carico e di impiego previsto

Le canalette e le caditoie di drenaggio devono essere classificate in conformità al loro uso previsto e la classe di carico deve essere esplicitata nella DoP:

- A15 (gruppo 1): utilizzate esclusivamente da pedoni e ciclisti
- B 125 (gruppo 2): percorsi pedonali, aree pedonali e aree paragonabili, parcheggi per auto private o parcheggi auto multipiano
- C 250 (gruppo 3): a lati dei cordoli della pavimentazione e aree non esposte a traffico di banchine e simili;
- D 400 (gruppo 4): strade rotabili (comprese le vie pedonali), banchine e aree di parcheggio per tutti i tipi di veicoli stradale
- E 600 (gruppo 5): aree soggette a carichi su grandi ruote, per esempio strade di porti e darsene
- F 900 (gruppo 6): aree soggette a carichi da ruote particolarmente grandi, per esempio le pavimentazioni per veivoli

L'Appaltatore resta responsabile di verificare che la classe di carico di progetto sia compatibile con l'effettivo impiego previsto.

17.3.3.2.2 Materiali

Conformemente ai requisiti della norma UNI EN 1433, le canalette e le caditoie di drenaggio, ad eccezione delle griglie e delle coperture, possono essere fabbricate con:

- ghisa a grafite lamellare;
- ghisa a grafite sferoidale;
- acciaio in getti;
- acciaio laminato (solo se protetto contro la corrosione);
- acciaio inossidabile;
- calcestruzzo armato o non armato;
- abbinamento di uno dei precedenti materiali con calcestruzzo o calcestruzzo con resina sintetica

con fibra;
- calcestruzzo con resina sintetica;
- calcestruzzo con fibra;
- polipropilene o polietilene;
- calcestruzzo polimerico;

Le griglie e le coperture possono essere fabbricate con:
- ghisa a grafite lamellare;
- ghisa a grafite sferoidale;
- acciaio in getti;
- acciaio laminato (solo se protetto contro la corrosione);
- acciaio inossidabile;
- leghe a base di rame;
- calcestruzzo con resina sintetica;
- calcestruzzo con fibra.

Le dimensioni e il tipo delle aperture delle griglie devono essere conformi alla norma UNI EN 1433.
Il progettista definisce i materiali con cui devono essere fornite le canalette e le griglie.
Si prescrive che il materiale con cui è composta la canaletta e la grigia per un uso su piattaforma stradale, deve essere resistente al gelo e disgelo in presenza di sale antighiaccio. Le griglie e le coperture in acciaio devono altresì essere resistenti alla corrosione secondo quanto stabilito all'art, 25 bis di questo capitolato speciale.
Per i canali in polipropilene o in polietilene il produttore deve consegnare i seguenti certificati, tutti emessi da appositi laboratori di test e verifiche, indipendenti dal produttore stesso:
- Certificazione di conformità secondo UNI EN 1433
- Rapporto di prova di resistenza alla abrasione secondo ISO5470
- Rapporto di prova di resistenza agli agenti chimici secondo ISO/TR 10358
- Rapporto di prova di resistenza al fuoco secondo UL94 classe V2

17.3.3.3 Cunette triangolari

Le cunette triangolari (dette anche alla francese) sono elementi modulari prefabbricati in conglomerato cementizio vibrato e armato utilizzati per la raccolta delle acque di piattaforma stradale e autostradale al margine della piattaforma.
Salvo più stringenti requisiti progettuali, tali cunette devono essere realizzate in calcestruzzo di classe di resistenza C32/40 con classe di esposizione XC4 e XF4, delle dimensioni specificate a progetto. L'armatura in acciaio potrà essere di tipo B450A o B450C con un copriferro minimo non inferiore a 30 mm.
La ditta produttrice degli elementi deve essere in possesso del certificato del Sistema di Gestione per la Qualità secondo UNI EN 9001 e la certificazione FPC dell'impianto di produzione.

17.3.4 Pozzetti e collegamenti

I pozzetti sono utilizzati per ispezione, incrocio, cambiamento di diametro e salto nei sistemi di drenaggio e fognatura bianca del corpo stradale e autostradale e possono essere delle seguenti tipologie:
- pozzetti prefabbricati in c.a.v. con marcatura CE e DoP secondo la norma UNI EN 1917 con sistema di attestazione di conformità di tipo 4
- pozzetti con tubazioni in Polietilene ad alta densità (PEAD) a doppia parete, lisce internamente e colorate per facilitare l'ispezione visiva (azzurro, verde giallo, ecc.) e corrugate esternamente di colore nero. Tali forniture devono essere certificate con il marchio IIP (Istituto Italiano dei Plastici) che ne assicura la conformità alla norma UNI EN 13476-3.

I materiali da impiegare dovranno essere prodotti secondo un sistema di gestione della qualità aderente alle norme UNI EN 9001, certificato da un organismo certificatore operante in conformità con le norme UNI EN 45012.

17.3.4.1 Pozzetti prefabbricati in c.a.v.

I pozzetti dovranno avere dimensioni conformi agli elaborati progettuali e in ogni caso dovranno essere atti a sopportare le spinte del terreno e del sovraccarico stradale in ogni loro componente: elemento di base, elementi di prolunga, elemento terminale.
Il calcestruzzo deve evere la classe di resistenza indicata negli elaborati progettuali e comunque non inferiore a C32/40 con classe di esposizione XC4 e XF2. Quando richiesto a progetto o quando necessario per sopportare le spinte del terreno e del sovraccarico stradale il pozzetto dovrà essere opportunarmente armato con barre in acciaio di tipo B450A o B450C con un copriferro minimo non inferiore a 30 mm o con aggiunta di fibre di acciaio.
Le guarnizioni di tenuta tra i diversi elementi del prefabbricato, incorporate nel giunto in fase di prefabbricazione ovvero fornite unitamente al manufatto da parte del fabbricante, saranno conformi alla UNI EN 681-1.
In caso di presenza di scale per l'accesso al fondo, i gradini saranno in tondino di acciai zincato o rivestito in polipropilene antisdrucciolo, opportunamente bloccati nella parete con malta espansiva.

17.3.4.2 Pozzetti in Polietilene ad alta densità PEAD e collegamenti

I pozzetti dovranno avere dimensioni conformi agli elaborati progettuali e in ogni caso dovranno essere atti a sopportare le spinte del terreno e del sovraccarico stradale in ogni loro componente: elemento di base, elementi di prolunga, elemento terminale.
Il diametro nominale dei tubi DN esterno è riportato negli elaborati progettuali normalmente pari a 400 o 630 mm, mentre la rigidità anulare nominale SN, misurata secondo EN ISO 9969, deve essere ≥ 8 kN/m^2 (SN8) posato in verticale in modo da essere centrale all'asse di mezzeria della sottostante tubazione.
Il collegamento tra tubi di diverso diametro deve essere realizzato a bicchiere o manicotto con le rispettive guarnizioni elastomeriche di tenuta in EPDM o NBR conformi alla norma UNI EN 681-1. Le guarnizioni ad anello a corredo di bicchieri o manicotti devono garantire la tenuta delle giunzioni e la costanza nel tempo delle caratteristiche. Le giunzioni si devono effettuare con apposito lubrificante (grasso od olio siliconato, vaselina, ecc.).

17.3.4.3 Dispositivi di chiusura e di coronamento dei pozzetti

17.3.4.3.1 Generalità

Si definiscono:
- dispositivo di chiusura: parte del pozzetto di ispezione costituita da un telaio e da un coperchio e/o una griglia;
- dispositivo di coronamento: parte del pozzetto di raccolta costituita da un telaio e da una griglia e/o un coperchio;
- telaio: elemento fisso di un dispositivo di coronamento o di chiusura, destinato all'alloggiamento ed al sostegno di una griglia o di un coperchio;
- griglia: elemento mobile di un dispositivo di coronamento o di chiusura, che consente il deflusso dell'acqua nel pozzetto di raccolta;
- coperchio: elemento mobile di un dispositivo di coronamento o di chiusura, che copre l'apertura del pozzetto di raccolta o di ispezione.

17.3.4.3.2 Classe di carico e di impiego previsto

In base ai carichi di prova secondo la norma UNI EN 124-1 i dispositivi di coronamento e di chiusura sono classificati come di seguito da cui deriva anche il loro possibile utilizzo e posizione:

- A15 (gruppo 1): utilizzate esclusivamente da pedoni e ciclisti
- B 125 (gruppo 2): percorsi pedonali, aree pedonali e aree paragonabili, parcheggi per auto private o parcheggi auto multipiano
- C 250 (gruppo 3): a lati dei cordoli della pavimentazione e aree non esposte a traffico di banchine e simili;
- D 400 (gruppo 4): strade rotabili (comprese le vie pedonali), banchine e aree di parcheggio per tutti i tipi di veicoli stradale
- E 600 (gruppo 5): aree soggette a carichi su grandi ruote, per esempio strade di porti e darsene
- F 900 (gruppo 6): aree soggette a carichi da ruote particolarmente grandi, per esempio le pavimentazioni per veicoli

17.3.4.3.3 Materiali e documentazione di qualifica

Il tipo di materiale e la relativa classe di carico dei dispositivi di chiusura e di coronamento sono definiti negli elaborati progettuali. L'Appaltatore resta responsabile di verificare che la classe di carico di progetto sia compatibile con l'effettivo impiego previsto secondo quanto disciplinato al precedente § 17.3.4.3.2.
Ogni formitura deve essere accompagnata da marcatura CE e DoP secondo la serie della norma UNI EN 124 come meglio speficato sotto con sistema di attestazione di conformità di tipo 1.

I dispositivi di chiusura e di coronamento possono essere fabbricati con:

- conformemente ai requisiti specificati nella UNI EN 124-2: ghisa a grafite lamellare (conforme alla EN 1561), ghisa a grafite sferoidale (conforme alla EN 1563) o con uno dei precedenti materiali combinato con calcestruzzo avente classe di resistenza a compressione minima C35/45;
- conformemente ai requisiti specificati nella UNI EN 124-3: acciaio (conforme alla EN 10130 o alla EN 10025-1) zincato a caldo in conformità alla EN ISO 1461, acciaio inossidabile austenitico di grado 1.4301, 1.4306, 1.4307, 1.4401, 1.4404, 1.4432 o 1.4571 (conforme alla EN 10088-1), leghe di alluminio (conformi EN 1706, EN 1676 o EN 573-2) con protezione alla corrosione in ambiente chimico particolarmente aggressivo;
- conformemente ai requisiti specificati nella UNI EN 124-4: calcestruzzo armato prefabbricato (i materiali costituenti del calcestruzzo e l'acciaio di armatura devono essere conformi al § 4.1 della EN13369);
- conformemente ai requisiti specificati nella UNI EN 124-5: materiale composito C1 (fibre lunghe continue costruite al fine di ottimizzare il rinforzo in fibra all'interno di una data macrostruttura), materiale composito C2 (solido e stampato come singolo prodotto monolitico consistente in fibre lunghe all'interno di una resina matrice), materiale composito C3 (noto come composto stampato rinforzato consistente in una resina matrice, filler particolari e fibra corta di rinforzo);
- conformemente ai requisiti specificati nella UNI EN 124-6: Poli (cloruro di vinile) non plastificato PVC-U (conforme alle norme EN1401-1, EN 13476-2, EN 13476-3, EN 13598-1, EN 13598-2, EN 12200-1), polipropilene PP (conforme alle norme EN 1852, EN 13476-2, EN 13476-3, EN 13598-1, EN 13598-2, EN 14758-1, EN124-6 Annex A), polietilene PE (conforme alle norme EN 12666-1, EN 13476-2, EN 13476-3, EN 13598-1, EN 13598-2)

Per tutti i materiali la qualità e le prove sono stabilite nelle rispettive norme di unificazione richiamate nella UNI EN 124.

Le caratteristiche dimensionali (fessure e fori di aerazione, apertura di accesso, profondità di incastro, giochi tra le diverse parti, telaio) ed i requisiti costitutivi (sedi, protezione degli spigoli, sistemi di fissaggio, di sbloccaggio e di rimozione, tenuta) saranno conformi alle prescrizioni della norma UNI EN 124.

17.3.5 Impianti di separazione

Gli impianti di separazione sono utilizzati per separare gli idrocarburi di origine minerale (liquidi leggeri con massa volumica non maggiore di 0,95 g/cm^3) dalle acque reflue e si configurano con un separatore che trattiene il liquido leggero, un sedimentatore (per limo, gango e sabbia) e un punto di campionamento. Il sedimentatore può consistere in un'unità separata o costruito insieme al separata o costruito insieme al separatore come unità combinata. Il punto di campionamento è situato a valle del processo di separazione in cui possono essere prelevati campioni di acque reflue scaricate dal separatore.

Ogni formitura deve essere accompagnata da marcatura CE e DoP secondo la norma UNI EN 858-1 con sistema di attestazione di conformità di tipo 3.

17.3.5.1 Classi di separatori

Esistono due classi di separatori

- Classe I: con contenuto massimo di olio residuo pari a 5 mg/l (*). La tecnica di separazione usuale è di tipo coalescente
- Classe II: con contenuto massimo di olio residuo pari a 10 mg/l (*). La tecnica di separazione usuale è a gravità

(*) secondo la modalità di prova descritta al § 8.3.3.1 di cui alla norma UNI EN 858-1.
Il progetto individua il dimensionamento e la classe più opportuna per la scelta del separatore in funzione della portata di progetto o della superficie servita.

17.3.5.2 Materiali

Gli impianti di separazione possono essere realizzati con:

- Calcestruzzo con classe di resistenza alla compressione minima C 35/45, non armato, fibrocemento o armato;
- Metallici:
    - Ghisa con grafite lamellare – ISO 185
    - Ghisa con grafite sferoidale – ISO 1083
    - Ghisa – ISO 3755
    - Acciaio laminato – ISO 630
    - Acciaio di amratura – ENV 10080
    - Acciaio inossidabile austenitico di qualità almeno pari a X6 CrNi 1810 – EN 10088-1-2-3
- Materie plastiche:
    - Rinforzate con fibra di vetro. Il laminato deve essere costruito utilizzando resine, materiali di rinforzo, agenti tratanti conformi alla norma EN 976-1
    - Polietilene per stampaggio rotazionale, per soffiaggio, a iniezione, a fogli di testa – massa volumica conforme alla norma ISO 1183 e portata massica fusa conforme alla norma ISO 1133

Per gli impianti di separazione devono essere utilizzati esclusivamente elastomeri (gomma) o materiali di tenuta elastici permanenti conformi alla norma EN 681-1 tipo WC e la loro durezza per i

giunti non deve essere minore di 40 IRHD conformemente alla ISO 48. Non devono essere utilizzati malta di cemento e cementi sigillanti o composti simili. Le guarnizioni di elastomeri continuamente a contatto con acque reflue e/o liquidi leggeri devono soddisfare i requisiti della EN 682, tipo GB.

Ove necessario e comunque ad insindacabile giudizio del Direttore dei Lavori, devono essere presenti rivestimenti esterni/interni applicati alle superfici dell'impianto di separazione per proteggerle dagli effetti dell'affluente (per le superfici interne) e della condizione del suolo (per le superfici esterne). Tali rivestimenti devono soddisfare i requisiti del § 6.2.6 – 6.2.7 della norma UNI EN 858-1.

Gli impianti di separazione devono essere dotati di una chiusura automatica di sicurezza, di un filtro a coalescenza e di un eventuale dispositivo automatico di allarme.

17.3.5.3 Manuale di installazione uso e manutenzione

Il fabbricante deve fornire in fase di prequalifica di cui al § 17.4 il manuale di installazione, uso e manutenzione che per la parte di manutenzione come minimo deve comprendere:

- Sedimentazione
  - Determinazione del volume di fango
- Separatore
  - Misurazione dello spessore dei liquidi leggeri
  - Controllo di funzionamento del dispositivo di chiusura automatica
  - Controllo di permeabilità del dispositivo di coalescenze, se i livelli dell'acqua davanti e dietro il dispositivo a coalescenza mostrano una differenza significativa
  - Controllo di funzionamento del dispositivo di avvertimento
- Colonna di campionamento
  - Pulizia del canale di scarico

17.3.6 Manufatti di laminazione e regolatori di portata

Laddove risulti necessario tutelare i corpi idrici di recapito dalle acque provenienti dalle superfici impermeabili, il progetto prevede dei manufatti accumulo e laminazione in grado di fungere da ammortizzatore idraulico grazie ai volumi di stoccaggio temporaneo dei deflussi e alla riduzione dell'infiltrazione durante i piovaschi di notevole intensità e durata, in quanto trattengono temporaneamente la portata intercettata da dette superfici impermeabili.
Tali manufatti, le cui dimensioni sono definite negli elaborati progettuali, sono realzzati in calcestruzzo armato, gettati in opera o prefabbricati, dotati di bocca tarata o di regolatore di portata per la regolazione delle acque in uscita. Le caratteristiche dei materiali sono indicate nelle tabelle riportate sulle tavole di progetto mentre i requisiti per la qualifica, l'accettazione e il controllo del materiale sono riportati nell'art. 20 e 24 di questo capitolato speciale d'appalto a cui si rimanda integralmente.
In aggiunta a quanto indicato nei citati articoli 20 e 24 si precisa che, laddove le vasche siano realizzate con un sistema di elementi prefabbricati modulari, occorre che i giunti tra elementi continui rispettino le indicazioni di cui sopra. Il corretto impiego richiede il montaggio con apposito collante e la lubrificazione con grasso specifico, prima della giunzione.
Laddove il progetto preveda un sistema di impermeabilizzazione e/o protezione del calcestruzzo si rimanda ai contenuti dell'art. 33 di questo capitolato.

Il regolatore di portata per gli scarichi delle acque miste o bianche (a galleggiante, basculante, a vortice o di altro tipo) avrà le dimensioni individuate in progetto determinate in base alla portata limite

da scaricare e dovrà essere realizzato in acciaio inox (1.4306/AISI 304 – 1.4401/AISI 316) o in acciaio zincato a caldo in conformità a quanto definito nell'art. 25 bis di questo capitolato.

17.3.7 Valvole di non ritorno

Le valvole di non ritorno (anche dette a clapet) vengono utilizzate generalmente negli scarichi delle tubazioni per impedire il riflusso di un fluido all'interno del sistema. Il mezzo può scorrere solo in una direzione attraverso la valvola per chiusura anti-ritorno. Se la spinta nel sistema supera la resistenza della valvola, la stessa si apre nella direzione del flusso e consente al fluido di scorrere. Se la spinta nel sistema scende di nuovo al di sotto della resistenza della valvola o se la direzione del flusso del fluido cambia, la valvola si chiude in modo completamente automatico tramite la spinta e la portata del fluido e non permette al fluido di tornare indietro e garantendone la tenuta.
La spinta necessaria per l'apertura della valvola deve essere tale da consentire sempre il naturale deflusso delle acque e deve essere coerente con le specifiche di progetto e con la natura dell'opera da realizzare.
La valvola di non ritorno anti-riflusso per le acque bianche e miste, può essere realizzata in acciaio inox (1.4306/AISI 304 – 1.4401/AISI 316), acciaio zincato a caldo in conformità a quanto definito nell'art. 25 bis di questo capitolato, in PEAD, poliammide o in gomma di alta qualità, secondo specifiche riportate in progetto.
La valvola può essere fissata alla tubazione con flangia anche a mezzo di pezzi speciali, con innesto maschio su tubo o fissata su una parete verticale. L'apertura della valvola può essere verticale o inclinata, a battente o a membrana (che si assottiglia a becco d'anatra).
Il produttore deve fornire tutte le specifiche costruttive del sistema di fissaggio, del montaggio in opera e delle condizioni di funzionamento in coerenza con le specifiche del progetto.
Il progetto può anche prevedere la tenuta del sistema con guarnizione di tenuta in EPDM.

17.3.8 Paratoie

Il progetto può prevedere l'installazione di paratoie a ghigliottina per regolare il deflusso e quindi la portata di un canale o di uno scarico.
Le dimensioni delle paratoie sono specificate negli elaborati progettuali così come la loro possibilità di movimentazione che può essere manuale, con l'ausilio di manovelle, pulegge e ingranaggi demoltiplicatori, o meccanicamente, per mezzo di un motore, solitamente elettrico, e di un pistone elettroidraulico.
Le paratoie possono essere realizzate in acciaio inox (1.4306/AISI 304 – 1.4401/AISI 316) o in acciaio zincato a caldo in conformità a quanto definito nell'art. 25 bis di questo capitolato, con tenuta su tre e /o quattro lati con guarnizioni in EPDM. Per un utilizzo in acque di superficie, scarichi di acque bianche e meteoriche di dilavamento il telaio deve anch'esso essere realizzato in acciaio inox o zincato. Il carico idraulico massimo è definito negli elaborati di progetto.

17.4 Dossier di prequalifica

L'Appaltatore deve trasmettere al Direttore dei Lavori per approvazione almeno 15 giorni prima dell'inizio delle attività, la documentazione di seguito elencata.

La mancata presentazione della documentazione preliminare comporta la non autorizzazione all'inizio dell'esecuzione dei lavori, né saranno accettate eventuali lavorazioni svolte prima dell'approvazione delle modalità esecutive.

- La documentazione attestante il contenuto di materia recuperata, riciclata o sottoprodotti, in conformità con quanto previsto dall'Art. CG.05 di questo Capitolato

- Marcatura CE, DoP e scheda tecnica dei materiali. Laddove la DoP non riporti uno specifico requisito richiesto l'Appaltatore deve allegare anche un certificato eseguito da un Laboratorio Ufficiale a dimostrazione della conformità del prodotto che intende proporre
- La certificazione FPC degli impianti ove vengono prodotti gli elementi prefabbricati in calcestruzzo (tubazioni, embrici, cunette triangolari). Il certificato con la curva granulometria (norma UNI EN 933-1) per il letto di posa in sabbia
- Il certificato di conformità dell'IIP che assicura la conformità alle norme UNI EN indicate nei criteri di accettazione di questo articolo di capitolato. Per le tubazioni in PVC-U, PEAD e PP l'Appaltatore deve fornire la certificazione attestante la resistenza del materiale agli agenti chimici secondo la norma ISO/TR 10358 e la resistenza del materiale all'abrasione
- La marcatura CE e DoP e scheda tecnica degli ancoranti proposti per i collettori in PRFV fissati all'intradosso degli impalcati stradali.
- Il Certificato UNI EN ISO 9001 del sistema di gestione qualità delle società produttrici dei materiali e Certificazione ambientale UNI EN ISO 14001;
- Modalità di posa, giunzione e saldatura delle tubazioni, pozzetti, manufatti di laminazione, regolatori di portata, valvole di non ritorno;
- Modalità di costipamento sopra le tubazioni nel rispetto di quanto indicato al § 17.5.1
- Modalità di marcatura della tubazione PVC-U, PP, PEAD che dovrà recare:
  - certificazioni di collaudo alla flessibilità anulare secondo quanto previsto dalla norma UNI EN 13476-3 con il metodo di prova descritto nella UNI EN 1446;
  - certificazione di operatività in regime di qualità ambientale (UNI EN ISO 14001);
  - certificazione di produzione in regime di qualità aziendale (UNI EN ISO 9001);
  - certificazione di collaudo della tenuta idraulica delle giunzioni secondo quanto previsto dalla norma UNI EN 13476-3 con il (metodo di prova descritto nella EN 13259);
  - certificazione di collaudo di resistenza all'abrasione verificata secondo metodo DIN EN 295-3;
  - certificazione IIP;
  - data, ora, linea di produzione in Stabilimento.

  Ai fini dell'identificazione in opera, la marcatura dovrà essere apposta a caldo (e comunque indelebile e resistente a graffi ed abrasioni) lungo due direttrici a 180° lungo lo sviluppo del tubo.
- Manuale di installazione, uso e manutenzione degli impianti di separazione

I requisiti d'accettazione potranno inoltre essere accertati con ulteriori prove a cura della Direzione Lavori sia in fase di prequalifica presso il fornitore (controllo non vincolante per l'autorizzazione), sia in corso d'opera, prelevando il materiale in sito o ancora presso il fornitore, prima e dopo avere effettuato le lavorazioni.

17.5 Modalità esecutive

In tutte le fasi esecutive, comprese le fasi di preparazione e di sistemazione finale dell'area, per gli aspetti e le problematiche relative a temi ambientali, quali impatti acustici e vibrazionali, emissioni in atmosfera, impatto sulle acque superficiali, sotterranee e sul suolo, impatti sulla componente fauna e vegetazione, si rimanda integralmente a quanto prescritto dalla Normativa Nazionale e Regionale vigente, alle prescrizioni degli Enti preposti alla tutela ambientale, nonché alle condizioni ambientali contenute nelle autorizzazioni ed alle disposizioni del Capitolato Ambientale e Piano di Gestione Terre/Piano di Utilizzo allegati al progetto esecutivo.

17.5.1 Posa in opera dei collettori

In generale la posa in opera dei collettori dovrà avvenire nel rispetto dei contenuti seguenti e della norma UNI CEN/TS 1046.

17.5.1.1 Scarico ed accatastamento

Per il carico, il trasporto, lo scarico e l'accatastamento dovranno osservarsi le eventuali istruzioni del costruttore nonché i requisiti delle norme di prodotto pertinenti; dovranno comunque impiegarsi i mezzi e gli accorgimenti idonei ad evitare rotture, incrinature, lesioni o danneggiamenti in genere.
Tutti i materiali dovranno essere immagazzinati in maniera tale da conservarli integri e da evitare contaminazioni o degradazioni; per esempio i componenti elastomerici delle giunzioni dovranno essere tenuti puliti e protetti dall'esposizione a fonti di ozono (per esempio apparecchiature elettriche), alla luce solare ed a fonti di calore, nonché al contatto con oli o grassi.
L'accatastamento dovrà essere effettuato su supporti atti a mantenere i tubi sollevati dal suolo per evitare danni ai rivestimenti ed ai giunti, provvedendo a fissare i tubi per evitare che rotolino ed evitando altezze di impilamento eccessive in modo che i tubi inferiori non risultino sovraccaricati.
Non si devono collocare pile di tubi in prossimità di trincee aperte.

17.5.1.2 Scavo

Le trincee dovranno essere scavate in maniera tale da garantire un'installazione corretta delle tubazioni, nel rispetto dei contenuti dell'art. 1 di questo capitolato speciale a cui si rimanda e degli accorgimenti e dei dispositivi previsti nel piano di sicurezza.
Se per la costruzione, è necessario accedere alle pareti esterne di strutture sotterranee, come nel caso di pozzetti, si dovrà prevedere uno spazio di lavoro minimo protetto largo 0,50 m.
Laddove due o più tubi vengano posati nella stessa trincea o sotto un terrapieno, si deve rispettare una distanza orizzontale minima fra le tubazioni, ove non altrimenti specificato, pari a un diametro.
In presenza di altre tubazioni o costruzioni, si dovranno osservare misure di sicurezza adeguate al fine di proteggerle dal rischio di danneggiamenti.
La larghezza delle trincee dovrà corrispondere al valore di Progetto; qualora, all'atto dello scavo, ciò non risultasse possibile, il problema dovrà essere sottoposto al Direttore dei lavori.
Il materiale di risulta dello scavo, qualora dalla Direzione Lavori ritenuto idoneo ad essere reimpiegato per il rinfianco ed il rinterro, sarà depositato provvisoriamente; in caso contrario sarà conferito a deposito.

17.5.1.3 Letto di posa

I tubi saranno adagiati su un letto di posa in sabbia o ghiaia fine, di spessore variabile in funzione della dimensione della tubazione che, se non diversamente specificato a progetto, dovrà essere non inferiore a:

- 10 cm in presenza di terreno di normale consistenza;
- 15 cm in presenza di terreno duro o di roccia lapidea

evitando così che la sommità della costola vada a poggiare sul terreno di scavo.
Il letto di posa dovrà essere spianato, compattato a mano e livellato in modo da eliminare discontinuità dell'appoggio (salvo le nicchie per le giunzioni a bicchiere); in nessun caso sarà consentito di regolare la posizione dei tubi nella trincea ricorrendo a pietre, mattoni, legname o ad altri appoggi discontinui.
Qualora si rendessero necessari aggiustamenti nell'altimetria, questi saranno effettuati alzando o abbassando la quota dell'appoggio, garantendo sempre che, alla fine, i tubi siano supportati per tutta la loro lunghezza, senza ricorrere a riempimenti locali.

17.5.1.4 Posa dei collettori

La posa dei tubi (acciaio, PVC, PRFV, PEAD cemento, cemento armato vibrato o comunque come mostrato sui disegni di progetto) inizierà preferibilmente dall'estremità a valle con i bicchieri rivolti a monte. Le linee dovranno essere poste in opera con le pendenze indicate, poggiate su idoneo letto di posa in sabbia in modo da non danneggiare la tubazione e/o il suo rivestimento.
In caso di interruzioni dei lavori o di previsione di forti piogge, si provvederà a chiudere temporaneamente le estremità dei tubi; i tappi protettivi saranno rimossi solo immediatamente prima di eseguire le giunzioni; qualsiasi materiale rimasto nel tubo dovrà essere comunque rimosso.
Le parti della superficie del tubo che venissero a contatto con i materiali di giunzione dovranno essere prive di difetti, pulite e, se necessario, asciutte; i giunti scorrevoli dovranno essere lubrificati con i lubrificanti e secondo i metodi raccomandati dal fabbricante.
Nei casi in cui i tubi non possano essere giuntati manualmente, dovranno impiegarsi adeguate attrezzature idrauliche o manuali di tiro ("tire-fort"), essendo tassativamente vietato il ricorso alla spinta con macchinari (escavatori, pale, dozer, ecc.) non espressamente previsti a questo scopo.
Nell'esecuzione delle giunzioni a bicchiere dovrà essere rispettata la distanza fra l'estremità della parte imboccata e la battuta del tubo successivo specificata dal fabbricante.
Le giunzioni dovranno essere eseguite applicando progressivamente una forza assiale senza sollecitare eccessivamente i componenti; a giunzione eseguita, l'allineamento dovrà essere controllato e, se necessario, corretto. Occorre prestare la massima attenzione affinchè in fase di infilaggio la guarnizione non venga danneggiata né si possa verificare una deviazione angolare tale da causare deformazioni differenziate e quindi perdite.
Laddove necessario, si devono prevedere per i bicchieri nicchie di dimensioni sufficienti per l'esecuzione del corretto accoppiamento e per impedire che il tubo poggi sul giunto; la nicchia per il bicchiere dovrà avere le dimensioni minime compatibili con il corretto montaggio del giunto.
I tagli dovranno essere eseguiti con gli utensili idonei, secondo le raccomandazioni del fabbricante del tubo ed in modo tale da garantire prestazioni adeguate dei giunti.
Laddove esista il rischio di galleggiamento durante l'installazione, i tubi dovranno essere mantenuti in sito mediante carichi o ancoraggi adeguati.
Qualora strettamente necessario è possibile effettuare saldature in opera per la giunzione dei tubi in materiale termoplastico. Non sono ammesse saldature testa – testa per la loro difficoltà di esecuzione mentre sono consentite le saldature con apporto di materiale. Una volta eseguito il collegamento tra due tubi di realizza un cordolo di saldatura sulla superficie esterna tra bicchiere e tubo.
L'operazione di saldatura deve essere eseguita prestando particolare attenzione a:

- Pulire accuratamente le superfici da saldare
- Abradere un sottile strato superficiale per evitare la presenza di materiale ossidato, facendo attenzione a non danneggiare le superfici
- Utilizzare un materiale di apporto compatibile con quello dei tubi
- Evitare che l'eccessivo calore possa deformare o perforare le superfici interessato compromettendo la rigidità o la tenuta idraulica.

17.5.1.5 Rinfianco e rinterro

Il costipamento dovrà avvenire con attrezzature, numero di passaggi e spessore degli strati atti ad ottenere il grado di costipamento pari almeno al 95% della densità optimum di Proctor mod. (ove non altrimenti specificato in Progetto), tenendo conto delle caratteristiche del tubo da installare al fine di evitare di arrecare danni allo stesso.
Il costipamento previa saturazione di acqua del rinfianco è ammissibile – su autorizzazione della Direzione Lavori - soltanto in casi eccezionali ed in presenza di terreni incoerenti.

L'Appaltatore dovrà evitare che sassi, massi, materiali di risulta, spezzoni di altre tubazioni, siano gettati all'interno dello scavo. Il rinterro di scavi, all'interno dei quali siano presenti tubazioni in polietilene, deve essere effettuato in maniera tale da consentire che il tubo si assesti. In particolare, una delle estremità della tratta della condotta dovrà essere mantenuta libera di muoversi curando che il riempimento dello scavo abbia inizio dalla parte opposta. Sono ammessi rinterri parziali nel caso sia necessario "bloccare" la tubazione; in ogni caso dovranno rimanere scoperte ed ispezionabili tutte le giunzioni, fino ad effettuazione con esito positivo dei collaudi previsti.
Nel caso di collegamenti con manicotti, potrebbero teoricamente presentarsi fenomeni di sfilamento. Occorre avere in questo caso l'avvertenza di bloccare con un riempimento parziale il tubo ogni 30/40 m e, previo controllo degli eventuali movimenti, completare il riempimento dello scavo nelle ore più fresche della giornata. E' comunque da tenere presente che, una volta effettuato correttamente il riempimento, non sono prevedibili spostamenti in senso longitudinale in quanto il terreno compattato attorno alle costole si oppone a qualsiasi effetto della dilatazione.
Nel caso di tubazioni posate sotto le pavimentazioni stradali il reinterro deve essere compattato a strati di spessore non superiori a 30 cm con piastra vibrante o similare. Una compattazione ordinaria è da prevedersi in casi diversi. Il costipamento meccanico del riempimento sopra il tubo deve iniziare solo quando vi sia uno spessore totale di ricoprimento di almeno 30 cm sopra la generatrice superiore del tubo. Detto spessore comunque dipende dal tipo di apparecchiatura utilizzata dall'Appaltatore e deve essere dichiarato in sede di prequalifica compatibilmente con i macchinari utilizzati, con il tipo di tubazione e del terreno di ricoprimento.
L'ESECUTORE dovrà sempre accertare che il rinterro sia eseguito in modo tale che non vi siano cavità superficiali o interne al materiale di rinterro che possono costituire pericolo alle persone e/o animali e mezzi.
Alla profondità prevista in progetto, e ove richiesto dal progetto o dalla DIREZIONE LAVORI, dovranno essere posti in opera un opportuno segnale di presenza e identificazione della rete, realizzato con nastro segnalatore secondo la tipologia prevista dal progetto.

17.5.2 Posa in opera dei pozzetti

La posa in opera dei pozzetti avverrà previa preparazione del piano di posa mediante regolarizzazione, costipamento e realizzazione di un allettamento in calcestruzzo magro di almeno 10 cm per pozzetti in c.a.v e un allettamento in sabbia di almeno 10cm per i pozzetti in PE strutturato.
Il riempimento laterale verrà eseguito per strati, compattando il materiale; si curerà di procedere uniformemente su tutti i lati, in modo da non provocare spinte asimmetriche.

17.5.3 Posa in opera dei dispositivi di chiusura e di coronamento dei pozzetti

A pozzetto c.a.v. ultimato, il coronamento di questo sarà leggermente scarificato, in modo che la superficie ruvida così ottenuta favorisca l'adesione della malta cementizia che costituirà il letto di appoggio del telaio.
Prima della posa in opera la superficie di appoggio dovrà essere convenientemente pulita e bagnata.
Per la preparazione e la stesa della malta si osserveranno le istruzioni indicate dal fabbricante.
Lo spessore di malta sarà compreso tra 2 e 3 cm.
Qualora occorressero spessori maggiori, si dovrà ricorrere, secondo le disposizioni della Direzione Lavori, o all'esecuzione di un sottile getto di conglomerato cementizio con calsse di resistenza C25/30 opportunamente armato, oppure all'impiego di anelli di appoggio in conglomerato cementizio prefabbricato; in nessun caso potranno essere inseriti sotto il telaio, a secco o immersi nel letto di malta, pietre, schegge o frammenti di mattoni.
Il telaio sarà posizionato planimetricamente in modo che la sua luce coincida con quella del pozzetto,

ed altimetricamente in modo che la superficie superiore del dispositivo si trovi, a lavoro ultimato, alla quota della pavimentazione finita (tenuto conto degli eventuali inviti per i pozzetti esterni alle corsie di traffico).
Il fissaggio nella malta sarà eseguito senza sbavature sulla superficie di appoggio del coperchio nel telaio, e lasciando liberi almeno gli ultimi 3 cm superiori del bordo del telaio, per permettere la rifinitura a livello del manto stradale.
Per i pozzetti in PE strutturato il manufatto di chiusura e coronamento dovrà essere posato su una soletta di ripartizione in c.a di spessore almeno 20 cm.
Nel caso che, in conseguenza di assestamenti sotto carico o di altre cause, si dovesse provvedere al ricollocamento in quota del telaio, quest'ultimo dovrà essere rimosso ed i resti di malta indurita completamente asportati. Si procederà quindi al ricollocamento con le modalità precedentemente descritte.
Il chiusino non sarà transitabile per il tempo necessario alla maturazione dei materiali impiegati, in funzione della temperatura e dell'umidità ambientali.
Per altri aspetti di dettaglio si farà riferimento alle specifiche del fabbricante.

17.5.4 Posa in opera delle canalette di drenaggio, caditoie, cunette, embrici

La posa in opera dovrà avvenire secondo le istruzioni allegate alla fornitura e comunque tale da rispettare la posizione plano-altimetrica indicata negli elaborati di progetto.
In particolare, per i canali di drenaggio richiedenti ulteriore supporto per sostenere i carichi di servizio (designate come "tipo M" nella UNI EN 1433) l'affiancamento dei diversi elementi, nonché le dimensioni, la classe di calcestruzzo e l'armatura del supporto dovranno essere conformi alle istruzioni del fabbricante.
La posa in opera dovrà avvenire su piani opportunamente preparati, anche mediante costipamento, in modo da evitare successivi cedimenti.
Ove previsto si procederà alla stesa di malta di allettamento.
I giunti verranno accuratamente stuccati, previa abbondante bagnatura.
Per gli elementi collocati lungo scarpate (ad es. canalette ad embrice) dovrà provvedersi all'ancoraggio mediante tondini in ferro del diametro pari a 24 mm e della lunghezza di 80 cm infissi nel terreno per 60 cm secondo i disegni di Progetto o come disposto dalla Direzione Lavori. In genere è sempre obbligatorio ancorare l'elemento di invito e quello al piede della canaletta. Ulteriori elementi sono da ancorare in base alla lunghezza del canale modulare di scolo e comunque non meno di un ancoraggio (composto da 2 tondini) ogni 5 embrici consecutivi.
Verrà posta ogni cura nella realizzazione degli allineamenti, e per gli elementi interferenti con la piattaforma stradale (imbocchi ad embrice, cordonature, …) la precisa ubicazione in quota, in ragione del raccordo con la pavimentazione e della garanzia di un regolare deflusso delle acque.

17.5.5 Impianti di separazione per liquidi leggeri

Gli impiandi di separazione per i liquidi leggeri devono essere installati secondo le disposizioni contenute nel manuale fornito dal Fabbricante ed approvato dal Direttore dei Lavori oltre a rispettare i contenuti della norma UNI EN 858-2.

17.6 Controlli in corso d'opera

17.6.1 Controlli a carico dell'Appaltatore

Per l'accettazione in cantiere del materiale occorre eseguire i seguenti controlli:

- Corrispondenza del DDT alle specifiche di prequalifica approvate dal Direttore dei Lavori

- Presenza di Dichiarazione di Prestazione e la marcatura CE ove previsto, completezza dei dati delle marcature identificative;
- Corrispondenza di eventuali marcature dei tubi, pozzetti ecc. ai contenuti del DDT (documento di trasporto);
- Corrispondenza geometrica degli elementi alle specifiche di prequalifica;
- Verifica della funzionalità degli elementi di giunzione e tenuta;
- Assenza di difetti macroscopici delle forniture in merito ad abrasioni, crepe, sbeccature, irregolarità di forma o difettosità di materiale, ecc.

Prima e durante la posa del materiale occorre eseguire i seguenti controlli da trasmettere alla Direzione Lavori tramite opportuno report:

- Esecuzione dei necessari tracciamenti topografici
- Rispetto delle modalità di posa indicate nei documenti di prequalifica e nel precedente § 17.5
- Conformità delle forniture in opera alle indicazioni del progetto esecutivo in merito a tipo materiale, diametro, lunghezze, quote, recapiti, sezione di scavo, reinterri ecc.
- Corretta esecuzione dei fori e successiva posa degli ancoranti a sostegno dei collettori posti sotto gli impalcati stradali

Dopo la posa del materiale occorre eseguire i seguenti controlli da trasmettere alla Direzione Lavori tramite opportuno report:

- Rilievo topografico della quota di scorrimento delle tubazioni di ingresso e uscita da ogni pozzetto e dei manufatti di laminazione e regolazione di portata, impianti di separazione liquidi leggeri. Tale controllo deve essere esteso anche alla quota di estradosso dei chiusini dei pozzetti e verificare la correttezza soprattutto in caso di posizionamento sulla pavimentazione stradale. Il reinterro può essere eseguito solo a valle di una accettazione della Direzione Lavori
- Rilievi topografici delle canalette di drenaggio con l'indicazione della posizione dello scarico al collettore
- Rilievi topografici delle cunette triangolari
- Controllo del corretto posizionamento dei chiusini con verifica della loro apertura
- Controllo del corretto montaggio delle griglie di tutte le canalette
- Controllo del completamento di tutta la linea di scarico (elementi di raccolta, di convogliamento, pozzetti, ecc.) e del collegamento al recapito finale prima della messa in servizio del sistema di drenaggio
- Collaudi nelle modalità di cui al successivo paragrafo §17.6.1.1 in contraddittorio con la Direzione Lavori

17.6.1.1 Collaudi

17.6.1.1.1 Collaudo delle tubazioni con scorrimento a gravità

Il collaudo delle tubazioni di cui al § 17.3.1, deve essere effettuato obbligatoriamente con le seguenti prove:

1. Per sistemi omogenei [reti di tubazioni e pozzetti dello tesso materiale, ovvero PEAD, PP, PRFV, CAV], con aria secondo il metodo "L" di cui alla norma UNI EN 1610. La tubazione deve essere collaudata dopo il riempimento e il costipamento.

   I tempi di prova per le tubazioni (esclusi i pozzetti e le camere di ispezione) sono indicati nel seguente prospetto (tratto dal prospetto 3 della EN 1610) in relazione alle dimensioni del tubo e al metodo di prova utilizzato (LA, LB, LC, LD). Salvo impedimenti particolari dimostrati dall'Appaltatore è da utilizzare il metodo LD.

In primo luogo, si deve mantenere per circa 5 minuti una pressione iniziale maggiore di circa il 10% della pressione di prova richiesta p_o. Si deve poi adeguare la pressione a quella di prova indicata nel prospetto seguente e relativa al metodo di collaudo LA, LB, LC o LD. Se la perdita di pressione misurata dopo il tempo di prova è minore del Δp indicato nel prospetto la tubazione è conforme.

L'apparecchiatura usata per misurare la caduta di pressione deve consentire una misurazione di Δp con una precisione del 10%. La precisione di misura del tempo deve essere ±2,5 s.

Materiale	Metodo di prova	p_0 a)	Δ_p	Tempo di prova min						
		mbar (kPa)		DN 100	DN 200	DN 300	DN 400	DN 600	DN 800	DN 1000
Tubi di calcestruzzo non impregnato	LA	10 (1)	2,5 (0,25)	5	5	5	7	11	14	18
	LB	50 (5)	10 (1)	4	4	4	6	8	11	14
	LC	100 (10)	15 (1,5)	3	3	3	4	6	8	10
	LD	200 (20)	15 (1,5)	1,5	1,5	1,5	2	3	4	5
Valori di K_p b)				0,058	0,058	0,053	0,040	0,0267	0,020	0,016
Tubi di calcestruzzo impregnato e tutti gli altri materiali	LA	10 (1)	2,5 0,25)	5	5	7	10	14	19	24
	LB	50 (5)	10 (1)	4	4	6	7	11	15	19
	LC	100 (10)	15 (1,5)	3	3	4	5	8	11	14
	LD	200 (20)	15 (1,5)	1,5	1,5	2	2,5	4	5	7
Valori di K_p b)				0,058	0,058	0,040	0,030	0,020	0,015	0,012

a) Pressione superiore alla pressione atmosferica

b) $t = \frac{1}{K_p} \times \ln \frac{p_0}{p_0 - \Delta_p}$

Per tubi di calcestruzzo non impregnato K_p = 16/DN con massimo 0,058.

Per tubi di calcestruzzo impregnato e tutti gli altri materiali K_p = 12/DN con massimo 0,058.

Con t arrotondato al mezzo minuto più vicino quando $t \leq 5$ min, e al minuto più vicino quando $t > 5$ min.

Per tubi non sferici si devono calcolare le dimensioni nominali sostitutive.

Per le tubazioni del diametro maggiore di DN 1000 occorre eseguire il collaudo sui singoli giunti invece del collaudo del tratto di tubazione con il metodo ad acqua "W" per un tratto di tubo lungo 1 metro a cavallo del giunto. Il tratto deve essere riempito con una pressione di prova pari a 50 kPa in corrispondenza della generatrice superiore interna. Si deve mantenere la pressione entro 1KPa della pressione di prova (per esempio aggiungendo acqua) e si deve misurare la variazione di volume dell'acqua con accuratezza di 0,1 l e registrarla al fine di mantenere il livello dell'acqua che corrisponde alla pressione di prova richiesta. Il requisito di prova è soddisfatto se la quantità di acqua aggiunta non è maggiore di 0,15 l/m2 nel tempo di 30 minuti.

In alternativa al collaudo con il metodo ad acqua "W" dei giunti di tubazioni con diametro superiore a DN 1000 l'Appaltatore può proporre condizioni di prova ad aria "L" purché approvate dal Direttore dei Lavori.

È sufficiente collaudare il 2% dei giunti indicati dalla Direzione Lavori. Tale valore verrà progressivamente incrementato ad insindacabile giudizio del Direttore dei Lavori qualora il collaudo non venga superato.

2. Per sistemi non omogenei [reti di tubazioni e pozzetti di materiali diversi, ovvero PEAD, PP, PRFV, CAV], con acqua:
    a. Prova di portata, immettendo un volume noto di acqua a monte e misurando a valle quello uscente.
    La prova potrà ritenersi superata se il quantitativo di volume immesso a monte del tratto sarà pari a quello uscente a valle.
    N.B.:
        i. Prima dell'inizio della prova, dovranno essere riempiti i volumi morti (fondo pozzetti testata/ raccordo) del tratto attenzionato.
        ii. Il numero dei tentativi necessario per l'accertamento del superamento della prova sarà a totale discrezione della D.L.
    b. Prova di tenuta, riempiendo completamente la sezione del collettore da testare [tratto elementare compreso tra due pozzetti], sigillandolo a monte e a valle.
    N.B.:
    La scelta dell'ubicazioni dei punti di sigillatura sarà a totale discrezione della D.L
    La prova potrà ritenersi superata se, dopo 24 ore, il livello all'interno dell'elemento rimarrà invariato.
    N.B.:
    L'intervallo temporale necessario all'accertamento del superamento della prova potrà essere prolungato a totale discrezione della D.L.

Indipendentemente dalle caratteristiche del sistema, le precedenti prove, a discrezione della DL, potranno essere integrate, se ritenuto necessario, con videoispezioni facendo riferimento alle norme UNI EN 13508-2, UNI EN 1610, UNI EN 805, per la videoispezione e la codifica dello stato nelle condotte fognarie secondo standard europei.

La quantità dello sviluppo delle tubazioni da collaudare dovrà essere compresa tra il 10 - 20 % del totale.
N.B.:

I. La percentuale e le tubazioni da collaudare saranno scelte a totale discrezione del Direttore dei Lavori.
II. Qualora il collaudo non venga superato, la percentuale prescelta verrà progressivamente incrementata, anche oltre il 20%, a insindacabile giudizio del Direttore dei Lavori.

In caso di esito negativo della prova di collaudo prescelta la Direzione Lavori impartirà le disposizioni del caso per il ripristino della funzionalità della tratta (compreso il suo completo rifacimento) a carico dell'Appaltatore.

17.6.1.1.2 Collaudo dei pozzetti e delle camere di ispezione a gravità

È necessario provvedere anche al collaudo dei pozzetti e delle camere di ispezione utilizzando, ove non vietato dai regolamenti nazionali con le seguenti prove:

1. Per i pozzetti in PEAD, PP, PRFV appartenenti a reti omogenee (ovvero pozzetti e tubi dello stesso materiale) il metodo ad aria "L" tipo LA o LB, qualora il diametro nominale sia minore o uguale a 1250 mm. Diversamente, in caso di limiti imposti dai regolamenti o per diametri maggiori a 1250 mm, occorre utilizzare il metodo ad acqua "W" come indicato nella norma EN 1610.
2. Per i pozzetti in CA o CAV appartenenti a reti non omogenee (pozzetti e tubi di materiale diverso) vale la stessa procedura indicata per i sistemi non omogenei §16.6.1.1.1.

È sufficiente collaudare il 2% della somma dei pozzetti e delle camere di ispezione indicati dalla Direzione Lavori. Tale valore verrà progressivamente incrementato ad insindacabile giudizio del Direttore dei Lavori qualora il collaudo non venga superato.

In caso di esito negativo della prova di collaudo la Direzione Lavori impartirà le disposizioni del caso per il ripristino della funzionalità della tratta (compreso il suo completo rifacimento) a carico dell'Appaltatore.

17.6.1.1.3 Collaudo delle valvole di non ritorno

Almeno un elemento per ogni tipologia di valvola di non ritorno deve essere sottoposto a collaudo riempiendo il canale a monte nelle immediate vicinanze della valvola stessa con acqua.
La prova di collaudo è ritenuta superata se la valvola si apre e consente il regolare deflusso anche per una modesta portata di liquido.

17.6.2 Prove a carico della Direzione Lavori

È prevista l'esecuzione di prove atte a verificare la rigidità anulare nominale SN dei tubi in PEAD, PP e PRFV secondo la norma EN ISO 9969 con la seguente frequenza:

- 1 prova alla prima fornitura di tubazione per ogni fornitore e per ogni tipologia di materiale fornito (PEAD, PP e PRFV) e successivamente ogni 5.000 m e comunque con un minimo di una volta all'anno.

È inoltre necessario eseguire per gli ancoraggi delle tubazioni in PRFV sotto gli impalcati strali, prove di trazione di post installazione sul 2,5% dei tasselli appartenenti a ciascun intervento (con un minimo di 1 tassello per intervento) prevedendo un adeguato tempo di maturazione delle resine come indicato nella scheda di prodotto, nel caso di ancoraggi chimici. Il carico di prova sarà pari a 1,5 volte il carico di esercizio dell'intervento definito a progetto e dovrà essere mantenuto per almeno 2 min.

Art. 17 NO CAM - Sistemi di drenaggio del corpo autostradale a gravità

17.1 Descrizione e campo di applicazione

Le presenti specifiche riguardano i dispositivi di drenaggio a gravità del corpo stradale e autostradale utilizzati per lo smaltimento delle acque meteoriche cadute sulla superficie stradale e sulle superfici ad esso afferenti. Tali dispositivi si suddividono in base alla funzione svolta in elementi di convogliamento e di raccolta.

Gli elementi di convogliamento sono le canalizzazioni e si dividono in:

- fossi di guardia
- collettori

Gli elementi di raccolta e scolo sono elementi idraulici marginali e si dividono in:

- embrici
- canalette grigliate continue e discontinue e caditoie di drenaggio
- cunette triangolari (dette anche alla francese)

Il sistema si completa con i seguenti altri elementi:

- pozzetti e relativi dispositivi di chiusura e di coronamento (caditoie)
- sedimentatori e disoleatori
- manufatti di laminazione e regolatori di portata
- valvole di non ritorno
- paratoie

17.2 Normativa di riferimento

Collettori:

- UNI EN 1401-1: Sistemi di tubazioni di materia plastica per fognature e scarichi interrati non in pressione - Policloruro di vinile non plastificato (PVC-U) - Parte 1: Specifiche per i tubi, i raccordi ed il sistema
- UNI EN 1401-3: Sistemi di tubazioni di materia plastica per fognature e scarichi interrati non in pressione - Policloruro di vinile non plastificato (PVC-U) - Guida per l'installazione
- UNI EN 1452-2: Sistemi di tubazioni di materia plastica per adduzione d'acqua e per fognature e scarichi interrati e fuori terra in pressione - Policloruro di vinile non plastificato (PVC-U) - Parte 2: Tubi
- UNI EN 1452-3: Sistemi di tubazioni di materia plastica per adduzione d acqua e per fognature e scarichi interrati e fuori terra in pressione - Policloruro di vinile non plastificato (PVC-U) - Parte 3: Raccordi
- UNI EN 13476-3: Sistemi di tubazioni di materia plastica per fognature e scarichi interrati non in pressione - Sistemi di tubazioni a parete strutturata di policloruro di vinile non plastificato (PVC-U), polipropilene (PP) e polietilene (PE) - Parte 3: Specifiche per tubi e raccordi con superficie interna liscia e superficie esterna profilata e per il sistema, Tipo B
- UNI EN ISO 23856: Sistemi di tubazioni di materia plastica per la distribuzione dell'acqua, per scarichi o fognature con o senza pressione - Materie plastiche termoindurenti rinforzate con fibre di vetro (PRFV) a base di resina poliestere insatura (UP)
- UNI 9032: Tubazioni di resine termoindurenti rinforzate con fibre di vetro (PRFV) con o senza cariche - Linee guida per la definizione dei requisiti per l'impiego
- UNI EN 1610: Costruzione e collaudo di connessioni di scarico e collettori di fognatura
- UNI CEN/TS 1046: Sistemi di tubazioni e condotte di materiali termoplastici - Sistemi in pressione e a gravità all'esterno della struttura dell'edificio - Pratiche per la posa interrata
- UNI 11434: Tubi spiralati in polietilene rinforzato con acciaio, per fognature e scarichi interrati non in pressione

- ISO/TR 10358: Plastics pipes and fittings for industrial applications — Collection of data on combined chemical-resistance
- UNI EN 1916: Tubi e raccordi di calcestruzzo non armato, rinforzato con fibre di acciaio e con armature tradizionali
- UNI EN 681-1: Elementi di tenuta in elastomero - Requisiti dei materiali per giunti di tenuta nelle tubazioni utilizzate per adduzione e scarico dell'acqua - Parte 1: Gomma vulcanizzata
- UNI EN 1433: Canalette di drenaggio per aree soggette al passaggio di veicoli e pedoni - Classificazione, requisiti di progettazione e di prova, marcatura e valutazione di conformità

Pozzetti:

- UNI EN 1917: Pozzetti e camere di ispezione di calcestruzzo non armato, rinforzato con fibre di acciaio e con armature tradizionali
- UNI EN 13598-1: Sistemi di tubazioni di materia plastica per scarichi e fognature interrati non in pressione - Policloruro di vinile non plastificato (PVC-U), polipropilene (PP) e polietilene (PE) - Parte 1: Specifiche per raccordi ausiliari inclusi i pozzetti di ispezione poco profondi
- UNI EN 13598-2: Sistemi di tubazioni di materia plastica per scarichi e fognature interrati non in pressione - Policloruro di vinile non plastificato (PVC-U), polipropilene (PP) e polietilene (PE) - Parte 2: Specifiche per i pozzetti di ispezione accessibili al personale e per le camere di ispezione
- UNI CEN/TS 13598-3: Sistemi di tubazioni di materia plastica per scarichi e fognature interrati non in pressione - Policloruro di vinile non plastificato (PVC-U), polipropilene (PP) e polietilene (PE) - Parte 3: Valutazione della conformità
- UNI EN 124-1: Dispositivi di coronamento e di chiusura dei pozzetti stradali - Parte 1: Definizioni, classificazione, principi generali di progettazione, requisiti di prestazione e metodi di prova
- UNI EN 124-2: Dispositivi di coronamento e di chiusura dei pozzetti stradali - Parte 2: Dispositivi di coronamento e chiusura fatti in ghisa
- UNI EN 124-3: Dispositivi di coronamento e di chiusura dei pozzetti stradali - Parte 3: Dispositivi di coronamento e chiusura fatti in acciaio e lega di alluminio
- UNI EN 124-4: Dispositivi di coronamento e di chiusura dei pozzetti stradali - Parte 4: Dispositivi di coronamento e chiusura fatti in calcestruzzo armato
- UNI EN 124-5: Dispositivi di coronamento e di chiusura dei pozzetti stradali - Parte 5: Dispositivi di coronamento e chiusura fatti in materiale composito
- UNI EN 124-6: Dispositivi di coronamento e di chiusura dei pozzetti stradali - Parte 6: Dispositivi di coronamento e chiusura fatti in polipropilene (PP), polietilene (PE) o polivinilcloruro (PVC-U)
- UNI EN 858-1: Impianti di separazione per liquidi leggeri (per esempio benzina e petrolio) - Parte 1: Principi di progettazione, prestazione e prove sul prodotto, marcatura e controllo qualità
- UNI EN 858-2: Impianti di separazione per liquidi leggeri (ad esempio benzina e petrolio) - Scelta delle dimensioni nominali, installazione, esercizio e manutenzione

17.3 Criteri di accettazione

17.3.1 Elementi di convogliamento

Oltre all'uso di fossi di guardia in terra che non necessitano di specifiche di capitolato se non quelle afferenti allo scavo di cui all'art. 1 di questo capitolato, il convogliamento dell'acqua di piattaforma avviene, a seconda delle indicazioni progettuali, attraverso elementi composti da:

- Conglomerato cementizio armato prefabbricato con sistema vibrocompresso o turbocentrifugato a compressione radiale (rotocompresso) a seconda delle indicazioni progettuali: utilizzo per scarichi interrati e fognature non a pressione.
  Gli elementi hanno dimensioni/diametro (interne/o), spessore e classe di resistenza definite/o negli elaborati progettuali, classe di esposizione XC4 e XF2 (se non diversamente specificato negli elaborati di progetto) e acciaio di armatura B450A o B450C o fibre di acciaio in quantità atta ad assicurare la resistenza ai carichi di progetto. Le giunzioni degli elementi potranno essere a innesto con bicchiere in spessore o con bicchiere a campana e dovranno garantire la tenuta idraulica a mezzo di guarnizione incorporata negli elementi prefabbricati in gomma elastomerica conforme alla norma UNI EN 681-1, con pressione di tenuta garantita a collaudo fino a 0,5 bar testata in conformità alla norma UNI EN 1610. Particolare cura dovrà essere posta alla corretta scelta del tipo di elastomero, resistente alle azioni aggressive di olii ed idrocarburi e di adeguata capacità dielettrica. Se richiesto a progetto la condotta deve essere rivestita internamente, sui 360° per uno spessore non inferiore a 6 mm, e nelle due parti dell'incastro per uno spessore non inferiore a 1 mm, con resina poliuretanica con durezza non inferiore a 70 shore. Le forniture dovranno essere accompagnate da marcatura CE e DoP, ai sensi della norma UNI EN 1916, con sistema di attestazione della conformità di tipo 2+ per utilizzo in sotto la sede stradale/autostradale e di tipo 4 in tutti gli altri casi.
- Policloruro di vinile rigido non plastificato (PVC-U): utilizzo per scarichi interrati e fognature non a pressione, per installazione all'esterno della struttura o interrati. La giunzione ad innesto maschio-femmina prevede una guarnizione di tenuta, conforme alla norma UNI EN 681-1 realizzata in elastomero termoplastico. Il diametro nominale DN esterno dei tubi è riportato negli elaborati progettuali mentre la rigidità anulare nominale, misurata secondo EN ISO 9969, deve essere ≥ 8 kN/m^2 (SN8). Deve inoltre essere rispettato il rapporto dimensionale tra il diametro esterno e lo spessore del tubo normalizzato (SDR). Tali forniture devono essere certificate con il marchio IIP (Istituto Italiano dei Plastici) che ne assicura la conformità alle norme UNI EN 1401-1 o UNI EN 13476-3.
- Policloruro di vinile rigido non plastificato (PVC-U): utilizzo per condotte in pressione acquedotti e irrigazione, per installazione all'esterno della struttura o interrati. La giunzione ad innesto maschio-femmina prevede una guarnizione di tenuta, conforme alla norma UNI EN 681-1 realizzata in gomma sintetica. I tubi hanno diametro nominale DN esterno e pressione nominale PN fino a 25°C come indicato negli elaborati progettuali, rapporto dimensionale tra il diametro esterno e lo spessore del tubo normalizzato (SDR). Tali forniture devono essere certificate con il marchio IIP (Istituto Italiano dei Plastici) che ne assicura la conformità alla norma UNI EN 1452-2.
- Polietilene ad alta densità (PEAD) a doppia parete, lisce internamente e colorate per facilitare l'ispezione visiva (azzurro, verde giallo, ecc.) e corrugate esternamente di colore nero: utilizzo per scarichi interrati e fognature non a pressione di viabilità stradali e autostradali. Il diametro nominale dei tubi DN esterno è riportato negli elaborati progettuali mentre la rigidità anulare nominale SN, misurata secondo EN ISO 9969, deve essere ≥ 8 kN/m^2 (SN8). Le tubazioni devono essere dotate di sistema di giunzione a bicchiere o manicotto e rispettive guarnizioni elastomeriche di tenuta in EPDM o NBR. Tali forniture devono essere certificate con il marchio IIP (Istituto Italiano dei Plastici) che ne assicura la conformità alla norma UNI

EN 13476-3.

- Polipropilene (PP) a doppia parete, lisce internamente e colorate per facilitare l'ispezione visiva (azzurro, verde giallo, ecc.) e corrugate esternamente di colore nero: utilizzo per attraversamenti della sede stradale/autostradale di scarichi interrati e fognature non a pressione. Il diametro nominale dei tubi DN esterno è riportato negli elaborati progettuali mentre la rigidità anulare nominale SN, misurata secondo EN ISO 9969, deve essere ≥ 16 kN/m^2 (SN16). Le tubazioni devono essere dotate di sistema di giunzione a bicchiere o manicotto e rispettive guarnizioni elastomeriche di tenuta in EPDM o NBR. Tali forniture devono essere certificate con il marchio IIP (Istituto Italiano dei Plastici) che ne assicura la conformità alla norma UNI EN 13476-3.
- Plastica rinforzata con fibra di vetro (PRFV): utilizzo per scarichi e fognature non in pressione da fissare all'intradosso dell'impalcato di viadotti stradali e autostradali. I tubi sono costituiti da più strati:
  - uno interno liscio costituito da fibre di vetro restitenti chimicamente secondo il grado III della norma DIN ISO 719 e resina poliestere; tale supporto è poi rinforzato con fibre di vetro con adeguate proprietà meccaniche secondo la norma UNI EN ISO 2078 e resina poliestere;
  - uno ottenuto avvolgendo elicoidalmente a differente angolazione sullo strato precedente fili continui di vetro imbevuti di resina per garantire la necessaria resistenza meccanica al tubo nei confronti del peso proprio e quello del fluido, della movimentazione, della posa e dei carichi termici. Questo strato può contenere aggregati (materiale granulare inerte o sabbia silicea) per aumentare la rigidezza trasversale del tubo;
  - uno esterno formato da una resina poliestere termoindurente additivata con pigmenti o inibitori di raggi UV con o senza inerti e riempitivi e con armatura in vetro o filamenti sintetici per proteggere la tubazione della esposizione ai raggi solari.

  I tubi hanno diametro nominale DN interno secondo le indicazioni progettuali e lo spessore deve essere idoneo per consentire una rigidità nominale SN = 5000 secondo la norma UNI EN ISO 23856.

  I tubi devono essere giuntati a tenuta idraulica con accoppiamenti a bicchiere, incollati, flangiati o con involucro e guarnizioni elastomeriche di tenuta in EPDM o NBR.

  Il sistema deve essere conforme ai requisiti secondo la norma UNI EN ISO 23856.

  I Tubi devono essere fissati alla struttura tramite elementi di sostegno, collari in acciaio zincato a caldo o in acciaio inox 1.4306 (AISI 304L) secondo quanto disciplinato in progetto. In caso di acciaio zincato le caratteristiche della zincatura dovranno rispondere ai requisiti di cui all'art. 25bis. Detti collari devono essere installati con una sella il PVC o in gomma per ridurre al minimo l'abrasione.

  I sistemi di ancoraggio a scelta tra due diverse tipologie che possono essere:

  Di tipo meccanico con adeguata tassellatura ad espansione meccanica in acciaio inox A4 HCR provvista di certificato ETA secondo l'EAD di riferimento 330232-01-0601 (e sue versioni e varianti successive).

  Di tipo chimico mediante barratura filettata in acciaio inox A4 HCR di sezione adeguata e completa di bulloneria in acciaio inox A4 HCR, installata su rivestimento definitivo mediante ancorante chimico epossidico o in vinilestere ad iniezione certificato ETA secondo l'EAD di riferimento 330499-01-0601 (e sue versioni e varianti successive). Sia per gli ancoranti meccanici che chimici, in funzione dell'utilizzo previsto, il certificato ETA deve includere l'idoneità per applicazioni sismiche (C1 o C2), l'idoneità per la vita utile di progetto. Il sistema di ancoraggio deve essere resistente al fuoco secondo curva d'incendio ISO 834 secondo

quanto riportato nel rispettivo certificato ETA, con una resistenza minima di 850° per 90', salvo diversa specificazione riportata negli elaborati progettuali.
Le caratteristiche del sistema di ancoraggio sono descritte nel certificato ETA di riferimento.
I dati necessari per la progettazione dell'ancoraggio (statica, sismica, incendio, fatica) devono essere descritti e assunti nell'ETA di riferimento del sistema.
La posa del sistema di ancoraggio deve essere eseguita in conformità alle indicazioni riportate nel certificato ETA dell'ancorante, sia per le modalità operative che per le attrezzature da utilizzarsi.

Gli ancoraggi devono essere dimensionati a cura dell'Appaltatore in funzione del tipo di struttura di aggancio, del peso della tubazione (compresa l'acqua di scarico) e del passo come da progetto e devono essere regolabili per consentire la posa nel rispetto della pendenza di progetto. Nelle linee lunghe o quando gli sbalzi termici sono elevati occorrerà utilizzare "loop" o giunti di espansione.

In caso gli elementi di sostegno della condotta siano ancorati sulla carpenteria metallica dell'impalcato occorre inserire il dettaglio dell'aggancio nel processo di prequalifica, accettazione e controllo di cui all'art. 25 di questo capitolato speciale.
Tutti i materiali con cui sono composti gli ancoraggi e gli elementi di sostegno del collettore in PRFV all'impalcato devono avere adeguata protezione alla corrosione nel rispetto dei contenuti dell'art. 25bis di questo capitolato a cui si rimanda.

In aggiunta ai requisiti di cui sopra, per le tubazioni in PVC-U, PEAD e PP l'Appaltatore deve fornire la certificazione attestante:

- la resistenza del materiale agli agenti chimici secondo la norma ISO/TR 10358
- la resistenza del materiale all'abrasione: uno spezzone di tubo contenente acqua e ghiaia viene fatta oscillare ad una frequenza di 20 cicli minuto. La profondità di abrasione interna, misurata dopo 100.000 cicli non deve essere superiore al 30% del valore iniziale dello spessore del tubo (DIN 19566-2)

17.3.2 Materiale per il letto di posa, il rinfianco e il rinterro degli scavi dei collettori

Letto di posa:

Se non diversamente specificato in progetto, dovrà essere realizzato con sabbia non limosa o argillosa.
Tale materiale deve possedere i seguenti requisiti:

- Frazione passante al setaccio 6 mm ≥ 95%;
- Frazione passante al setaccio 2 mm ≥ 70%;
- Frazione passante al setaccio 0,063 mm ≤ 5%;
- Costituito da granuli tondeggianti (massa volumica in mucchio compresa indicativamente, in funzione dell'umidità, tra 1400-2000 kg/mc), resistente (durezza scala di Mohs compresa indicativamente tra 5 e 7), costipabile e pulito (esente da detriti, materiale organico, pietre con spigoli vivi o qualsiasi altro materiale estraneo).

Tale materiale dovrà possedere la marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA della norma europea armonizzata UNI EN 13242 o UNI EN 13139 con sistema di attestazione di conformità 2+ e dichiarazione di prestazione DoP, fatte salve le ulteriori casistiche previste dalle Norme Tecniche delle Costruzioni di riferimento così come descritte al § CG.01.01 del Art. CG.01.

Rinfianco e rinterro:
La scelta del materiale dipende dalla collocazione delle tubazioni come definito ai seguenti § 17.3.2.1 e § 17.3.2.2. Si precisa che, come rinfianco, è da intendersi il materiale posto superiormente al letto di posa e sino a sopra l'estradosso della tubazione, per uno spessore adeguato alla ripartizione dei carichi previsti in progetto, mentre come rinterro si intende il materiale sovrastante il rinfianco e sino al p.c. (o immediatamente al di sotto di eventuali pavimentazioni).il materiale sovrastante il rinfianco e sino al p.c. (o immediatamente al di sotto di eventuali pavimentazioni).

17.3.2.1 Collettori posati sotto la pavimentazione stradale

Nel caso di collettori posati sotto la pavimentazione stradale di qualsiasi categoria secondo l'art. 2, comma 2 del Nuovo Codice della Strada (D.lgs. 30.04.1992 n. 285 e s.m.i.) sia in trincea che in rilevato, il rinfianco e il rinterro dovranno essere realizzati con misto cementato i cui requisiti di accettazione sono riportati al § 30.3 di questo capitolato speciale.

Qualora previsto negli elaborati progettuali o da prescrizioni di Enti Locali gestori della viabilità, i riempimenti degli scavi per la collocazione di tubazioni o per fondazioni in sede stradale saranno eseguiti con una miscela cementizia fluida autolivellante composta da inerti selezionati di diametro compreso da 0 a 12 mm, legante cementizio della classe di resistenza 32,5 o 42,5, additivi fluidificanti ed areanti idonei al raggiungimento del modulo di deformazione Md (con Δp compreso tra 1,5 e 2,5 kg/cm2) ≥ 160 MPa a seguito di verifica con l'esecuzione di prova di carico con piastra (Norma CNR n. 9/67, 146/92). Tale prova deve essere fatta sulla superficie finita di riempimento a 24 h dalla stesa e in numero di una prova per ogni giorno di lavoro.
L'impasto risultante dovrà essere privo di impurità e sostanze dannose, idoneo quindi al riempimento dei collettori. La miscela, dopo 24 ore dalla posa in opera, dovrà essere idonea al passaggio veicolare ed avere una resistenza meccanica uguale o maggiore a 5 Kg/cmq (0,5 MPa).
Qualora tali collettori dovessero far parte di opere idrauliche interferenziali in capo a terzi, i materiali e le modalità di posa delle tubazioni dovranno essere verificati con l'Ente Gestore di competenza.

17.3.2.2 Collettori non sottostanti la pavimentazione stradale

Nel caso di collettori non sottostanti la pavimentazione stradale è possibile utilizzare, nel rispetto delle norme vigenti in materia ambientale, materiale di risulta dagli scavi, prestando cura ad utilizzare per il rinfianco, il materiale più fine e per il rinterro, il materiale con pezzatura più grossolana. In nessun caso comunque dovranno essere utilizzate pietre di grosse dimensioni (> di 5 cm) per evitare il danneggiamento delle tubazioni.

17.3.3 Elementi di raccolta

La raccolta dell'acqua meteorica ricadente sulla superficie stradale avviene, a seconda delle indicazioni progettuali, attraverso i seguenti elementi:

17.3.3.1 Embrici

Gli embrici sono elementi modulari prefabbricati in conglomerato cementizio vibrato utilizzati per lo scolo delle acque di piattaforma. Il primo elemento di embrice è un pezzo speciale detto invito e collocato lungo apposite aperture sul ciglo stradale e a seguire sono posati gli embrici modulati lungo le scarpate in rilevato fino al fosso di guardia posto al piede della piattaforma stradale.
Sono dotati di incastro maschio femmina con svasatura antiscivolo a coda di rondine per garantire il bloccaggio e la sovrapposizione dei pezzi.
Gli embrici devono essere realizzati in calcestruzzo non armato almeno di classe di resistenza C28/35 a meno di valutazioni specifiche del progettista sulla classe di esposizione ambientale, delle

dimensioni specificate a progetto (generalmente pari a cm 50/40 di larghezza x cm 50 di sviluppo in lunghezza e altezza cm 20/15 con spessore della base pari a cm 5 e delle pareti pari a cm 4,5).
Gli embrici sono ancorati al terreno mediante due tondini in acciaio almeno del diametro 24 mm e lunghezza ≥ 80 cm, infissi nel terreno come indicato nelle modalità esecutive al § 17.5.4.
La ditta produttrice degli elementi deve essere in possesso del certificato del Sistema di Gestione per la Qualità secondo UNI EN 9001.

17.3.3.2 Canalette e caditoie di drenaggio

Si definisce canaletta di drenaggio un gruppo rettilineo composto da elementi prefabbricati di materiale indicato in progetto e riportato al § 17.3.3.2.2, che permette la raccolta e il convogliamento di acqua superficiale delle pavimentazioni stradali per tutta la sua lunghezza per scarico progressivo.
La raccolta dell'acqua avviene mediante griglie e/o coperture che sono fissate all'interno del corpo della canaletta allo scopo di soddisfare le condizioni di traffico indicate a progetto e riportate al § 17.3.3.2.2, realizzate mediante un sistema di fissaggio con chiusura rapida, agevole e veloce con possibilità di aggiunta di bulloni da avvitare in appositi inserti filettati solidali al telaio, senza ostacoli sotto la griglia che possano impedire l'evacuazione dell'acqua nella canaletta.
La superficie della canaletta dovrà essere perfettamente liscia per consentire il massimo scorrimento dell'acqua e per evitare ristagni di sostanze putrescibili, di fango e di inerti; dovrà essere inoltre priva di punti di collegamento con l'esterno.
Per le canalette di tipo "M" così come definite nella norma UNI EN 1433 (le tipo "M" sono canalette che richiedono un ulteriore supporto per sostenere i carichi orizzontali e verticali durante il servizio), il progetto prevede il rinfianco della canaletta con calcestruzzo debolmente armato avente classe di resistenza a compressione compresa tra C25/30 e C35/45 o compresa tra C30/37 XF4 e C40/50 XF4 a seconda che sia, rispettivamente, "non esposto" a cicli di gelo e disgelo oppure "esposto" a cicli di gelo e disgelo e a meno di valutazioni specifiche del progettista sulla classe di esposizione ambientale. Il calcestruzzo dovrà inoltre avere classe di consistenza non inferiore a S4 e dovrà essere realizzato con aggregati lapidei molto fini (diametro massimo 8/10 mm).
Il progettista definisce le dimensioni interne della canaletta.
Le canalette possono avere andamento continuo o discontinuo. Presentano uno scarico al collettore sottostante a mezzo di tubo in PEAD del diametro e con passo definito negli elaborati progettuali e guarnizione di tenuta sia sulla canaletta che sul collettore.

La caditoia si differenzia dalla canaletta perché è un elemento di raccolta delle acque di tipo puntuale e trova collocazione generalmente sugli impalcati stradali, autostradali e nei parcheggi a seconda delle esigenze progettuali nella soluzione con chiusino grigliato o bocca di lupo cioè con un'apertura realizzata lungo il cordolo.
Il progettista definisce negli elaborati di appalto anche le dimensioni e la tipologia della caditoia sugli impalcati.
La caditoia presenta uno scarico al collettore sottostante a mezzo di tubo del diametro del diametro definito negli elaborati progettuali con guarnizione di tenuta sia sulla caditoia che sul collettore. La tubazione di collegamento tra caditoia e collettore interrato è realizzata in PEAD. Nel caso di caditoie su impalcati stradali con collettori appesi alla struttura, tale collegamento può essere realizzato in PRFV, in acciaio INOX o in acciaio zincato.

Ciascuna fornitura di canalette di drenaggio deve essere accompagnata dalla Dichiarazione di Prestazione (DoP) e dalla marcatura CE, attestanti la conformità all'allegato ZA alla norma europea armonizzata di riferimento UNI EN 1433 con sistema di attestazione di conformità di tipo 3.

Le classi di carico, di impiego previste e i materiali utilizzabili per le canalette e le caditoie di drenaggio sono indicate nei successivi § 17.3.3.2.1 e 17.3.3.2.2

17.3.3.2.1 Classe di carico e di impiego previsto

Le canalette e le caditoie di drenaggio devono essere classificate in conformità al loro uso previsto e la classe di carico deve essere esplicitata nella DoP:

- A15 (gruppo 1): utilizzate esclusivamente da pedoni e ciclisti
- B 125 (gruppo 2): percorsi pedonali, aree pedonali e aree paragonabili, parcheggi per auto private o parcheggi auto multipiano
- C 250 (gruppo 3): a lati dei cordoli della pavimentazione e aree non esposte a traffico di banchine e simili;
- D 400 (gruppo 4): strade rotabili (comprese le vie pedonali), banchine e aree di parcheggio per tutti i tipi di veicoli stradale
- E 600 (gruppo 5): aree soggette a carichi su grandi ruote, per esempio strade di porti e darsene
- F 900 (gruppo 6): aree soggette a carichi da ruote particolarmente grandi, per esempio le pavimentazioni per veivoli

L'Appaltatore resta responsabile di verificare che la classe di carico di progetto sia compatibile con l'effettivo impiego previsto.

17.3.3.2.2 Materiali

Conformemente ai requisiti della norma UNI EN 1433, le canalette e le caditoie di drenaggio, ad eccezione delle griglie e delle coperture, possono essere fabbricate con:

- ghisa a grafite lamellare;
- ghisa a grafite sferoidale;
- acciaio in getti;
- acciaio laminato (solo se protetto contro la corrosione);
- acciaio inossidabile;
- calcestruzzo armato o non armato;
- abbinamento di uno dei precedenti materiali con calcestruzzo o calcestruzzo con resina sintetica con fibra;
- calcestruzzo con resina sintetica;
- calcestruzzo con fibra;
- polipropilene o polietilene;
- calcestruzzo polimerico;

Le griglie e le coperture possono essere fabbricate con:

- ghisa a grafite lamellare;
- ghisa a grafite sferoidale;
- acciaio in getti;
- acciaio laminato (solo se protetto contro la corrosione);
- acciaio inossidabile;
- leghe a base di rame;
- calcestruzzo con resina sintetica;
- calcestruzzo con fibra.

Le dimensioni e il tipo delle aperture delle griglie devono essere conformi alla norma UNI EN 1433.
Il progettista definisce i materiali con cui devono essere fornite le canalette e le griglie.
Si prescrive che il materiale con cui è composta la canaletta e la grigia per un uso su piattaforma stradale, deve essere resistente al gelo e disgelo in presenza di sale antighiaccio. Le griglie e le

coperture in acciaio devono altresì essere resistenti alla corrosione secondo quanto stabilito all'art, 25 bis di questo capitolato speciale.
Per i canali in polipropilene o in polietilene il produttore deve consegnare i seguenti certificati, tutti emessi da appositi laboratori di test e verifiche, indipendenti dal produttore stesso:
- Certificazione di conformità secondo UNI EN 1433
- Rapporto di prova di resistenza alla abrasione secondo ISO5470
- Rapporto di prova di resistenza agli agenti chimici secondo ISO/TR 10358
- Rapporto di prova di resistenza al fuoco secondo UL94 classe V2

17.3.3.3 Cunette triangolari

Le cunette triangolari (dette anche alla francese) sono elementi modulari prefabbricati in conglomerato cementizio vibrato e armato utilizzati per la raccolta delle acque di piattaforma stradale e autostradale al margine della piattaforma.
Salvo più stringenti requisiti progettuali, tali cunette devono essere realizzate in calcestruzzo di classe di resistenza C32/40 con classe di esposizione XC4 e XF4, delle dimensioni specificate a progetto. L'armatura in acciaio potrà essere di tipo B450A o B450C con un copriferro minimo non inferiore a 30 mm.
La ditta produttrice degli elementi deve essere in possesso del certificato del Sistema di Gestione per la Qualità secondo UNI EN 9001 e la certificazione FPC dell'impianto di produzione.

17.3.4 Pozzetti e collegamenti

I pozzetti sono utilizzati per ispezione, incrocio, cambiamento di diametro e salto nei sistemi di drenaggio e fognatura bianca del corpo stradale e autostradale e possono essere delle seguenti tipologie:
- pozzetti prefabbricati in c.a.v. con marcatura CE e DoP secondo la norma UNI EN 1917 con sistema di attestazione di conformità di tipo 4
- pozzetti con tubazioni in Polietilene ad alta densità (PEAD) a doppia parete, lisce internamente e colorate per facilitare l'ispezione visiva (azzurro, verde giallo, ecc.) e corrugate esternamente di colore nero. Tali forniture devono essere certificate con il marchio IIP (Istituto Italiano dei Plastici) che ne assicura la conformità alla norma UNI EN 13476-3.

I materiali da impiegare dovranno essere prodotti secondo un sistema di gestione della qualità aderente alle norme UNI EN 9001, certificato da un organismo certificatore operante in conformità con le norme UNI EN 45012.

17.3.4.1 Pozzetti prefabbricati in c.a.v.

I pozzetti dovranno avere dimensioni conformi agli elaborati progettuali e in ogni caso dovranno essere atti a sopportare le spinte del terreno e del sovraccarico stradale in ogni loro componente: elemento di base, elementi di prolunga, elemento terminale.
Il calcestruzzo deve evere la classe di resistenza indicata negli elaborati progettuali e comunque non inferiore a C32/40 con classe di esposizione XC4 e XF2. Quando richiesto a progetto o quando necessario per sopportare le spinte del terreno e del sovraccarico stradale il pozzetto dovrà essere opportunarmente armato con barre in acciaio di tipo B450A o B450C con un copriferro minimo non inferiore a 30 mm o con aggiunta di fibre di acciaio.
Le guarnizioni di tenuta tra i diversi elementi del prefabbricato, incorporate nel giunto in fase di prefabbricazione ovvero fornite unitamente al manufatto da parte del fabbricante, saranno conformi alla UNI EN 681-1.
In caso di presenza di scale per l'accesso al fondo, i gradini saranno in tondino di acciai zincato o

rivestito in polipropilene antisdrucciolo, opportunamente bloccati nella parete con malta espansiva.

17.3.4.2 Pozzetti in Polietilene ad alta densità PEAD e collegamenti

I pozzetti dovranno avere dimensioni conformi agli elaborati progettuali e in ogni caso dovranno essere atti a sopportare le spinte del terreno e del sovraccarico stradale in ogni loro componente: elemento di base, elementi di prolunga, elemento terminale.
Il diametro nominale dei tubi DN esterno è riportato negli elaborati progettuali normalmente pari a 400 o 630 mm, mentre la rigidità anulare nominale SN, misurata secondo EN ISO 9969, deve essere ≥ 8 kN/m^2 (SN8) posato in verticale in modo da essere centrale all'asse di mezzeria della sottostante tubazione.
Il collegamento tra tubi di diverso diametro deve essere realizzato a bicchiere o manicotto con le rispettive guarnizioni elastomeriche di tenuta in EPDM o NBR conformi alla norma UNI EN 681-1. Le guarnizioni ad anello a corredo di bicchieri o manicotti devono garantire la tenuta delle giunzioni e la costanza nel tempo delle caratteristiche. Le giunzioni si devono effettuare con apposito lubrificante (grasso od olio siliconato, vaselina, ecc.).

17.3.4.3 Dispositivi di chiusura e di coronamento dei pozzetti

17.3.4.3.1 Generalità

Si definiscono:
- dispositivo di chiusura: parte del pozzetto di ispezione costituita da un telaio e da un coperchio e/o una griglia;
- dispositivo di coronamento: parte del pozzetto di raccolta costituita da un telaio e da una griglia e/o un coperchio;
- telaio: elemento fisso di un dispositivo di coronamento o di chiusura, destinato all'alloggiamento ed al sostegno di una griglia o di un coperchio;
- griglia: elemento mobile di un dispositivo di coronamento o di chiusura, che consente il deflusso dell'acqua nel pozzetto di raccolta;
- coperchio: elemento mobile di un dispositivo di coronamento o di chiusura, che copre l'apertura del pozzetto di raccolta o di ispezione.

17.3.4.3.2 Classe di carico e di impiego previsto

In base ai carichi di prova secondo la norma UNI EN 124-1 i dispositivi di coronamento e di chiusura sono classificati come di seguito da cui deriva anche il loro possibile utilizzo e posizione:
- A15 (gruppo 1): utilizzate esclusivamente da pedoni e ciclisti
- B 125 (gruppo 2): percorsi pedonali, aree pedonali e aree paragonabili, parcheggi per auto private o parcheggi auto multipiano
- C 250 (gruppo 3): a lati dei cordoli della pavimentazione e aree non esposte a traffico di banchine e simili;
- D 400 (gruppo 4): strade rotabili (comprese le vie pedonali), banchine e aree di parcheggio per tutti i tipi di veicoli stradale
- E 600 (gruppo 5): aree soggette a carichi su grandi ruote, per esempio strade di porti e darsene
- F 900 (gruppo 6): aree soggette a carichi da ruote particolarmente grandi, per esempio le pavimentazioni per veicoli

17.3.4.3.3 Materiali e documentazione di qualifica

Il tipo di materiale e la relativa classe di carico dei dispositivi di chiusura e di coronamento sono

definiti negli elaborati progettuali. L'Appaltatore resta responsabile di verificare che la classe di carico di progetto sia compatibile con l'effettivo impiego previsto secondo quanto disciplinato al precedente § 17.3.4.3.2.
Ogni formitura deve essere accompagnata da marcatura CE e DoP secondo la serie della norma UNI EN 124 come meglio speficato sotto con sistema di attestazione di conformità di tipo 1.

I dispositivi di chiusura e di coronamento possono essere fabbricati con:
- conformemente ai requisiti specificati nella UNI EN 124-2: ghisa a grafite lamellare (conforme alla EN 1561), ghisa a grafite sferoidale (conforme alla EN 1563) o con uno dei precedenti materiali combinato con calcestruzzo avente classe di resistenza a compressione minima C35/45;
- conformemente ai requisiti specificati nella UNI EN 124-3: acciaio (conforme alla EN 10130 o alla EN 10025-1) zincato a caldo in conformità alla EN ISO 1461, acciaio inossidabile austenitico di grado 1.4301, 1.4306, 1.4307, 1.4401, 1.4404, 1.4432 o 1.4571 (conforme alla EN 10088-1), leghe di alluminio (conformi EN 1706, EN 1676 o EN 573-2) con protezione alla corrosione in ambiente chimico particolarmente aggressivo;
- conformemente ai requisiti specificati nella UNI EN 124-4: calcestruzzo armato prefabbricato (i materiali costituenti del calcestruzzo e l'acciaio di armatura devono essere conformi al § 4.1 della EN13369);
- conformemente ai requisiti specificati nella UNI EN 124-5: materiale composito C1 (fibre lunghe continue costruite al fine di ottimizzare il rinforzo in fibra all'interno di una data macrostruttura), materiale composito C2 (solido e stampato come singolo prodotto monolitico consistente in fibre lunghe all'interno di una resina matrice), materiale composito C3 (noto come composto stampato rinforzato consistente in una resina matrice, filler particolari e fibra corta di rinforzo);
- conformemente ai requisiti specificati nella UNI EN 124-6: Poli (cloruro di vinile) non plastificato PVC-U (conforme alle norme EN1401-1, EN 13476-2, EN 13476-3, EN 13598-1, EN 13598-2, EN 12200-1), polipropilene PP (conforme alle norme EN 1852, EN 13476-2, EN 13476-3, EN 13598-1, EN 13598-2, EN 14758-1, EN124-6 Annex A), polietilene PE (conforme alle norme EN 12666-1, EN 13476-2, EN 13476-3, EN 13598-1, EN 13598-2)

Per tutti i materiali la qualità e le prove sono stabilite nelle rispettive norme di unificazione richiamate nella UNI EN 124.
Le caratteristiche dimensionali (fessure e fori di aerazione, apertura di accesso, profondità di incastro, giochi tra le diverse parti, telaio) ed i requisiti costitutivi (sedi, protezione degli spigoli, sistemi di fissaggio, di sbloccaggio e di rimozione, tenuta) saranno conformi alle prescrizioni della norma UNI EN 124.

17.3.5 Impianti di separazione

Gli impianti di separazione sono utilizzati per separare gli idrocarburi di origine minerale (liquidi leggeri con massa volumica non maggiore di 0,95 g/cm^3) dalle acque reflue e si configurano con un separatore che trattiene il liquido leggero, un sedimentatore (per limo, gango e sabbia) e un punto di campionamento. Il sedimentatore può consistere in un'unità separata o costruito insieme al separata o costruito insieme al separatore come unità combinata. Il punto di campionamento è situato a valle del processo di separazione in cui possono essere prelevati campioni di acque reflue scaricate dal separatore.

Ogni formitura deve essere accompagnata da marcatura CE e DoP secondo la norma UNI EN 858-1 con sistema di attestazione di conformità di tipo 3.

17.3.5.1 Classi di separatori

Esistono due classi di separatori

- Classe I: con contenuto massimo di olio residuo pari a 5 mg/l (*). La tecnica di separazione usuale è di tipo coalescente
- Classe II: con contenuto massimo di olio residuo pari a 10 mg/l (*). La tecnica di separazione usuale è a gravità

(*) secondo la modalità di prova descritta al § 8.3.3.1 di cui alla norma UNI EN 858-1.
Il progetto individua il dimensionamento e la classe più opportuna per la scelta del separatore in funzione della portata di progetto o della superficie servita.

17.3.5.2 Materiali

Gli impianti di separazione possono essere realizzati con:

- Calcestruzzo con classe di resistenza alla compressione minima C 35/45, non armato, fibrocemento o armato;
- Metallici:
    - Ghisa con grafite lamellare – ISO 185
    - Ghisa con grafite sferoidale – ISO 1083
    - Ghisa – ISO 3755
    - Acciaio laminato – ISO 630
    - Acciaio di amratura – ENV 10080
    - Acciaio inossidabile austenitico di qualità almeno pari a X6 CrNi 1810 – EN 10088-1-2-3
- Materie plastiche:
    - Rinforzate con fibra di vetro. Il laminato deve essere costruito utilizzando resine, materiali di rinforzo, agenti tratanti conformi alla norma EN 976-1
    - Polietilene per stampaggio rotazionale, per soffiaggio, a iniezione, a fogli di testa – massa volumica conforme alla norma ISO 1183 e portata massica fusa conforme alla norma ISO 1133

Per gli impianti di separazione devono essere utilizzati esclusivamente elastomeri (gomma) o materiali di tenuta elastici permanenti conformi alla norma EN 681-1 tipo WC e la loro durezza per i giunti non deve essere minore di 40 IRHD conformemente alla ISO 48. Non devono essere utilizzati malta di cemento e cementi sigillanti o composti simili. Le guarnizioni di elastomeri continuamente a contatto con acque reflue e/o liquidi leggeri devono soddisfare i requisiti della EN 682, tipo GB.

Ove necessario e comunque ad insindacabile giudizio del Direttore dei Lavori, devono essere presenti rivestimenti esterni/interni applicati alle superfici dell'impianto di separazione per proteggerle dagli effetti dell'affluente (per le superfici interne) e della condizione del suolo (per le superfici esterne). Tali rivestimenti devono soddisfare i requisiti del § 6.2.6 – 6.2.7 della norma UNI EN 858-1.

Gli impianti di separazione devono essere dotati di una chiusura automatica di sicurezza, di un filtro a coalescenza e di un eventuale dispositivo automatico di allarme.

17.3.5.3 Manuale di installazione uso e manutenzione

Il fabbricante deve fornire in fase di prequalifica di cui al § 17.4 il manuale di installazione, uso e manutenzione che per la parte di manutenzione come minimo deve comprendere:

- Sedimentazione

  - Determinazione del volume di fango
- Separatore
  - Misurazione dello spessore dei liquidi leggeri
  - Controllo di funzionamento del dispositivo di chiusura automatica
  - Controllo di permeabilità del dispositivo di coalescenze, se i livelli dell'acqua davanti e dietro il dispositivo a coalescenza mostrano una differenza significativa
  - Controllo di funzionamento del dispositivo di avvertimento
- Colonna di campionamento
  - Pulizia del canale di scarico

17.3.6 Manufatti di laminazione e regolatori di portata

Laddove risulti necessario tutelare i corpi idrici di recapito dalle acque provenienti dalle superfici impermeabili, il progetto prevede dei manufatti accumulo e laminazione in grado di fungere da ammortizzatore idraulico grazie ai volumi di stoccaggio temporaneo dei deflussi e alla riduzione dell'infiltrazione durante i piovaschi di notevole intensità e durata, in quanto trattengono temporaneamente la portata intercettata da dette superfici impermeabili.
Tali manufatti, le cui dimensioni sono definite negli elaborati progettuali, sono realzzati in calcestruzzo armato, gettati in opera o prefabbricati, dotati di bocca tarata o di regolatore di portata per la regolazione delle acque in uscita. Le caratteristiche dei materiali sono indicate nelle tabelle riportate sulle tavole di progetto mentre i requisiti per la qualifica, l'accettazione e il controllo del materiale sono riportati nell'art. 20 e 24 di questo capitolato speciale d'appalto a cui si rimanda integralmente.
In aggiunta a quanto indicato nei citati articoli 20 e 24 si precisa che, laddove le vasche siano realizzate con un sistema di elementi prefabbricati modulari, occorre che i giunti tra elementi continui rispettino le indicazioni di cui sopra. Il corretto impiego richiede il montaggio con apposito collante e la lubrificazione con grasso specifico, prima della giunzione.
Laddove il progetto preveda un sistema di impermeabilizzazione e/o protezione del calcestruzzo si rimanda ai contenuti dell'art. 33 di questo capitolato.

Il regolatore di portata per gli scarichi delle acque miste o bianche (a galleggiante, basculante, a vortice o di altro tipo) avrà le dimensioni individuate in progetto determinate in base alla portata limite da scaricare e dovrà essere realizzato in acciaio inox (1.4306/AISI 304 – 1.4401/AISI 316) o in acciaio zincato a caldo in conformità a quanto definito nell'art. 25 bis di questo capitolato.

17.3.7 Valvole di non ritorno

Le valvole di non ritorno (anche dette a clapet) vengono utilizzate generalmente negli scarichi delle tubazioni per impedire il riflusso di un fluido all'interno del sistema. Il mezzo può scorrere solo in una direzione attraverso la valvola per chiusura anti-ritorno. Se la spinta nel sistema supera la resistenza della valvola, la stessa si apre nella direzione del flusso e consente al fluido di scorrere. Se la spinta nel sistema scende di nuovo al di sotto della resistenza della valvola o se la direzione del flusso del fluido cambia, la valvola si chiude in modo completamente automatico tramite la spinta e la portata del fluido e non permette al fluido di tornare indietro e garantendone la tenuta.
La spinta necessaria per l'apertura della valvola deve essere tale da consentire sempre il naturale deflusso delle acque e deve essere coerente con le specifiche di progetto e con la natura dell'opera da realizzare.
La valvola di non ritorno anti-riflusso per le acque bianche e miste, può essere realizzata in acciaio inox (1.4306/AISI 304 – 1.4401/AISI 316), acciaio zincato a caldo in conformità a quanto definito nell'art. 25 bis di questo capitolato, in PEAD, poliammide o in gomma di alta qualità, secondo

specifiche riportate in progetto.
La valvola può essere fissata alla tubazione con flangia anche a mezzo di pezzi speciali, con innesto maschio su tubo o fissata su una parete verticale. L'apertura della valvola può essere verticale o inclinata, a battente o a membrana (che si assottiglia a becco d'anatra).
Il produttore deve fornire tutte le specifiche costruttive del sistema di fissaggio, del montaggio in opera e delle condizioni di funzionamento in coerenza con le specifiche del progetto.
Il progetto può anche prevedere la tenuta del sistema con guarnizione di tenuta in EPDM.

17.3.8 Paratoie

Il progetto può prevedere l'installazione di paratoie a ghigliottina per regolare il deflusso e quindi la portata di un canale o di uno scarico.
Le dimensioni delle paratoie sono specificate negli elaborati progettuali così come la loro possibilità di movimentazione che può essere manuale, con l'ausilio di manovelle, pulegge e ingranaggi demoltiplicatori, o meccanicamente, per mezzo di un motore, solitamente elettrico, e di un pistone elettroidraulico.
Le paratoie possono essere realizzate in acciaio inox (1.4306/AISI 304 – 1.4401/AISI 316) o in acciaio zincato a caldo in conformità a quanto definito nell'art. 25 bis di questo capitolato, con tenuta su tre e /o quattro lati con guarnizioni in EPDM. Per un utilizzo in acque di superficie, scarichi di acque bianche e meteoriche di dilavamento il telaio deve anch'esso essere realizzato in acciaio inox o zincato. Il carico idraulico massimo è definito negli elaborati di progetto.

17.4 Dossier di prequalifica

L'Appaltatore deve trasmettere al Direttore dei Lavori per approvazione almeno 15 giorni prima dell'inizio delle attività, la documentazione di seguito elencata.

La mancata presentazione della documentazione preliminare comporta la non autorizzazione all'inizio dell'esecuzione dei lavori, né saranno accettate eventuali lavorazioni svolte prima dell'approvazione delle modalità esecutive.

- Marcatura CE, DoP e scheda tecnica dei materiali. Laddove la DoP non riporti uno specifico requisito richiesto l'Appaltatore deve allegare anche un certificato eseguito da un Laboratorio Ufficiale a dimostrazione della conformità del prodotto che intende proporre
- La certificazione FPC degli impianti ove vengono prodotti gli elementi prefabbricati in calcestruzzo (tubazioni, embrici, cunette triangolari). Il certificato con la curva granulometria (norma UNI EN 933-1) per il letto di posa in sabbia
- Il certificato di conformità dell'IIP che assicura la conformità alle norme UNI EN indicate nei criteri di accettazione di questo articolo di capitolato. Per le tubazioni in PVC-U, PEAD e PP l'Appaltatore deve fornire la certificazione attestante la resistenza del materiale agli agenti chimici secondo la norma ISO/TR 10358 e la resistenza del materiale all'abrasione
- La marcatura CE e DoP e scheda tecnica degli ancoranti proposti per i collettori in PRFV fissati all'intradosso degli impalcati stradali.
- Il Certificato UNI EN ISO 9001 del sistema di gestione qualità delle società produttrici dei materiali e Certificazione ambientale UNI EN ISO 14001;
- Modalità di posa, giunzione e saldatura delle tubazioni, pozzetti, manufatti di laminazione, regolatori di portata, valvole di non ritorno;
- Modalità di costipamento sopra le tubazioni nel rispetto di quanto indicato al § 17.5.1
- Modalità di marcatura della tubazione PVC-U, PP, PEAD che dovrà recare:

- certificazioni di collaudo alla flessibilità anulare secondo quanto previsto dalla norma UNI EN 13476-3 con il metodo di prova descritto nella UNI EN 1446;
- certificazione di operatività in regime di qualità ambientale (UNI EN ISO 14001);
- certificazione di produzione in regime di qualità aziendale (UNI EN ISO 9001);
- certificazione di collaudo della tenuta idraulica delle giunzioni secondo quanto previsto dalla norma UNI EN 13476-3 con il (metodo di prova descritto nella EN 13259);
- certificazione di collaudo di resistenza all'abrasione verificata secondo metodo DIN EN 295-3;
- certificazione IIP;
- data, ora, linea di produzione in Stabilimento.

Ai fini dell'identificazione in opera, la marcatura dovrà essere apposta a caldo (e comunque indelebile e resistente a graffi ed abrasioni) lungo due direttrici a 180° lungo lo sviluppo del tubo.

- Manuale di installazione, uso e manutenzione degli impianti di separazione

I requisiti d'accettazione potranno inoltre essere accertati con ulteriori prove a cura della Direzione Lavori sia in fase di prequalifica presso il fornitore (controllo non vincolante per l'autorizzazione), sia in corso d'opera, prelevando il materiale in sito o ancora presso il fornitore, prima e dopo avere effettuato le lavorazioni.

17.5 Modalità esecutive

In tutte le fasi esecutive, comprese le fasi di preparazione e di sistemazione finale dell'area, per gli aspetti e le problematiche relative a temi ambientali, quali impatti acustici e vibrazionali, emissioni in atmosfera, impatto sulle acque superficiali, sotterranee e sul suolo, impatti sulla componente fauna e vegetazione, si rimanda integralmente a quanto prescritto dalla Normativa Nazionale e Regionale vigente, alle prescrizioni degli Enti preposti alla tutela ambientale, nonché alle condizioni ambientali contenute nelle autorizzazioni ed alle disposizioni del Capitolato Ambientale e Piano di Gestione Terre/Piano di Utilizzo allegati al progetto esecutivo.

17.5.1 Posa in opera dei collettori

In generale la posa in opera dei collettori dovrà avvenire nel rispetto dei contenuti seguenti e della norma UNI CEN/TS 1046.

17.5.1.1 Scarico ed accatastamento

Per il carico, il trasporto, lo scarico e l'accatastamento dovranno osservarsi le eventuali istruzioni del costruttore nonché i requisiti delle norme di prodotto pertinenti; dovranno comunque impiegarsi i mezzi e gli accorgimenti idonei ad evitare rotture, incrinature, lesioni o danneggiamenti in genere.
Tutti i materiali dovranno essere immagazzinati in maniera tale da conservarli integri e da evitare contaminazioni o degradazioni; per esempio i componenti elastomerici delle giunzioni dovranno essere tenuti puliti e protetti dall'esposizione a fonti di ozono (per esempio apparecchiature elettriche), alla luce solare ed a fonti di calore, nonché al contatto con oli o grassi.
L'accatastamento dovrà essere effettuato su supporti atti a mantenere i tubi sollevati dal suolo per evitare danni ai rivestimenti ed ai giunti, provvedendo a fissare i tubi per evitare che rotolino ed evitando altezze di impilamento eccessive in modo che i tubi inferiori non risultino sovraccaricati.
Non si devono collocare pile di tubi in prossimità di trincee aperte.

17.5.1.2 Scavo

Le trincee dovranno essere scavate in maniera tale da garantire un'installazione corretta delle

tubazioni, nel rispetto dei contenuti dell'art. 1 di questo capitolato speciale a cui si rimanda e degli accorgimenti e dei dispositivi previsti nel piano di sicurezza.
Se per la costruzione, è necessario accedere alle pareti esterne di strutture sotterranee, come nel caso di pozzetti, si dovrà prevedere uno spazio di lavoro minimo protetto largo 0,50 m.
Laddove due o più tubi vengano posati nella stessa trincea o sotto un terrapieno, si deve rispettare una distanza orizzontale minima fra le tubazioni, ove non altrimenti specificato, pari a un diametro.
In presenza di altre tubazioni o costruzioni, si dovranno osservare misure di sicurezza adeguate al fine di proteggerle dal rischio di danneggiamenti.
La larghezza delle trincee dovrà corrispondere al valore di Progetto; qualora, all'atto dello scavo, ciò non risultasse possibile, il problema dovrà essere sottoposto al Direttore dei lavori.
Il materiale di risulta dello scavo, qualora dalla Direzione Lavori ritenuto idoneo ad essere reimpiegato per il rinfianco ed il rinterro, sarà depositato provvisoriamente; in caso contrario sarà conferito a deposito.

17.5.1.3 Letto di posa

I tubi saranno adagiati su un letto di posa in sabbia o ghiaia fine, di spessore variabile in funzione della dimensione della tubazione che, se non diversamente specificato a progetto, dovrà essere non inferiore a:

- 10 cm in presenza di terreno di normale consistenza;
- 15 cm in presenza di terreno duro o di roccia lapidea

evitando così che la sommità della costola vada a poggiare sul terreno di scavo.
Il letto di posa dovrà essere spianato, compattato a mano e livellato in modo da eliminare discontinuità dell'appoggio (salvo le nicchie per le giunzioni a bicchiere); in nessun caso sarà consentito di regolare la posizione dei tubi nella trincea ricorrendo a pietre, mattoni, legname o ad altri appoggi discontinui.
Qualora si rendessero necessari aggiustamenti nell'altimetria, questi saranno effettuati alzando o abbassando la quota dell'appoggio, garantendo sempre che, alla fine, i tubi siano supportati per tutta la loro lunghezza, senza ricorrere a riempimenti locali.

17.5.1.4 Posa dei collettori

La posa dei tubi (acciaio, PVC, PRFV, PEAD cemento, cemento armato vibrato o comunque come mostrato sui disegni di progetto) inizierà preferibilmente dall'estremità a valle con i bicchieri rivolti a monte. Le linee dovranno essere poste in opera con le pendenze indicate, poggiate su idoneo letto di posa in sabbia in modo da non danneggiare la tubazione e/o il suo rivestimento.
In caso di interruzioni dei lavori o di previsione di forti piogge, si provvederà a chiudere temporaneamente le estremità dei tubi; i tappi protettivi saranno rimossi solo immediatamente prima di eseguire le giunzioni; qualsiasi materiale rimasto nel tubo dovrà essere comunque rimosso.
Le parti della superficie del tubo che venissero a contatto con i materiali di giunzione dovranno essere prive di difetti, pulite e, se necessario, asciutte; i giunti scorrevoli dovranno essere lubrificati con i lubrificanti e secondo i metodi raccomandati dal fabbricante.
Nei casi in cui i tubi non possano essere giuntati manualmente, dovranno impiegarsi adeguate attrezzature idrauliche o manuali di tiro ("tire-fort"), essendo tassativamente vietato il ricorso alla spinta con macchinari (escavatori, pale, dozer, ecc.) non espressamente previsti a questo scopo.
Nell'esecuzione delle giunzioni a bicchiere dovrà essere rispettata la distanza fra l'estremità della parte imboccata e la battuta del tubo successivo specificata dal fabbricante.
Le giunzioni dovranno essere eseguite applicando progressivamente una forza assiale senza sollecitare eccessivamente i componenti; a giunzione eseguita, l'allineamento dovrà essere controllato e, se necessario, corretto. Occorre prestare la massima attenzione affinchè in fase di

infilaggio la guarnizione non venga danneggiata né si possa verificare una deviazione angolare tale da causare deformazioni differenziate e quindi perdite.
Laddove necessario, si devono prevedere per i bicchieri nicchie di dimensioni sufficienti per l'esecuzione del corretto accoppiamento e per impedire che il tubo poggi sul giunto; la nicchia per il bicchiere dovrà avere le dimensioni minime compatibili con il corretto montaggio del giunto.
I tagli dovranno essere eseguiti con gli utensili idonei, secondo le raccomandazioni del fabbricante del tubo ed in modo tale da garantire prestazioni adeguate dei giunti.
Laddove esista il rischio di galleggiamento durante l'installazione, i tubi dovranno essere mantenuti in sito mediante carichi o ancoraggi adeguati.
Qualora strettamente necessario è possibile effettuare saldature in opera per la giunzione dei tubi in materiale termoplastico. Non sono ammesse saldature testa – testa per la loro difficoltà di esecuzione mentre sono consentite le saldature con apporto di materiale. Una volta eseguito il collegamento tra due tubi di realizza un cordolo di saldatura sulla superficie esterna tra bicchiere e tubo.
L'operazione di saldatura deve essere eseguita prestando particolare attenzione a:

- Pulire accuratamente le superfici da saldare
- Abradere un sottile strato superficiale per evitare la presenza di materiale ossidato, facendo attenzione a non danneggiare le superfici
- Utilizzare un materiale di apporto compatibile con quello dei tubi
- Evitare che l'eccessivo calore possa deformare o perforare le superfici interessato compromettendo la rigidità o la tenuta idraulica.

17.5.1.5 Rinfianco e rinterro

Il costipamento dovrà avvenire con attrezzature, numero di passaggi e spessore degli strati atti ad ottenere il grado di costipamento pari almeno al 95% della densità optimum di Proctor mod. (ove non altrimenti specificato in Progetto), tenendo conto delle caratteristiche del tubo da installare al fine di evitare di arrecare danni allo stesso.
Il costipamento previa saturazione di acqua del rinfianco è ammissibile – su autorizzazione della Direzione Lavori - soltanto in casi eccezionali ed in presenza di terreni incoerenti.
L'Appaltatore dovrà evitare che sassi, massi, materiali di risulta, spezzoni di altre tubazioni, siano gettati all'interno dello scavo. Il rinterro di scavi, all'interno dei quali siano presenti tubazioni in polietilene, deve essere effettuato in maniera tale da consentire che il tubo si assesti. In particolare, una delle estremità della tratta della condotta dovrà essere mantenuta libera di muoversi curando che il riempimento dello scavo abbia inizio dalla parte opposta. Sono ammessi rinterri parziali nel caso sia necessario "bloccare" la tubazione; in ogni caso dovranno rimanere scoperte ed ispezionabili tutte le giunzioni, fino ad effettuazione con esito positivo dei collaudi previsti.
Nel caso di collegamenti con manicotti, potrebbero teoricamente presentarsi fenomeni di sfilamento. Occorre avere in questo caso l'avvertenza di bloccare con un riempimento parziale il tubo ogni 30/40 m e, previo controllo degli eventuali movimenti, completare il riempimento dello scavo nelle ore più fresche della giornata. E' comunque da tenere presente che, una volta effettuato correttamente il riempimento, non sono prevedibili spostamenti in senso longitudinale in quanto il terreno compattato attorno alle costole si oppone a qualsiasi effetto della dilatazione.
Nel caso di tubazioni posate sotto le pavimentazioni stradali il reinterro deve essere compattato a strati di spessore non superiori a 30 cm con piastra vibrante o similare. Una compattazione ordinaria è da prevedersi in casi diversi. Il costipamento meccanico del riempimento sopra il tubo deve iniziare solo quando vi sia uno spessore totale di ricoprimento di almeno 30 cm sopra la generatrice superiore del tubo. Detto spessore comunque dipende dal tipo di apparecchiatura utilizzata dall'Appaltatore e deve essere dichiarato in sede di prequalifica compatibilmente con i macchinari

utilizzati, con il tipo di tubazione e del terreno di ricoprimento.
L'ESECUTORE dovrà sempre accertare che il rinterro sia eseguito in modo tale che non vi siano cavità superficiali o interne al materiale di rinterro che possono costituire pericolo alle persone e/o animali e mezzi.
Alla profondità prevista in progetto, e ove richiesto dal progetto o dalla DIREZIONE LAVORI, dovranno essere posti in opera un opportuno segnale di presenza e identificazione della rete, realizzato con nastro segnalatore secondo la tipologia prevista dal progetto.

17.5.2 Posa in opera dei pozzetti

La posa in opera dei pozzetti avverrà previa preparazione del piano di posa mediante regolarizzazione, costipamento e realizzazione di un allettamento in calcestruzzo magro di almeno 10 cm per pozzetti in c.a.v e un allettamento in sabbia di almeno 10cm per i pozzetti in PE strutturato.
Il riempimento laterale verrà eseguito per strati, compattando il materiale; si curerà di procedere uniformemente su tutti i lati, in modo da non provocare spinte asimmetriche.

17.5.3 Posa in opera dei dispositivi di chiusura e di coronamento dei pozzetti

A pozzetto c.a.v. ultimato, il coronamento di questo sarà leggermente scarificato, in modo che la superficie ruvida così ottenuta favorisca l'adesione della malta cementizia che costituirà il letto di appoggio del telaio.
Prima della posa in opera la superficie di appoggio dovrà essere convenientemente pulita e bagnata.
Per la preparazione e la stesa della malta si osserveranno le istruzioni indicate dal fabbricante.
Lo spessore di malta sarà compreso tra 2 e 3 cm.
Qualora occorressero spessori maggiori, si dovrà ricorrere, secondo le disposizioni della Direzione Lavori, o all'esecuzione di un sottile getto di conglomerato cementizio con calsse di resistenza C25/30 opportunamente armato, oppure all'impiego di anelli di appoggio in conglomerato cementizio prefabbricato; in nessun caso potranno essere inseriti sotto il telaio, a secco o immersi nel letto di malta, pietre, schegge o frammenti di mattoni.
Il telaio sarà posizionato planimetricamente in modo che la sua luce coincida con quella del pozzetto, ed altimetricamente in modo che la superficie superiore del dispositivo si trovi, a lavoro ultimato, alla quota della pavimentazione finita (tenuto conto degli eventuali inviti per i pozzetti esterni alle corsie di traffico).
Il fissaggio nella malta sarà eseguito senza sbavature sulla superficie di appoggio del coperchio nel telaio, e lasciando liberi almeno gli ultimi 3 cm superiori del bordo del telaio, per permettere la rifinitura a livello del manto stradale.
Per i pozzetti in PE strutturato il manufatto di chiusura e coronamento dovrà essere posato su una soletta di ripartizione in c.a di spessore almeno 20 cm.
Nel caso che, in conseguenza di assestamenti sotto carico o di altre cause, si dovesse provvedere al ricollocamento in quota del telaio, quest'ultimo dovrà essere rimosso ed i resti di malta indurita completamente asportati. Si procederà quindi al ricollocamento con le modalità precedentemente descritte.
Il chiusino non sarà transitabile per il tempo necessario alla maturazione dei materiali impiegati, in funzione della temperatura e dell'umidità ambientali.
Per altri aspetti di dettaglio si farà riferimento alle specifiche del fabbricante.

17.5.4 Posa in opera delle canalette di drenaggio, caditoie, cunette, embrici

La posa in opera dovrà avvenire secondo le istruzioni allegate alla fornitura e comunque tale da rispettare la posizione plano-altimetrica indicata negli elaborati di progetto.

In particolare, per i canali di drenaggio richiedenti ulteriore supporto per sostenere i carichi di servizio (designate come "tipo M" nella UNI EN 1433) l'affiancamento dei diversi elementi, nonché le dimensioni, la classe di calcestruzzo e l'armatura del supporto dovranno essere conformi alle istruzioni del fabbricante.
La posa in opera dovrà avvenire su piani opportunamente preparati, anche mediante costipamento, in modo da evitare successivi cedimenti.
Ove previsto si procederà alla stesa di malta di allettamento.
I giunti verranno accuratamente stuccati, previa abbondante bagnatura.
Per gli elementi collocati lungo scarpate (ad es. canalette ad embrice) dovrà provvedersi all'ancoraggio mediante tondini in ferro del diametro pari a 24 mm e della lunghezza di 80 cm infissi nel terreno per 60 cm secondo i disegni di Progetto o come disposto dalla Direzione Lavori. In genere è sempre obbligatorio ancorare l'elemento di invito e quello al piede della canaletta. Ulteriori elementi sono da ancorare in base alla lunghezza del canale modulare di scolo e comunque non meno di un ancoraggio (composto da 2 tondini) ogni 5 embrici consecutivi.
Verrà posta ogni cura nella realizzazione degli allineamenti, e per gli elementi interferenti con la piattaforma stradale (imbocchi ad embrice, cordonature, …) la precisa ubicazione in quota, in ragione del raccordo con la pavimentazione e della garanzia di un regolare deflusso delle acque.

17.5.5 Impianti di separazione per liquidi leggeri

Gli impiandi di separazione per i liquidi leggeri devono essere installati secondo le disposizioni contenute nel manuale fornito dal Fabbricante ed approvato dal Direttore dei Lavori oltre a rispettare i contenuti della norma UNI EN 858-2.

17.6 Controlli in corso d'opera

17.6.1 Controlli a carico dell'Appaltatore

Per l'accettazione in cantiere del materiale occorre eseguire i seguenti controlli:

- Corrispondenza del DDT alle specifiche di prequalifica approvate dal Direttore dei Lavori
- Presenza di Dichiarazione di Prestazione e la marcatura CE ove previsto, completezza dei dati delle marcature identificative;
- Corrispondenza di eventuali marcature dei tubi, pozzetti ecc. ai contenuti del DDT (documento di trasporto);
- Corrispondenza geometrica degli elementi alle specifiche di prequalifica;
- Verifica della funzionalità degli elementi di giunzione e tenuta;
- Assenza di difetti macroscopici delle forniture in merito ad abrasioni, crepe, sbeccature, irregolarità di forma o difettosità di materiale, ecc.

Prima e durante la posa del materiale occorre eseguire i seguenti controlli da trasmettere alla Direzione Lavori tramite opportuno report:

- Esecuzione dei necessari tracciamenti topografici
- Rispetto delle modalità di posa indicate nei documenti di prequalifica e nel precedente § 17.5
- Conformità delle forniture in opera alle indicazioni del progetto esecutivo in merito a tipo materiale, diametro, lunghezze, quote, recapiti, sezione di scavo, reinterri ecc.
- Corretta esecuzione dei fori e successiva posa degli ancoranti a sostegno dei collettori posti sotto gli impalcati stradali

Dopo la posa del materiale occorre eseguire i seguenti controlli da trasmettere alla Direzione Lavori tramite opportuno report:

- Rilievo topografico della quota di scorrimento delle tubazioni di ingresso e uscita da ogni pozzetto e dei manufatti di laminazione e regolazione di portata, impianti di separazione liquidi leggeri. Tale controllo deve essere esteso anche alla quota di estradosso dei chiusini dei pozzetti e verificare la correttezza soprattutto in caso di posizionamento sulla pavimentazione stradale. Il reinterro può essere eseguito solo a valle di una accettazione della Direzione Lavori
- Rilievi topografici delle canalette di drenaggio con l'indicazione della posizione dello scarico al collettore
- Rilievi topografici delle cunette triangolari
- Controllo del corretto posizionamento dei chiusini con verifica della loro apertura
- Controllo del corretto montaggio delle griglie di tutte le canalette
- Controllo del completamento di tutta la linea di scarico (elementi di raccolta, di convogliamento, pozzetti, ecc.) e del collegamento al recapito finale prima della messa in servizio del sistema di drenaggio
- Collaudi nelle modalità di cui al successivo paragrafo §17.6.1.1 in contraddittorio con la Direzione Lavori

17.6.1.1 Collaudi

17.6.1.1.1 Collaudo delle tubazioni con scorrimento a gravità

Il collaudo delle tubazioni di cui al § 17.3.1, deve essere effettuato obbligatoriamente con le seguenti prove:

3. Per sistemi omogenei [reti di tubazioni e pozzetti dello tesso materiale, ovvero PEAD, PP, PRFV, CAV], con aria secondo il metodo "L" di cui alla norma UNI EN 1610. La tubazione deve essere collaudata dopo il riempimento e il costipamento.

   I tempi di prova per le tubazioni (esclusi i pozzetti e le camere di ispezione) sono indicati nel seguente prospetto (tratto dal prospetto 3 della EN 1610) in relazione alle dimensioni del tubo e al metodo di prova utilizzato (LA, LB, LC, LD). Salvo impedimenti particolari dimostrati dall'Appaltatore è da utilizzare il metodo LD.

   In primo luogo, si deve mantenere per circa 5 minuti una pressione iniziale maggiore di circa il 10% della pressione di prova richiesta p_o. Si deve poi adeguare la pressione a quella di prova indicata nel prospetto seguente e relativa al metodo di collaudo LA, LB, LC o LD. Se la perdita di pressione misurata dopo il tempo di prova è minore del Δp indicato nel prospetto la tubazione è conforme.

   L'apparecchiatura usata per misurare la caduta di pressione deve consentire una misurazione di Δp con una precisione del 10%. La precisione di misura del tempo deve essere ±2,5 s.

Materiale	Metodo di prova	p_0 [a]	Δ_p	Tempo di prova min						
		mbar (kPa)		DN 100	DN 200	DN 300	DN 400	DN 600	DN 800	DN 1000
Tubi di calcestruzzo non impregnato	LA	10 (1)	2,5 (0,25)	5	5	5	7	11	14	18
	LB	50 (5)	10 (1)	4	4	4	6	8	11	14
	LC	100 (10)	15 (1,5)	3	3	3	4	6	8	10
	LD	200 (20)	15 (1,5)	1,5	1,5	1,5	2	3	4	5
Valori di K_p [b]				0,058	0,058	0,053	0,040	0,0267	0,020	0,016
Tubi di calcestruzzo impregnato e tutti gli altri materiali	LA	10 (1)	2,5 0,25)	5	5	7	10	14	19	24
	LB	50 (5)	10 (1)	4	4	6	7	11	15	19
	LC	100 (10)	15 (1,5)	3	3	4	5	8	11	14
	LD	200 (20)	15 (1,5)	1,5	1,5	2	2,5	4	5	7
Valori di K_p [b]				0,058	0,058	0,040	0,030	0,020	0,015	0,012

a) Pressione superiore alla pressione atmosferica

b) $t = \frac{1}{K_p} \times \ln \frac{p_0}{p_0 - \Delta_p}$

Per tubi di calcestruzzo non impregnato K_p = 16/DN con massimo 0,058.
Per tubi di calcestruzzo impregnato e tutti gli altri materiali K_p = 12/DN con massimo 0,058.
Con t arrotondato al mezzo minuto più vicino quando $t \leq 5$ min, e al minuto più vicino quando $t > 5$ min.
Per tubi non sferici si devono calcolare le dimensioni nominali sostitutive.

Per le tubazioni del diametro maggiore di DN 1000 occorre eseguire il collaudo sui singoli giunti invece del collaudo del tratto di tubazione con il metodo ad acqua "W" per un tratto di tubo lungo 1 metro a cavallo del giunto. Il tratto deve essere riempito con una pressione di prova pari a 50 kPa in corrispondenza della generatrice superiore interna. Si deve mantenere la pressione entro 1KPa della pressione di prova (per esempio aggiungendo acqua) e si deve misurare la variazione di volume dell'acqua con accuratezza di 0,1 l e registrarla al fine di mantenere il livello dell'acqua che corrisponde alla pressione di prova richiesta. Il requisito di prova è soddisfatto se la quantità di acqua aggiunta non è maggiore di 0,15 l/m2 nel tempo di 30 minuti.

In alternativa al collaudo con il metodo ad acqua "W" dei giunti di tubazioni con diametro superiore a DN 1000 l'Appaltatore può proporre condizioni di prova ad aria "L" purché approvate dal Direttore dei Lavori.

È sufficiente collaudare il 2% dei giunti indicati dalla Direzione Lavori. Tale valore verrà progressivamente incrementato ad insindacabile giudizio del Direttore dei Lavori qualora il collaudo non venga superato.

4. Per sistemi non omogenei [reti di tubazioni e pozzetti di materiali diversi, ovvero PEAD, PP, PRFV, CAV], con acqua:
    a. Prova di portata, immettendo un volume noto di acqua a monte e misurando a valle quello uscente.
    La prova potrà ritenersi superata se il quantitativo di volume immesso a monte del tratto sarà pari a quello uscente a valle.

N.B.:

i. Prima dell'inizio della prova, dovranno essere riempiti i volumi morti (fondo pozzetti testata/ raccordo) del tratto attenzionato.
ii. Il numero dei tentativi necessario per l'accertamento del superamento della prova sarà a totale discrezione della D.L.

b. Prova di tenuta, riempiendo completamente la sezione del collettore da testare [tratto elementare compreso tra due pozzetti], sigillandolo a monte e a valle.
N.B.:
La scelta dell'ubicazioni dei punti di sigillatura sarà a totale discrezione della D.L
La prova potrà ritenersi superata se, dopo 24 ore, il livello all'interno dell'elemento rimarrà invariato.
N.B.:
L'intervallo temporale necessario all'accertamento del superamento della prova potrà essere prolungato a totale discrezione della D.L.

Indipendentemente dalle caratteristiche del sistema, le precedenti prove, a discrezione della DL, potranno essere integrate, se ritenuto necessario, con videoispezioni facendo riferimento alle norme UNI EN 13508-2, UNI EN 1610, UNI EN 805, per la videoispezione e la codifica dello stato nelle condotte fognarie secondo standard europei.

La quantità dello sviluppo delle tubazioni da collaudare dovrà essere compresa tra il 10 - 20 % del totale.
N.B.:

III. La percentuale e le tubazioni da collaudare saranno scelte a totale discrezione del Direttore dei Lavori.
IV. Qualora il collaudo non venga superato, la percentuale prescelta verrà progressivamente incrementata, anche oltre il 20%, a insindacabile giudizio del Direttore dei Lavori.

In caso di esito negativo della prova di collaudo prescelta la Direzione Lavori impartirà le disposizioni del caso per il ripristino della funzionalità della tratta (compreso il suo completo rifacimento) a carico dell'Appaltatore.

17.6.1.1.2 Collaudo dei pozzetti e delle camere di ispezione a gravità

È necessario provvedere anche al collaudo dei pozzetti e delle camere di ispezione utilizzando, ove non vietato dai regolamenti nazionali con le seguenti prove:

3. Per i pozzetti in PEAD, PP, PRFV appartenenti a reti omogenee (ovvero pozzetti e tubi dello stesso materiale) il metodo ad aria "L" tipo LA o LB, qualora il diametro nominale sia minore o uguale a 1250 mm. Diversamente, in caso di limiti imposti dai regolamenti o per diametri maggiori a 1250 mm, occorre utilizzare il metodo ad acqua "W" come indicato nella norma EN 1610.
4. Per i pozzetti in CA o CAV appartenenti a reti non omogenee (pozzetti e tubi di materiale diverso) vale la stessa procedura indicata per i sistemi non omogenei §16.6.1.1.1.

È sufficiente collaudare il 2% della somma dei pozzetti e delle camere di ispezione indicati dalla Direzione Lavori. Tale valore verrà progressivamente incrementato ad insindacabile giudizio del Direttore dei Lavori qualora il collaudo non venga superato.

In caso di esito negativo della prova di collaudo la Direzione Lavori impartirà le disposizioni del caso per il ripristino della funzionalità della tratta (compreso il suo completo rifacimento) a carico dell'Appaltatore.

17.6.1.1.3 Collaudo delle valvole di non ritorno

Almeno un elemento per ogni tipologia di valvola di non ritorno deve essere sottoposto a collaudo riempiendo il canale a monte nelle immediate vicinanze della valvola stessa con acqua.
La prova di collaudo è ritenuta superata se la valvola si apre e consente il regolare deflusso anche per una modesta portata di liquido.

17.6.2 Prove a carico della Direzione Lavori

È prevista l'esecuzione di prove atte a verificare la rigidità anulare nominale SN dei tubi in PEAD, PP e PRFV secondo la norma EN ISO 9969 con la seguente frequenza:

- 1 prova alla prima fornitura di tubazione per ogni fornitore e per ogni tipologia di materiale fornito (PEAD, PP e PRFV) e successivamente ogni 5.000 m e comunque con un minimo di una volta all'anno.

È inoltre necessario eseguire per gli ancoraggi delle tubazioni in PRFV sotto gli impalcati strali, prove di trazione di post installazione sul 2,5% dei tasselli appartenenti a ciascun intervento (con un minimo di 1 tassello per intervento) prevedendo un adeguato tempo di maturazione delle resine come indicato nella scheda di prodotto, nel caso di ancoraggi chimici. Il carico di prova sarà pari a 1,5 volte il carico di esercizio dell'intervento definito a progetto e dovrà essere mantenuto per almeno 2 min.

Art. 18 Difese spondali

18.1 Campo di applicazione

Le presenti specifiche riguardano difese spondali costituite da elementi prismatici in conglomerato cementizio o da scogliera in pietrame delle dimensioni tipiche indicate in progetto.

18.2 Normativa di riferimento

- UNI EN 13383-1: Aggregati per opere di protezione (armourstone) – Specifiche
- UNI EN 13383-2: Aggregati per opere di protezione (armourstone) – Parte 2: Metodi di prova
- UNI EN 13249: Geotessili e prodotti affini - Caratteristiche richieste per l'impiego nella costruzione di strade e di altre aree soggette a traffico (escluse ferrovie e l'inclusione in conglomerati bituminosi)

18.3 Criteri di accettazione dei materiali

Il progetto prevede, per le difese spondali, l'utilizzo dei materiali di cui ai seguenti paragrafi.

18.3.1 Elementi in conglomerato cementizio

Salvo se non diversamente specificato negli elaborati progettuali, gli elementi saranno prefabbricati con calcestruzzo per classe di esposizione XF1 e quindi con classe di resistenza minima C32/40.
Per la qualifica, la posa e i controlli del conglomerato cementizio si rimanda ai contenuit di cui art. 20 di questo capitolato.
Gli elementi saranno della forma e delle dimensioni previste in Progetto e presenteranno facce piane, aspetto compatto e regolarità di forma. Dovranno essere inglobate nel getto idonee armature in acciaio costituenti i ganci per la movimentazione degli elementi.

18.3.2 Scogliera di pietrame

Deve essere costituito da materiale litoide proveniente da cava o d'alveo dotato di marcatura CE in conformità alla norma UNI EN- 13383-1 con sistema di attestazione della conformità 2+, non friabile né gelivo e quindi non deteriorabile dagli agenti atmosferici, di elevato peso specifico (non inferiore a 2,3 Ton/m^3).
Gli elementi lapidei dovranno altresì essere compatti, privi di discontinuità significative e di piani di sfaldamento quali fratture, venature, stiloliti, laminazioni, piani di foliazione, piani di sfaldabilità, cambiamenti di "facies" o altri difetti analoghi che potrebbero causare rottura durante il carico, lo scarico o la posa in opera. Il materiale non deve contenere sostanze pericolose (ed es. quelle di natura amiantifera).
A seconda della dimensione della massa tipica indicata negli elaborati progettuali (determinata dalla dimensione tipica per 2300 kg/mc), la granulometria deve essere conforme ai contenuti dei prospetti 2 o 4 della norma UNI EN 13383-1 considerando che:

- La granulometria leggera presenta una designazione con un limite nominale superiore definito da una massa compresa tra 25 e 500 kg (500 kg corrispondono ad un masso di diametro pari a circa 0,75m)
- La granulometria pesante presenta una designazione con un limite nominale superiore definito da una massa superiore a 500 kg

Si riportano per comodità di consultazione i citati prospetti 2 e 4 della UNI EN 13383-1 afferenti i requisiti per la massa media e la distribuzione delle masse delle granulometrie leggere e pesanti normalizzate:
prospetto 2:

Granulometria kg	da 5 a 40	da 10 a 60	da 40 a 200	da 60 a 300	da 15 a 300
Categoria	$LMA_{5/40}$	$LMA_{10/60}$	$LMA_{40/200}$	$LMA_{60/300}$	$LMA_{15/300}$
Massa media kg	da 10 a 20	da 20 a 35	da 80 a 120	da 120 a 190	da 45 a 135
Massa kg	Percentuale (in massa) minore della massa dei pezzi				
450	-	-	-	da 97 a 100	da 97 a 100
300	-	-	da 97 a 100	da 70 a 100	da 70 a 100
200	-	-	da 70 a 100	-	-
120	-	da 97 a 100	-	-	-
80	da 97 a 100	-	-	-	-
60	-	da 70 a 100	-	da 0 a 10	-
40	da 70 a 100	-	da 0 a 10	-	-
30	-	-	-	da 0 a 2[a)]	-
15	-	-	da 0 a 2[a)]	-	da 0 a 10
10	-	da 0 a 10	-	-	-
5	da 0 a 10	-	-	-	-
3	-	-	-	-	da 0 a 2[a)]
2	-	da 0 a 2[a)]	-	-	-
1,5	da 0 a 2[a)]	-	-	-	-

a) Frammenti.

prospetto 4:

Granulometria kg	da 300 a 1 000	da 1 000 a 3 000	da 3 000 a 6 000	da 6 000 a 10 000	da 10 000 a 15 000
Categoria	$HMA_{300/1\,000}$	$HMA_{1\,000/3\,000}$	$HMA_{3\,000/6\,000}$	$HMA_{6\,000/10\,000}$	$HMA_{10\,000/15\,000}$
Massa media kg	da 540 a 690	da 1 700 a 2 100	da 4 200 a 4 800	da 7 500 a 8 500	da 12 000 a 13 000
Massa kg	Percentuale (in massa) minore della massa dei pezzi				
22 500	-	-	-	-	da 97 a 100
15 000	-	-	-	da 97 a 100	da 70 a 100
10 000	-	-	-	da 70 a 100	da 0 a 10
9 000	-	-	da 97 a 100	-	-
6 500	-	-	-	-	da 0 a 5[a)]
6 000	-	-	da 70 a 100	da 0 a 10	-
4 500	-	da 97 a 100	-	-	-
4 000	-	-	-	da 0 a 5[a)]	-
3 000	-	da 70 a 100	da 0 a 10	-	-
2 000	-	-	da 0 a 5[a)]	-	-
1 500	da 97 a 100	-	-	-	-
1 000	da 70 a 100	da 0 a 10	-	-	-
650	-	da 0 a 5	-	-	-
300	da 0 a 10	-	-	-	-
200	da 0 a 5[a)]	-	-	-	-

a) Frammenti.

Per quanto riguarda le caratteristiche il materiale dovrà essere conforme a:

- Categoria per la forma LT_A di cui al prospetto 6 della norma UNI EN 13383-1 che si riporta sotto per comodità di consultazione

Rapporto lunghezza-spessore maggiore di 3			Categoria *LT*
Percentuale in massa		Percentuale in numero	
Granulometrie grosse	Granulometrie leggere	Granulometrie pesanti	
≤20 Altro valore dichiarato dal produttore	≤20 Altro valore dichiarato dal produttore	≤5 Altro valore dichiarato dal produttore	LT_A $LT_{Dichiarato}$
Nessun requisito	Nessun requisito	Nessun requisito	LT_{NR}

- categoria per il requisito di resistenza a rottura CS80 di cui al prospetto 9 della norma UNI EN 13383-1 che si riporta sotto per comodità di consultazione

Resistenza media alla compressione di 9 provini dopo aver eliminato il valore più basso ottenuto da 10 provini MPa	Resistenza alla compressione di non più di 2 provini su 10 MPa	Categoria *CS*
≥80 ≥60 Altro valore dichiarato dal produttore	<60 <40 Altro valore dichiarato dal produttore	CS_{80} CS_{60} $CS_{Dichiarato}$
Nessun requisito	Nessun requisito	CS_{NR}

- categoria per il requisito di resistenza a rottura $M_{DE}10$ di cui al prospetto 10 della norma UNI EN 13383-1 che si riporta sotto per comodità di consultazione

Coefficiente micro Deval	Categoria M_{DE}
≤10 ≤20 ≤30 Altro valore dichiarato dal produttore	$M_{DE}10$ $M_{DE}20$ $M_{DE}30$ M_{DE}Dichiarato
Nessun requisito	M_{DE}NR
Nota Questi requisiti si applicano agli strati superiori degli aggregati che si sa essere soggetti ad abrasione da parte del sedimento. L'utilizzo suggerito delle categorie è il seguente: Categoria $M_{DE}10$: Ambiente estremamente abrasivo, per esempio mari frequentemente burrascosi con interazione fra struttura e ghiaione, torrenti, strutture dinamiche. Categoria $M_{DE}20$: Ambiente altamente abrasivo, per esempio mari occasionalmente burrascosi con litorale sabbioso o con ghiaione. Categoria $M_{DE}30$: Ambiente moderatamente abrasivo, per esempio onde occasionalmente significative oppure azione di una corrente carica di sedimenti sospesi.	

Laddove non siano disponibili, entro una distanza di 30 km dal perimetro del cantiere, cave o fornitori di materiali lapidei con le caratteristiche di M_{DE} richieste per i vari impieghi, saranno ammessi materiali fino a categoria M_{DE}=50 (corrispondente ad un coefficiente micro Deval ≤ 50) determinato in conformità alla norma UNI EN 1097-1 e s.m.i.. In tale caso sull'intera fornitura di materiale lapideo verrà applicato un deprezzamento della corrispondente voce di prezzo di appalto (fornitura e posa) pari a: 0,0125 x ($M_{DE\ di\ progetto}$ – $M_{DE\ fornito}$) / $M_{DE\ di\ progetto}$ %.

- categoria di resistenza al gelo e disgelo FT_A di cui al prospetto 13 della norma UNI EN 13383-1 che si riporta sotto per comodità di consultazione

Gelo e disgelo Perdita di massa o formazione di fratture aperte	Categoria *FT*
Non più di un pezzo di quelli inizialmente sottoposti a prova e nessuno dei pezzi successivamente sottoposti a prova deve presentare una perdita di massa maggiore dello 0,5% o formazione di fratture aperte	FT_A
Altro valore dichiarato dal produttore	$FT_{Dichiarato}$
Nessun requisito	FT_{NR}

18.3.3 Geotessile non tessuto di separazione

Il geotessile da stendere tra il terreno e la superficie di contatto dei massi con funzione di separatore dovrà possedere marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA della norma europea armonizzata UNI EN 13249 con sistema di attestazione di conformità 2+ e dichiarazione di prestazione DoP.

Lo strato di geotessile dovrà essere del tipo nontessuto, in polipropilene o poliestere con resistenza a trazione non inferiore a 19 kN/m, resistenza al punzonamento statico non inferiore a 3 KN e allungamento a rottura non inferiore a 35% in entrambe le direzioni longitudinale e trasversale, la media della somma degli allungamenti {(long.+trasv./2)} maggiore del 50%. Dovrà inoltre soddisfare i criteri di permeabilità e ritenzione: la porometria del geotessile dovrà essere abbastanza aperta da garantire una permeabilità minima di 60 l/m^{2}s e nel contempo sufficientemente chiusa per evitare fenomeni di dilavamento e erosione; tali condizioni si ottengono con una apertura caratteristica dei pori di compresa nell'intervallo 60÷150 µm.

Inoltre, il geotessile dovrà essere conforme alle norme UNI EN 12225 e 12224, relative rispettivamente ai metodi per la determinazione della resistenza microbiologica e degli agenti atmosferici ad alla norma UNI EN ISO 10722 per la simulazione del danneggiamento durante la posa e per la messa in opera in materiali a grana grossa.

Con riferimento alla UNI EN 13249 occorre prevedere le seguenti durabilità minime in esercizio:

- superiore a 5 anni per opere provvisionali;
- superiore a 25 anni per opere definitive

Si riepilogano di seguito i requisiti richiesti che dovranno risultare in fase di qualifica dalla dichiarazione di DoP o da apposita certificazione rilasciata da laboratorio ufficiale:

Resistenze a trazione MD e CD (UNI EN ISO 10319)	$\geq$ 19 kN/m
Allungamento MD e CD (UNI EN ISO 10319)	$\geq$ 35 (MD e CD) $\geq$ 50 (MD+CD)/2
Resistenze a trazione al 10% di allungamento (UNI EN ISO 10319)	$\geq$ 3 kN/m
Punzonamento statico (UNI EN ISO 12236)	$\geq$ 3 kN
Punzonamento dinamico (UNI EN ISO 13433)	$\leq$ 20 mm
Permeabilità ortogonale al piano (UNI EN ISO 11058)	$\geq$ 60 l/m^{2}s
Diametro di filtrazione(UNI EN ISO 12956)	60÷150 µm

Qualora anche da una sola delle prove di cui sopra risultassero valori non rispondenti a quelli stabiliti, la partita sarà rifiutata e l'Appaltatore dovrà allontanarla immediatamente dal cantiere.

Nel suo conferimento al cantiere, i geotessile dovrà essere identificato indelebilmente secondo le specifiche del § 4 della norma UNI EN ISO 10320.

18.4 Dossier di prequalifica

L'Appaltatore deve trasmettere al Direttore dei Lavori per approvazione almeno 15 giorni prima dell'inizio delle attività, la documentazione di seguito elencata.
La mancata presentazione della documentazione preliminare comporta la non autorizzazione all'inizio dell'esecuzione dei lavori, né saranno accettate eventuali lavorazioni svolte prima dell'approvazione delle modalità esecutive.

- La marcatura CE e DOP dei materiali impiegati.
- La certificazione del sistema di controllo della produzione (FPC) e il Certificato UNI EN ISO 9001 del sistema di gestione qualità delle società produttrici dei materiali;
- I certificati di laboratorio delle seguenti prove: peso specifico, categoria di forma LT, resistenza a rottura CS, resistenza all'usura MDE, resistenza al gelo FT, assenza di sostanze pericolose nel rispetto dei requisiti indicati nel § 16.1.6 per ogni materiale omogeneo fornito dallo stesso fornitore
- Le prove e i certificati di accettazione iniziale della fase di prequalifica sono da ripetere ad ogni cambio fornitore o tipo di materiale a cura ed onere dell'Appaltatore.

I requisiti d'accettazione potranno inoltre essere accertati con ulteriori prove a cura della Direzione Lavori sia in in fase di prequalifica in cava (controllo non vincolante per l'autorizzazione), sia in corso d'opera, prelevando il materiale in sito o ancora in cava, prima e dopo avere effettuato le lavorazioni.

18.5 Modalità esecutive

18.5.1 Generalità

Prima di iniziare le operazioni di posa l'Appaltatore dovrà in contraddittorio con la Direzione Lavori, procedere al picchettamento della difesa riportando fedelmente sul terreno il tracciato indicato in Progetto.
Il piano di posa dovrà essere convenientemente regolarizzato, livellato e compattato, e le scarpate di appoggio dovranno essere convenientemente profilate secondo le sagome di Progetto.
Terminate le operazioni di tracciamento e di preparazione della fondazione l'Appaltatore potrà provvedere alla realizzazione della difesa procedendo nelle operazioni di posa degli elementi da monte verso valle.
Ove previsto dagli elaborati progettuali dovrà essere steso il geotessile a contatto con il terreno e a tergo degli elementi. Il piano di stesa del geotessile dovrà essere perfettamente regolare, privo di discontinuità o di materiali che possano arrecare danneggiamenti al geotessile; se necessario la stesa sarà realizzata previa messa in opera di materiale sabbioso compattato. Dovrà essere curata la giunzione dei teli mediante sovrapposizione di almeno 30 cm nei due sensi longitudinale e trasversale. I teli non dovranno essere in alcun modo esposti al diretto passaggio dei mezzi di cantiere.

18.5.2 Elementi in conglomerato cementizio

Per la prefabbricazione, prima della casseratura e del getto, si provvederà a regolarizzare la superficie di appoggio spianandola e compattandola in modo adeguato, al fine di assicurare la regolarità della faccia a diretto contatto con il terreno.
Al fine di agevolare le operazioni di controllo da parte della Direzione Lavori, gli elementi dovranno essere costruiti in file rettilinee e parallele.
La rimozione ed il trasporto dei prismi non potrà aver luogo prima che siano trascorsi trenta giorni

dalla data del loro confezionamento ed in ogni caso solo previa autorizzazione della Direzione Lavori.
Nel trasporto e nel collocamento in opera si dovrà usare la massima cautela per evitare che i prismi possano essere danneggiati.
La posa in opera dovrà avvenire nel rispetto delle sagome di Progetto mediante la collocazione di ogni singolo elemento sul piano di appoggio preventivamente regolarizzato.
Ciascun elemento dovrà essere disposto in modo da garantirne una giacitura stabile indipendentemente dalla posa in opera degli elementi adiacenti; i giunti dovranno risultare sfalsati in senso sia longitudinale sia trasversale e permettere uno stretto contatto tra gli elementi adiacenti.

18.5.3 Scogliera di pietrame

I massi saranno messi in opera singolarmente, in modo tale da realizzare almeno tre punti di contatto e il massimo grado di incastro con quelli posizionati in precedenza; non saranno pertanto consentiti l'impiego di scaglie od elementi di piccole dimensioni per realizzare l'appoggio sugli strati sottostanti né la posa mediante scarico alla rinfusa dai mezzi di trasporto e movimentazione.
Gli elementi saranno disposti con il lato più lungo in direzione parallela alla direzione della corrente.
Successivamente al completamento della scogliera i vuoti tra i massi saranno riempiti con scaglie di materiale roccioso della stessa natura di quella dei massi in modo che non si formino vortici che possano dar luogo all'asportazione di materiale fine.
In casi speciali (scogliere rinverdite) al materiale grossolano sarà associata una componente fine destinata ad intasare i vuoti degli elementi lapidei ed a consentire l'attecchimento delle essenze vegetali.

18.6 Controlli in corso d'opera

18.6.1 Controlli dell'Appaltatore

L'Appaltatore è tenuto a documentare in apposito report l'esito delle seguenti verifiche da trasmettere alla Direzione Lavori:

- rispondenza dei documenti di trasporto delle forniture all'arrivo in cantiere e la rispondenza delle caratteristiche per lo specifico impiego previsto a progetto e alla qualifica approvata dal Direttore dei Lavori;
- rispondenza delle modalità di posa alle prescrizioni di cui al § 18.5;
- controllo topografico della sagoma dell'opera realizzata nel rispetto delle previsioni progettuali. Il rilievo dovrà individuare, sia graficamente, sia in una apposita tabella suddivisa per wbs, i volumi di scavo e dei materiali impiegati suddivisi per provenienza (da scavi interni al cantiere, dai vari fornitori, ecc.). Il rilievo, ed ogni suo successivo aggiornamento da redigere su base mensile se in presenza di lavorazioni, deve essere trasmesso al Direttore dei Lavori in formato dwg;
- dei controlli effettuati in corso d'opera di cui ai successivi paragrafi.

18.6.2 Controlli della Direzione Lavori

18.6.2.1 Materiale da scogliera

La Direzione Lavori, in contraddittorio e con l'assistenza dell'Appaltatore, dovrà eseguire la verifica dei requisiti indicati nel § 16.3.1.6 e cioè peso specifico, granulometria, categoria di forma LT, resistenza a rottura CS, resistenza all'usura MDE, resistenza al gelo FT, assenza di sostanze pericolose ogni 5.000 m^3 (11,5 tonnellate) di materiale omogeneo fornito dallo stesso fornitore.

18.6.2.2 Geotessile

Nel caso di utilizzo di geotessile la Direzione Lavori, in contraddittorio e con l'assistenza dell'Appaltatore, dovrà eseguire la campionatura del materiale secondo la Norma UNI EN ISO 9862 con frequenza di un prelievo ogni 2.000 m^2 di prodotto omogeneo fornito e per ogni produttore.
Si effettueranno le prove di verifica dei requisiti di cui alla tabella riportata al § 18.3.3.

Art. 19 Drenaggi

19.1 Generalità e campo di applicazione

I drenaggi afferenti il presente articolo di capitolato si riferiscono a:

- trincee drenanti:
  - per il consolidamento dei pendii
  - ubicate lateralmente alle pavimentazioni stradali qualora occorra consentire lo scolo delle acque verso gli scarichi nel caso che la pendenza longitudinale della pavimentazione non sia sufficiente a garantire un rapido smaltimento delle acque (< 1,0%);
  - ubicate lateralmente alle pavimentazioni stradali sotto le cunette laterali nei tratti in trincea
- drenaggi a tergo delle murature
- pozzi drenanti

19.2 Normativa di riferimento

- UNI EN 13242 - Aggregati per materiali non legati e legati con leganti idraulici per l'impiego in opere di ingegneria civile e nella costruzione di strade
- UNI 11531-1 - Costruzione e manutenzione delle opere civili delle infrastrutture - Criteri per l'impiego dei materiali - Parte 1: Terre e miscele di aggregati non legati
- UNI EN 13249: Geotessili e prodotti affini - Caratteristiche richieste per l'impiego nella costruzione di strade e di altre aree soggette a traffico (escluse le ferrovie e l'inclusione nelle pavimentazioni bituminose)
- UNI EN 13251: Geotessili e prodotti affini - Caratteristiche richieste per l'impiego nelle costruzioni di terra, nelle fondazioni e nelle strutture di sostegno

19.3 Criteri di accettazione dei materiali

19.3.1 Trincee drenanti

19.3.1.1 Materiale drenante

Il materiale drenante deve essere costituito da aggregati aridi altamente permeabili come pietrame, ciottoli e ghiaia la cui granulometria, salvo diversa indicazione progettuale, deve essere compresa tra 10 mm e 75 mm. Tale materiale potrà essere di origine naturale da cava o riciclata. Gli inerti da impiegare nella formazione dei drenaggi dovranno essere puliti ed esenti da materiali organici e coesivi, granulometricamente assortiti. Il materiale deve essere posto in opera con i necessari accorgimenti in modo da evitare successivi assestamenti, ponendo il materiale di maggiori dimensioni negli strati inferiori e quello fino negli strati superiori; si potrà intasare il drenaggio già costituito con sabbia lavata qualora il progetto non preveda l'utilizzo del geotessile.

Intorno al tubo drenante di cui al successivo § 19.3.1.2 può essere previsto a progetto l'impiego di sabbia lavata del diametro passante al vaglio UNI 0,075 < 3%.

Gli aggregati, indipendentemente dalla loro origine, dovranno avere una resistenza alla frammentazione secondo la Norma UNI EN 1097-2 pari a LA_{40}.

Gli aggreati impiegati provenienti da fornitura esterna al cantiere dovranno essere qualificati in conformità al Regolamento UE n°305/2011 sui prodotti da costruzione. Ogni fornitura dovrà essere accompagnata dalla marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA della norma europea armonizzata UNI EN 13242 con sistema di attestazione di conformità 2+ e dichiarazione di prestazione DoP.

Per la formazione dei drenaggi possono altresì essere utilizzati i materiali provenienti dal cantiere nei seguenti casi:

- siano disponibili delle terre provenienti dagli scavi interni al cantiere che soddisfino i requisiti ambientali per il riutilizzo e sia altresì comprovata, da certificati di laboratorio, da adeguati studi sperimentali di laboratorio e in vera grandezza, l'idoneità tecnica all'utilizzo previsto;
- siano disponibili prodotti con origine interna al cantiere che inizialmente erano classificati come rifiuti (ad esempio le demolizioni di conglomerati cementizi) ma che grazie ad un processo di recupero, in conformità alla vigente normativa ambientale, abbiano perso detta qualifica di rifiuto e sia altresì comprovata, da certificati di laboratorio, l'idoneità tecnica all'utilizzo previsto.

19.3.1.2 Tubo drenante

I tubi saranno costituiti da materiale plastico non alterabile secondo le indicazioni riportate nelle specifiche tavole di progetto o, se non diversamente precisato, in PVC con classe di rigidità almeno SN 4 e saranno generalmente costituiti da una parte cieca e da una filtrante. I tubi devono essere contrassegnati con il marchio IIP o altri Istituti equivalenti abilitati che ne assicurano la conformità alla norma UNI EN 1401-1.
I fori per il drenaggio possono essere realizzati con fessure longitudinali od ortogonali al tubo oppure essere circolari per una superficie drenate totale compresa tra 5% e 15% rispetto a quella totale esterna del tubo se non diversamente specificato negli elaborati progettuali. I tubi dovranno avere spessori e resistenze tali da garantire la corretta posa in opera nelle diverse condizioni di applicazione e la invariabilità geometrica nel tempo.
Nel caso in cui fosse richiesto il rivestimento del tubo con calza geotessile composta da tessuto non tessuto questa sarà realizzata come da specifiche indicate al successivo § 19.3.1.3.

19.3.1.3 Geotessile non tessuto di contenimento del materiale drenante

Il geotessile di contenimento del materiale drenante dovrà possedere marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA della norma europea armonizzata UNI EN 13251 o 13249 con sistema di attestazione di conformità 2+ e dichiarazione di prestazione DoP.
Lo strato di geotessile dovrà essere del tipo non tessuto, in polipropilene o poliestere con resistenza a trazione non inferiore a 19 kN/m, resistenza al punzonamento statico non inferiore a 3 KN e allungamento a rottura non inferiore a 35% in entrambe le direzioni longitudinale e trasversale, la media della somma degli allungamenti $\{(\text{long.}+\text{trasv.}/2)\}$ maggiore del 50%. Dovrà inoltre soddisfare i criteri di permeabilità e ritenzione: la porometria del geotessile dovrà essere abbastanza aperta da garantire una permeabilità minima di 60 l/m^{2}s e nel contempo sufficientemente chiusa per evitare fenomeni di dilavamento e erosione; tali condizioni si ottengono con una apertura caratteristica dei pori di compresa nell'intervallo 60÷150 µm.
Inoltre, il geotessile dovrà essere conforme alle norme UNI EN 12225 e 12224, relative rispettivamente ai metodi per la determinazione della resistenza microbiologica e degli agenti atmosferici ad alla norma UNI EN ISO 10722 per la simulazione del danneggiamento durante la posa e per la messa in opera in materiali a grana grossa.
Con riferimento alla UNI EN 13249 occorre prevedere le seguenti durabilità minime in esercizio:

- superiore a 5 anni per opere provvisionali;
- superiore a 25 anni per opere definitive

Si riepilogano di seguito i requisiti richiesti che dovranno risultare in fase di qualifica dalla dichiarazione di DoP o da apposita certificazione rilasciata da laboratorio ufficiale:

Resistenze a trazione MD e CD (UNI EN ISO 10319)	$\geq$ 19 kN/m
Allungamento MD e CD (UNI EN ISO 10319)	$\geq$ 35 (MD e CD) $\geq$ 50 (MD+CD)/2
Resistenze a trazione al 10% di allungamento (UNI EN ISO 10319)	$\geq$ 3 kN/m
Punzonamento statico (UNI EN ISO 12236)	$\geq$ 3 kN
Punzonamento dinamico (UNI EN ISO 13433)	$\leq$ 20 mm
Permeabilità ortogonale al piano (UNI EN ISO 11058)	$\geq$ 60 l/m^{2}s
Diametro di filtrazione(UNI EN ISO 12956)	60÷150 µm

Qualora anche da una sola delle prove di cui sopra risultassero valori non rispondenti a quelli stabiliti, la partita sarà rifiutata e l'Appaltatore dovrà allontanarla immediatamente dal cantiere.
Nel suo conferimento al cantiere, i geotessile dovrà essere identificato indelebilmente secondo le specifiche del § 4 della norma UNI EN ISO 10320.

19.3.2 Drenaggi a tergo delle murature

Il drenaggio verticale a tergo delle murature sarà realizzato posando contro la struttura una membrana bugnata ad alta densità del tipo indicata al § 33.3.4 a cui si rimanda per le specifiche di qualifica mentre per le specifiche della posa si rimanda al § 33.6.5.
A tergo della muratura se previsto a progetto o se richiesto ad insindacabile giudizio del Direttore dei Lavori, può essere posato del materiale drenante delle caratteristiche di cui al § 19.3.1.1 racchiuso in un sacco di geotessile di cui al § 19.3.1.3.
Tuttavia al fine di limitare al massimo le forniture di materiale provenienti dall'esterno del cantiere e riutilizzare il più possibile il materiale di risulta degli scavi qualora idoneo dal punto di vista della normativa ambientale, è possibile omettere il materiale di drenaggio e utilizzare contro la membrana bugnata un geocomposto drenante costituito da due filtri esterni in non tessuto termosaldato a filo continuo in poliestere/poliammide con interposta una struttura drenante tridimensionale ad elevato indice di vuoto realizzata in monofilamenti di poliammide. I tre elementi sono uniti tra loro per termosaldatura nei punti di contatto. La capacità drenante in l/(m*s) del geocomposto deve essere opportunamente dimensionata in funzione delle caratteristiche del terreno e dell'altezza della muratura.
Detto geocomposto drenante dovrà possedere marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA della norma europea armonizzata UNI EN 13251 o 13249 con sistema di attestazione di conformità 2+ e dichiarazione di prestazione DoP.
Il geocomposito dovrà avere comunque i seguenti valori caratteristici minimi:
- resistenza a trazione in direzione longitudinale non inferiore a 15 kN/m (norma EN ISO 10319)
- resistenza al punzonamento statico del filtro non inferiore a 1,6 kN (EN ISO 12236)
- diametro di filtrazione O90 non superiore a 160 micron (norma EN ISO 12956)
- valore della permeabilità all'acqua non inferiore a 160 mm/s (EN ISO 11058)

Il geocomposito dovrà avere inoltre possedere una trasmissività a 20 kPa, con gradiente idraulico 1, non inferiore a 3,20 l/(s m) e a 50kPa non inferiore a 1,18 l/(s m) con pressione applicata tra una membrana rigida e una flessibile al fine di simulare il comportamento del geocomposito interrato (norma EN ISO 12958 opzione R/F).

Al piede del drenaggio dovrà essere posto in opera un tubo corrugato e fessurato in PVC del diametro non inferiore a 80 mm per consentire l'allontanamento e lo scarico delle acque drenate. Le caratteristiche del tubo sono riportate al precedente § 19.3.1.2.

19.3.3 Pozzi drenanti

Una cortina di pozzi riempiti con materiale drenante realizzati con la tecnica dei pali trivellati si definisce schermo drenante discontinuo modulare.
La perforazione dei pozzi sarà realizzata con attrezzature a percussione, a rotazione o a benna mordente, con impiego di speciali attrezzature anche fresanti per l'attraversamento di trovanti in roccia. Dovrà essere eseguita a secco, o con impiego di tuboforma per il rivestimento del foro quando ciò sia reso necessario dalla particolare natura dei terreni, essendo assolutamente vietato l'impiego nella perforazione, dei fanghi bentonitici.
Sul fondo dei pozzi viene realizzato un tappo in calcestruzzo delle caratteristiche indicate in progetto, mentre in sommità il pozzo viene sigillato con una soletta in calcestruzzo posata su un geotessile con le caratteristiche indicate al § 19.3.1.3 e superiormente coperta da terreno vegetale.
In alternativa al tappo in calcestruzzo l'impermeabilizzazioni di fondo può essere eseguita anche con il seguente procedimento:

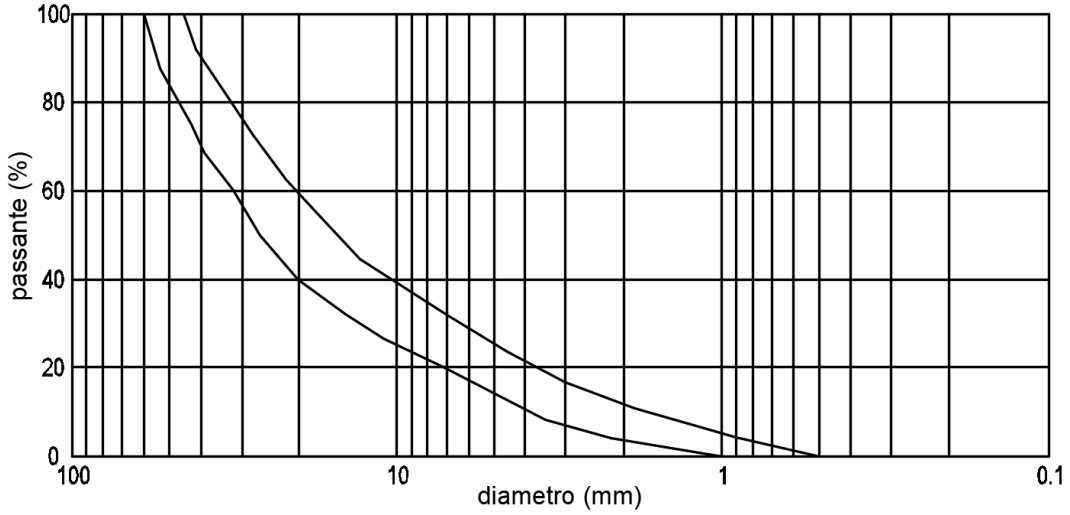
- posa in opera di un fondello in lamiera zincata di adeguato diametro, predisposto per essere assemblato con il tratto di colonna tubolare definitiva costituente il bicchiere di fondo;
- posa in opera del bicchiere di fondo costituito da semivirole con interposizione di nastro plasto-bituminoso nelle giunzioni bullonate;
- riempimento dello spazio anulare, esistente tra la perforazione e la colonna tubolare definitiva, con malta cementizia di adeguata fluidità, iniettata a pressione, mediante un foro posto sul fondello in lamiera, sino ad ottenere il rifluimento sui fori di sfiato predisposti alla sommità del bicchiere.

I pozzi sono poi collegati tra loro da una o più condotte in PVC per lo scarico a gravità delle acque drenate da inserire in perfori eseguiti nelle posizioni individuate nel progetto. L'intercapedine tra tubazione e perforo deve essere sigillata con miscela cementizia.
Le condotte di drenaggio tra pozzi saranno realizzate calando sul fondo dei pozzi stessi una speciale attrezzatura in grado di eseguire la perforazione dall'interno anche in presenza di un rivestimento metallico in acciaio.
Il progetto può prevedere dei tubi microfessurati provvisori per il controllo dell'efficacia del sistema palo-condotte di fondo da posare contemporaneamente al riempimento del palo che è da sigillare al termine dei lavori dopo aver appurato l'efficacia del sistema.
Il progetto, per l'esecuzione delle perforazioni guidate, può prevedere altresì il rivestimento dei pozzi con una lamiera ondulata zincata di diametro inferiore a quello del pozzo (generalmente se il pozzo ha diametro pari a 1500 mm la lamiera presenta diametro pari a 1200 mm) da posare prima dell'esecuzione del tappo di fondo. L'itercapedine tra lamiera ondulata e pozzo sarà sempre riempita con materiale drenante e, in corrispondenza del fondo, intasata con miscela cementizia. Laddove il pozzo non sia ispezionabile tale rivestimento avrà in genere carattere provvisorio e il progetto può prevedere la sua rimozione al termine delle perforazioni per l'alloggiamento delle condotte di fondo in PVC.

Nei casi previsti a progetto verranno realizzati dei pozzi di recapito di opportuno diametro, ispezionabili e dotati di idonea copertura mediante chiusino carrabile costituito da una soletta in c.a. o in carpenteria metallica con inglobata una botola di accesso e di scala in acciaio zincato a caldo, munita di gabbia di protezione e ancorata alla tubazione definitiva.

19.3.3.1 Materiale drenante

Ove non diversamente specificato nel progetto, il materiale drenante di riempimento dei pozzi dovrà avere fuso granulometrico ad andamento regolare del tipo di cui alla figura seguente compreso fra 1÷60 mm con le seguenti caratteristiche:
d_{15} = 2-4 mm (il 15% è la percentuale degli aggregati trattenuti al vaglio di 2-4 mm)
D_{85} = 36-50 mm (l'85% è la percentuale degli aggregati trattenuti al vaglio di 36-50 mm)



Per la qualifica e la tipologia di materiale amesso si rimanda a quanto disciplinato al § 19.3.1.1.

19.3.3.2 Tubazione di collegamento di fondo

La tubazione di fondo dovrà essere realizzata in PVC e, salvo diversa indicazione progettuale, avere diametro esterno di 85/75 mm ed essere ondulata o grecata ad elevato allungamento e flessibilità; dovrà essere forata e rivestita con geotessile nel tratto corrente all'interno dei pozzi drenanti; con giunzioni ad anello asimmetrico in gomma, compreso il bloccaggio mediante cementazione in corrispondenza dei punti di sbocco nei pozzi.
Per la qualifica e la tipologia dei materiale da utilizzare si rimanda ai contenuti del § 9.1.2 di questo capitolato speciale parte II.

19.3.3.3 Attrezzatura di perforazione per la tubazione di fondo e apprestamenti minimi di sicurezza

La perforazione della condotta di fondo dovrà essere di diametro pari a 120-130 mm salvo diversa indicazione progettuale. Per la qualifica del sistema di scavo della tubazione si rimanda ai contenuti del § 1.7 di questo capitolato speciale parte II a cui si aggiunge che devono essere adottati tutti gli opportuni provvedimenti per garantire agli operatori condizioni di massima sicurezza. A tale riguardo si precisa che dovranno essere installati tutti gli apprestamenti e dovranno essere adottate tutte le misure previste nel PSC e nel POS, a cura e spese dell'Appaltatore.

19.3.3.4 Miscela cementizia di riempimento dell'intercapedine tra tubo in PVC e perforo

Per le caratteristiche di detta miscela si rimanda ai contenuti del § 9.1.3.

19.4 Documenti di prequalifica

L'Esecutore deve trasmettere al Direttore dei Lavori per approvazione almeno 15 giorni prima dell'inizio delle attività, la documentazione di seguito elencata.

La mancata presentazione della documentazione preliminare comporta la non autorizzazione all'inizio dell'esecuzione dei lavori, né saranno accettate eventuali lavorazioni svolte prima dell'approvazione delle modalità esecutive.

- La marcatura CE e DoP del materiale drenante e i certificati di laboratorio della granulometria (UNI EN 933-1) e della resistenza alla frammentazione (LA) nel rispetto dei contenuti del § 19.3;
- La marcatura CE e DoP o schede tecniche dei tubi e del geotessile che si intende utilizzare e il Certificato UNI EN ISO 9001 del sistema di gestione qualità certificato da parte di un organismo terzo indipendente;

Per la realizzazione dei pozzi drenanti di cui al § 19.3.3, l'Appaltatore deve presentare:

- un dossier di prequalifica per l'attività di perforazione nelle modalità indicate al § 6.1.3 a cui si rimanda integralmente.
- la descrizione delle attrezzature per la realizzazione della condotta di fondo, la descrizione delle modalità esecutive e di tutti apprestamenti afferenti la sicurezza adottati conformemente ai contenuti del PSC e del POS;
- per le parti in calcestruzzo, di armatura metallica e di carpenteria avente carattere definitivo eventualmente presenti nel progetto occorre qualificare il materiale conformemente ai contenuti degli art. 20, 24 e 25 di questo capitolato speciale a cui si rimanda integralmente. Le parti di carpenteria metallica definitiva dovranno essere inoltre adeguatamente protette contro gli effetti della corrosione secondo quanto previsto all'art. 25 bis di questo capitolato speciale.

I requisiti d'accettazione potranno inoltre essere accertati con ulteriori prove a cura della Direzione Lavori sia in fase di prequalifica presso il fornitore (controllo non vincolante per l'autorizzazione), sia in corso d'opera, prelevando il materiale in sito o ancora presso il fornitore, prima e dopo avere effettuato le lavorazioni.

19.5 Modalità esecutive

19.5.1 Trincee drenanti

Dette trincee sono costituite da un corpo drenante avvolto in tessuto non tessuto direttamente appoggiato sul fondo scavo. I teli dovranno essere congiunti fra loro per sovrapposizione di almeno 30 cm e successiva graffatura. Il materiale dovrà riempire tutta la cavità così da fare aderire il geotessile alle pareti dello scavo. Terminato il riempimento si sovrapporrà il geotessile fuoriuscente in sommità e su di esso sarà eseguita una copertura in terra pressata.
La parte inferiore del geotessile, a contatto con il fondo del drenaggio e per una altezza di almeno 5 cm sui fianchi, dovrà essere impregnata con legante bituminoso del tipo indicato al § 33.3.1.2 in ragione di almeno 2,0 kg/m² allo scopo di impermeabilizzare il fondo. Tale impregnazione potrà essere fatta prima della messa in opera del geotessile o anche dopo la sua sistemazione in opera. Dal cavo dovrà fuoriuscire la quantità di geotessile necessaria ad una doppia sovrapposizione dello stesso sulla sommità di drenaggio (due volte la larghezza del cavo). Qualora previsto a progetto in sostituzione dell'impregnazione del geotessile, la trincea drenante potrà essere posta in opera su platea di conglomerato cementizio con classe di resistenza a compressione ≥ C20/25.

Le dimensioni delle trincee sono riportate negli elaborati progettuali.
In generale, per il consolidamento dei pendii, il cavo deve avere una profondità non inferiore ad 1,0 m e limitata a 6,0 m dal piano campagna ed una sezione che può essere rettangolare o trapezioidale. Il fondo scavo, di norma largo non meno di 1 m, può avere una livelletta unica in caso di pendii poco acclivi (pendenza 10° ÷ 15°). Se però il drenaggio viene realizzato su pendii più acclivi, oppure la lunghezza dell'opera è notevole, è opportuno prevedere una gradonatura del fondo scavo. Il progetto, sul fondo della trincea immediatamente sopra il telo di tessuto non tessuto, può prevedere un tubo finestrato di raccolta delle acque del diametro non inferiore a 180 mm.

Per le trincee poste lateralmente alla pavimentazione stradale, indicativamente lo scavo dovrà avere una larghezza non inferiore a 30 cm e dovrà essere eseguito con idonea fresatrice automatica. Lo scavo dovrà raggiungere una profondità di almeno 30 cm, sotto il piano di posa dello strato di fondazione e comunque dovrà avere un'altezza tale da consentire lo scolo delle acque verso gli scarichi. Il progetto, sul fondo della trincea immediatamente sopra il telo di tessuto non tessuto, può prevedere un tubo finestrato di raccolta delle acque del diametro non inferiore a 100 mm. Sopra al geotessile delle trincee poste laterlmente alla pavimentazione stradale sarà steso uno strato di binder in conglomerato bituminoso di tipo chiuso dello spessore di 7 cm secondo le prescrizioni dell'art. 31 a cui si rimanda. La parte superiore del geotessile delle trincee poste sotto le cunette laterali dovrà essere impregnato con legante bituminoso del tipo indicato al § 33.3.1.2 in ragione di almeno 2,0 kg/m² allo scopo di impermeabilizzare la superficie. Sopra detta impermeabilizzazione sarà realizzata la cunetta avente profilo e finitura conforme ai disegni di Progetto.

Al termine del dreno si realizza un setto impermeabile attraversato da un tubo non finestrato che conduce le acque allo scarico in fossi o impluvi naturali. La parte terminale del tubo di scarico del dreno dovrà essere adeguatamente protetta verso il fosso mediante un gabbione o un muretto a secco.

19.5.2 Pozzi drenanti

I pozzi dovranno essere realizzati con con la tecnica dei pali trivellati dettagliata all'art. 6 di questo capitolato a cui si rimanda.
Terminato lo scavo, all'interno dei pozzi ove vi è la necessità di eseguire le perforazioni per le condotte in PVC, verrà posata una tubazione in lamiera zincata ondulata del diametro indicato a progetto. Le semivirole del tratto inferiore del rivestimento definitivo per un'altezza di circa 2 m saranno unite interponendo nelle giunzioni bullonate un nastro plasto-bituminoso.
La corona anulare risultante tra le pareti del foro e la tubazione di rivestimento definitivo sarà riempita con materiale drenante arido, con granulometria da 3 a 25 mm e, in corrispondenza del fondo, intasata con miscela cementizia..
All'interno della colonna sarà calata sul fondo del pozzo l'attrezzatura per la perforazione della condotta di fondo, costituita da una sonda oleodinamica di ridotte dimensioni, montata all'interno di uno scudo metallico cilindrico, azionata da una centrale idraulica posta all'esterno del pozzo.
La perforazione della condotta di fondo, diam. 120-130 mm, dovrà essere eseguita adottando gli opportuni provvedimenti per garantire agli operatori condizioni di massima sicurezza.
Ad avvenuto completamento della perforazione sarà introdotto nel foro un tubo in PVC ondulato o grecato, ad elevato allungamento e flessibilità, avente diametro di 85/75 mm. Detta tubazione deve essere continua ed attraversare anche il pozzo immersa nel materiale drenante; in questo tratto il tubo dovrà essere forato e rivestito con geotessile per la captazione delle acque drenate.
Si procederà quindi alla sigillatura, con miscela cementizia a presa rapida, dell'intercapedine esistente tra la perforazione e la tubazione della condotta di fondo in corrispondenza dell'entrata e dell'uscita della condotta stessa.
Sarà immesso quindi il materiale drenante arido, con granulometria indicata in progetto, provvedendo, ove richiesto, alla contemporanea estrazione della colonna provvisoria Ø=1200 mm ed eventualmente del tuboforma Ø=1500 mm. Nelle operazioni di estrazione delle colonne si dovrà avere cura che le stesse rimangano sempre immerse nel materiale drenante così da evitare la contaminazione di quest'ultimo.

L'impermeabilizzazione della testa dei pozzi, per un'altezza di circa 1.50 m, sarà costituita da un telo in geotessile con le caratteristiche indicate al § 19.3.1.3, disposto sopra il materiale drenante, da un tappo in calcestruzzo magro dell'altezza di circa 50 cm e da circa 100 cm di terreno vegetale.
Laddove il pozzo debba essere ispezionabile si procederà infine alla copertura mediante chiusino carrabile costituito da una soletta in c.a. con inglobata una botola di accesso in ghisa, conforme a quanto indicato nel presente Capitolato Speciale.
Quando previsto in Progetto, il pozzo sarà dotato di scala in acciaio zincato a caldo, munita di gabbia di protezione e ancorata alla tubazione definitiva.

19.5.2.1 Modalità esecutive della condotta di fondo

Relativamente alle modalità esecutive della condotta di fondo, oltre a quanto già descritto nei § precedenti, si puntualizza quanto segue:
- le cautele per conseguire condizioni di massima sicurezza per gli operatori in fase di perforazione e posa del tubo sono automaticamente connesse alla particolare natura del lavoro;
- la perforazione dovrà avere diametro minimo di 120 mm e dovrà essere eseguita in terreni di qualsiasi natura e consistenza, compresi trovanti, strati lapidei ecc., anche in presenza di acqua in pressione, utilizzando carotieri, tricono od altri utensili adeguati alle necessità;
- la perforazione guidata di precisione, orizzontale o suborizzontale, del diametro di 150 mm eseguita in terreni di qualsiasi natura e consistenza anche in presenza di acqua in pressione; avrà punto di arrivo obbligato, di lunghezza come indicata in Progetto e sarà eseguita con sonda operante dall'esterno del pozzo. In caso di mancato intercettamento del punto di arrivo obbligato, l'Appaltatore è tenuto alla riperforazione;
- la quota di partenza e di arrivo di ogni condotta deve rispettare le previsioni del progetto ed avere pendenza intermedia regolare.

19.6 Controlli e prove

19.6.1 Controlli a carico dell'Appaltatore

L'Appaltatore è tenuto a documentare in apposito report l'esito delle seguenti verifiche da trasmettere alla Direzione Lavori:
- rispondenza dei documenti di trasporto delle forniture all'arrivo in cantiere e la rispondenza delle caratteristiche per lo specifico impiego previsto a progetto e alla qualifica approvata dal Direttore dei Lavori.
- rispondenza delle modalità di posa, inclusi i mezzi d'opera utilizzati, alle specifiche di capitolato e di qualifica;
- per le trincee drenanti la verifica topografica della geometria e delle quote del cavo
- per le perforazioni eseguite per la realizzazione dei pozzi drenanti la data di inizio e di termine, la quota di testa e di fondo unitamente ad una descrizione stratigrafica dei terreni attraversati
- verifica della corretta posa in opera dei materiali in contraddittorio con la Direzione Lavori ai fini dell'autorizzazione al proseguo delle attività
- la quantità del materiale drenante impiegata
- per le perforazioni delle tubazioni di fondo di collegamento dei pozzi drenanti il tracciato topografico con l'indicazione della quota di intradosso del fondo del tubo all'ingresso e all'uscita di ogni pozzo

19.6.2 Prove a carico della Direzione Lavori

I controlli di accettazione in cantiere devono essere eseguiti, in contraddittorio e con l'assistenza dell'Appaltatore, con le seguenti modalità:
a) per il geotessile (ogni 2.000 m² o frazione):

- n. 1 prova per la determinazione della resistenza a trazione in entrambe le direzioni
- n. 1 prova per la determinazione della permeabilità
- n. 1 prova per la determinazione del diametro di filtrazione

b) ogni 10.000 m^3, dovrà essere verificata la rispondenza della granulometria del materiale drenante ai sensi della UNI EN 933-1 e della resistenza alla frammentazione LA ai sensi della norma UNI EN 1097-2 ai criteri di accettazione di cui al § 19.3.1.1.

c) per la membrana bugnata (ogni 2.000 m^2 o frazione) la verifica delle seguenti caratteristiche i cui valori sono riportati al § 33.3.4:
- n. 1 prova per la determinazione della massa areica
- n. 1 prova per la determinazione della resistenza a compressione della superficie
- n. 1 prova per la determinazione della forza a trazione massima
- n. 1 prova per la determinazione dell'allungamento a carico max

Per le prove afferenti il calcestruzzo, l'armatura in c.a. e le carpenterie metalliche si rimanda agli specifici articoli di questo capitolato speciale.

19.7 Tolleranze

Relativamente all'assetto geometrico del pozzo drenante sono ammesse le seguenti tolleranze:
- sulla lunghezza del pozzo: ±10 cm
- deviazione dell'asse del pozzo rispetto all'asse di progetto: ≤ 1%
- deviazione rispetto alla posizione planimetrica di progetto: ≤ 5 cm

Art. 20 CAM - Conglomerati cementizi semplici e armati (normali e precompressi)

20.1 Descrizione

Il conglomerato cementizio o calcestruzzo è un materiale formato mescolando cemento, aggregato grosso e fine ad acqua, con o senza l'introduzione di additivi, aggiunte o fibre, che sviluppa le sue proprietà mediante idratazione (reazione del cemento e dell'eventuali aggiunte reattive di tipo II con l'acqua). Quando l'elemento di calcestruzzo è gettato e stagionato in un luogo diverso dalla sua destinazione finale d'uso è detto *prefabbricato*. Quando l'elemento di calcestruzzo è prodotto in conformità alla norma di prodotto europea pertinente è detto *prodotto prefabbricato* ed è soggetto a marcatura CE e DoP.

20.2 Campo di applicazione

Il presente articolo di capitolato si applica ai conglomerati cementizi normali, pesanti e leggeri per usi strutturali e non, armati e non, per opere in calcestruzzo armato normale e precompresso, anche fibro-rinforzato, per la realizzazione di strutture gettate in opera o prefabbricate sia all'aperto che in sotterraneo di opere di ingegneria civile e di edifici, per sottofondazioni, fondazioni, elevazioni, solette, impalcati.

20.3 Normativa di riferimento

Normative sulla miscela

- UNI EN 206 – Calcestruzzo – Specificazione, prestazione, produzione e conformità
- UNI 11104: 2025 – Calcestruzzo – specificazione, prestazione, produzione e conformità – Specificazioni complementari per l'applicazione della EN 206
- NTC 2018 – Capitolo 11.2 Materiali e prodotti per uso strutturale – Calcestruzzo

Normative sui costituenti

- UNI EN 197-1 - Cemento - Parte 1: Composizione, specificazioni e criteri di conformità per cementi comuni
- UNI EN 197-5 – Cemento – Parte 5: cemento Portland composito CEM II/C-M e cemento composito CEM VI
- UNI EN 197-6 – Cemento – Parte 6: Cemento con materiali da costruzione riciclati
- UNI EN 12620 – Aggregati per calcestruzzo
- UNI 8520-2 – Aggregati per calcestruzzo – istruzioni complementari per l'applicazione della EN 12620 – Parte 2: requisiti
- UNI EN 13055 – Aggregati leggeri
- UNI EN 450-1 – Ceneri volanti per calcestruzzo – Parte 1: definizione, specificazioni e criteri di conformità
- UNI EN 13263-1 – Fumi di silice per calcestruzzo – Parte 1: Definizioni, requisiti e criteri di conformità
- UNI EN 15167-1 – Loppa d'altoforno granulata macinata per calcestruzzo, malta e malta per iniezione – Parte 1: Definizioni, specifiche e criteri di conformità
- UNI EN 934-1 – Additivi per calcestruzzo, malta e malta per iniezione – Parte 1: Requisiti comuni
- EN 934-2 – Additivi per calcestruzzo, malta e malta per iniezione – Parte 2: additivi per calcestruzzo – Definizioni, requisiti, conformità, marcatura ed etichettatura
- UNI EN 14889-1 – Fibre per calcestruzzo – Parte 1: fibre di acciaio – definizioni, specificazioni e conformità

- UNI EN 14889-2 – Fibre per calcestruzzo – Parte 2: fibre polimeriche – definizioni, specificazioni e conformità
- UNI EN 12878 – Pigmenti per la colorazione dei materiali da costruzione a base di cemento e/o calce – requisiti e metodi di prova
- UNI EN 1008 - Acqua d'impasto per il calcestruzzo – Specifiche di campionamento, di prova e di valutazione dell'idoneità dell'acqua, incluse le acque di recupero dei processi dell'industria del calcestruzzo, come acqua d'impasto del calcestruzzo

Normative per l'esecuzione

- UNI EN 13670 - Esecuzione di strutture di calcestruzzo
- Linee Guida per la messa in opera del calcestruzzo strutturale, pubblicate dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (settembre 2017)

Normative per le prove sul calcestruzzo

- UNI EN 12350-1 – Prova sul calcestruzzo fresco - Parte 1: Campionamento e apparecchiatura comune
- UNI EN 12350-2 – Prova sul calcestruzzo fresco - Parte 2: Prova di abbassamento al cono
- UNI EN 12350-3 – Prova sul calcestruzzo fresco - Parte 3: Prova Vébé
- UNI EN 12350-4 – Prova sul calcestruzzo fresco - Parte 4: Indice di compattabilità
- UNI EN 12350-5 – Prova sul calcestruzzo fresco - Parte 5: Prova di spandimento alla tavola a scosse
- UNI EN 12350-6 – Prova sul calcestruzzo fresco - Parte 6: Massa volumica
- UNI EN 12350-7 – Prova sul calcestruzzo fresco - Parte 7: Contenuto d'aria – Metodo per pressione
- UNI EN 12350-8 – Prova sul calcestruzzo fresco - Parte 8: Calcestruzzo autocompattante - Prova di spandimento e del tempo di spandimento
- UNI EN 12350-9 – Prova sul calcestruzzo fresco - Parte 9: Calcestruzzo autocompattante – Prova del tempo di efflusso
- UNI EN 12350-10 – Prova sul calcestruzzo fresco - Parte 10: Calcestruzzo autocompattante – Prova di scorrimento confinato mediante scatola ad L
- UNI EN 12350-11 – Prova sul calcestruzzo fresco - Parte 11: Prova di segregazione mediante setaccio
- UNI EN 12350-12 – Prova sul calcestruzzo fresco - Parte 12: Calcestruzzo autocompattante - Prova di scorrimento confinato mediante anello a J
- UNI 11201 – Prove sul calcestruzzo fresco - Determinazione del contenuto di acqua
- UNI 7122: Prova sul calcestruzzo fresco - Determinazione della quantità d'acqua d'impasto essudata
- UNI 7123: Calcestruzzo. Determinazione dei tempi di inizio e fine presa mediante la misura della resistenza alla penetrazione
- UNI EN 12390-1 – Prova sul calcestruzzo indurito – Parte 1: Forma, dimensioni ed altri requisiti per provini e per casseforme
- UNI EN 12390-2 – Prova sul calcestruzzo indurito – Parte 2: Confezione e stagionatura dei provini per prove di resistenza
- UNI EN 12390-3 – Prova sul calcestruzzo indurito – Parte 3: Resistenza alla compressione dei provini
- UNI EN 12390-4 – Prova sul calcestruzzo indurito – Parte 4: Resistenza alla compressione – Specifiche per macchine di prova

- UNI EN 12390-5 – Prova sul calcestruzzo indurito – Parte 5: Resistenza a flessione dei provini
- UNI EN 12390-6 – Prova sul calcestruzzo indurito – Parte 6: Resistenza a trazione indiretta dei provini
- UNI EN 12390-7 – Prova sul calcestruzzo indurito – Parte 7: Massa volumica del calcestruzzo indurito
- UNI EN 12390-8 – Prova sul calcestruzzo indurito – Parte 8: Profondità di penetrazione dell'acqua sotto pressione
- UNI EN 12390-9 – Prova sul calcestruzzo indurito – Parte 9: Resistenza al gelo-disgelo con sali disgelanti – Scagliatura
- UNI 7087: Calcestruzzo - Determinazione della resistenza al degrado per cicli di gelo e disgelo
- UNI EN 12390-10 – Prova sul calcestruzzo indurito – Parte 10: Determinazione della resistenza alla carbonatazione del calcestruzzo a livelli atmosferici di anidride carbonica
- UNI EN 12390-11 – Prova sul calcestruzzo indurito – Parte 11: Determinazione della resistenza ai cloruri del calcestruzzo, diffusione unidirezionale
- UNI EN 12390-12 – Prova sul calcestruzzo indurito – Parte 12: Determinazione della resistenza alla carbonatazione del calcestruzzo – Metodo della carbonatazione accelerata
- UNI EN 12390-13 – Prova sul calcestruzzo indurito – Parte 13: Determinazione del modulo di elasticità secante in compressione
- UNI EN 12390-14 – Prova sul calcestruzzo indurito – Parte 14: Metodo semi-adiabatico per la determinazione del calore rilasciato dal calcestruzzo durante il suo processo di indurimento
- UNI EN 12390-15 – Prova sul calcestruzzo indurito – Parte 15: Metodo adiabatico per la determinazione del calore rilasciato dal calcestruzzo durante il suo processo di indurimento
- UNI EN 12390-16 – Prova sul calcestruzzo indurito – Parte 16: Determinazione del ritiro del calcestruzzo
- UNI EN 12390-17 – Prova sul calcestruzzo indurito – Parte 17: Determinazione della viscosità (creep) del calcestruzzo in compressione
- UNI EN 12390-18 – Prova sul calcestruzzo indurito – Parte 18: Determinazione del coefficiente di migrazione del cloruro
- UNI 8148 – Agenti espansivi non metallici per impasti cementizi - Determinazione dell'espansione contrastata del calcestruzzo
- UNI EN 14629 – Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Determinazione del contenuto di cloruri nel calcestruzzo indurito
- UNI EN 14651 – Metodo di prova per calcestruzzo con fibre metalliche - Misurazione della resistenza a trazione per flessione [limite di proporzionalità (LOP), resistenza residua]
- UNI EN 14721 – Metodo di prova per calcestruzzo con fibre metalliche - Misurazione del contenuto di fibre nel calcestruzzo fresco e nel calcestruzzo indurito
- UNI EN 14488-1 – Prove su calcestruzzo proiettato - Parte 1: Campionamento sul calcestruzzo fresco e sul calcestruzzo indurito
- UNI EN 14488-2 – Prove su calcestruzzo proiettato - Parte 2: Resistenza alla compressione del calcestruzzo spruzzato giovane
- UNI EN 14488-3 – Prove su calcestruzzo proiettato - Parte 3: Resistenze alla flessione (di primo picco, ultima e residua) di provini prismatici di calcestruzzo rinforzato con fibre
- UNI EN 14488-4 – Prove su calcestruzzo proiettato - Parte 4: Aderenza per trazione diretta sulle carote
- UNI EN 14488-5 – Prove su calcestruzzo proiettato - Parte 5: Determinazione della capacità di assorbimento di energia di piastre di prova rinforzate con fibre

- UNI EN 14488-6 – Prove su calcestruzzo proiettato - Parte 6: Spessore del calcestruzzo su un supporto
- UNI EN 14488-7 – Prove su calcestruzzo proiettato - Parte 7: Contenuto di fibre nel calcestruzzo rinforzato con fibre

Normative per la valutazione della resistenza in opera (resistenza strutturale o in situ)

- UNI EN 13791 – Valutazione della resistenza a compressione in sito nelle strutture e nei componenti prefabbricati di calcestruzzo
- UNI EN 12504-1 - Prove sul calcestruzzo nelle strutture – Parte 1: Carote – Prelievo, esame e prova di compressione
- UNI EN 12504-2 - Prove sul calcestruzzo nelle strutture - Parte 2: Prove non distruttive – Determinazione dell'indice sclerometrico
- UNI EN 12504-3 - Prove sul calcestruzzo nelle strutture - Parte 3: Determinazione della forza di estrazione
- UNI EN 12504-4 - Prove sul calcestruzzo nelle strutture - Parte 4: Determinazione della velocità di propagazione degli impulsi ultrasonici

Normative per le pavimentazioni in calcestruzzo

- UNI EN 13877-1 – Pavimentazioni a base di calcestruzzo - Parte 1: Materiali
- UNI EN 13877-2 – Pavimentazioni a base di calcestruzzo - Parte 2: Requisiti funzionali per pavimentazioni a base di calcestruzzo
- CNR-DT 211/2014 - Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo delle Pavimentazioni di Calcestruzzo

Normative per calcestruzzo proiettato

- UNI EN 14487-1 – Calcestruzzo proiettato - Parte 1: Definizioni, specificazioni e conformità
- UNI EN 14487-2 – Calcestruzzo proiettato - Parte 2: Esecuzione

Normative per calcestruzzo rinforzato con fibre

- CSLLPP-Servizio Tecnico Centrale - Linee guida per l'identificazione, la qulificazione, la certificazione di valutazione tecnica ed il controllo di accettazione dei calcestruzzi fibrorinforzati FRC (Fiber Reinforced Concrete). Aggiornamento 2021
- CSLLPP-Servizio Tecnico Centrale - Linee guida per la progettazione, messa in opera, controllo e collaudo di elementi strutturali in calcestruzzo fibrorinforzato con fibre di acciaio o polimeriche. Edizione maggio 2022
- CNR-DT 204/2006 – Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Strutture di Calcestruzzo Fibrorinforzato (per quanto non in contrasto con le linee guida di cui sopra si può far riferimento anche alla presente istruzione)
- UNI 14889-1 – Fibre per calcestruzzo - Parte 1: Fibre di acciaio - Definizioni, specificazioni e conformità;
- UNI 14889-2 - Fibre per calcestruzzo - Parte 2: Fibre polimeriche - Definizioni, specificazioni e conformità;
- UNI 11039-2 – Calcestruzzo rinforzato con fibre d'acciaio – Parte II: Metodo di prova per determinazione della resistenza di prima fessurazione e degli indici di duttilità

Altre normative di riferimento

- UNI EN 13369 – Regole comuni per prodotti prefabbricati in calcestruzzo

- CNR 10025/98 – Istruzioni per il progetto, l'esecuzione ed il controllo delle strutture prefabbricate in calcestruzzo

20.4 Criteri di accettazione delle miscele

Si rimanda agli elaborati di progetto per le specifiche relative al calcestruzzo che comuque debbono almeno contenere indicazioni relative, alla **classe di resistenza caratteristica del calcestruzzo indurito, alla/e classe/i di esposizione ambientale, alla classe di consistenza del calcestruzzo fresco, al diametro massimo degli aggregati, alla classe di contenuto cloruro** ed eventualmente alla ***classe di impronta carbonica (GWP-XXX-IT) o in alternativa alla classe di riduzione dell'impronta carbonica rispetto ad un calcestruzzo di riferimento (GW_R XX)*** in accordo alla UNI 11104:2025.

20.4.1 Classi di resistenza dei conglomerati cementizi a prestazione garantita

Ai fini del presente Capitolato Speciale di Appalto, vengono presi in considerazione esclusivamente conglomerati cementizi a prestazione garantita. La classe di resistenza, così come definita al § 4.1 delle NTC2018, UNI EN 206 e UNI 11104 viene individuata mediante la simbologia C(X/Y), dove:

- X è la resistenza caratteristica a compressione a 28 giorni di provini cilindrici ($f_{ck,cyl}$), con rapporto altezza/diametro pari a 2;
- Y è la resistenza caratteristica a compressione a 28 giorni di provini cubici di lato 150 mm ($f_{ck,cube}$ o anche R_{ck}).

Si riportano di seguito le classi di resistenza a compressione ammesse per il calcestruzzo di massa volumica normale e pesante:

Classi di resistenza a compressione	Resistenza caratteristica cilindrica minima $f_{ck,cyl}$ [N/mm^2]	Resistenza caratteristica cubica minima $f_{ck,cube}$ [N/mm^2]
C8/10	8	10
C12/15	12	15
C16/20	16	20
C20/25	20	25
C25/30	25	30
C30/37	30	37
C32/40 (UNI 11104)	32	40
C35/45	35	45
C40/50	40	50
C45/55	45	55
C50/60	50	60
C55/67	55	67
C60/75	60	75
C70/85	70	85
C80/95 (*)	80	95
C90/105 (*)	90	105
C100/115 (*)	100	115

(*) per l'uso di questi conglomerati cementizi vedere le prescrizioni di cui al § 20.4.5.4.

20.4.2 Classi di consistenza dei conglomerati cementizi

Per la classe di consistenza si utilizza il parametro dell'abbassamento al cono (slump) i cui valori ammessi sono riportati nella seguente tabella:

Classe	Abbassamento in conformità alla EN 12350-2
S1	Da 10 a 40 mm
S2	Da 50 a 90 mm
S3	Da 100 a 150 mm
S4	Da 160 a 210 mm
S5	≥ 220 mm

20.4.3 Classi di esposizione e valori limite ammessi nei conglomerati cementizi

Per l'individuazione delle azioni ambientali a cui le opere saranno esposte ci si riferisce alle classi di esposizione di cui alla norma EN 206 e UNI 11104:2025. Inoltre, per garantire la vita utile di progetto la stessa norma UNI 11104:2025 introduce dei valori limite per la composizione (in termini di rapporto acqua-cemento massimo, contenuto minimo di cemento e di – eventuale - aria inglobata mediante impiego di additivi aeranti) e per le proprietà del calcestruzzo che sono indicati nella seguente tabella redatta secondo i contenuti dei prospetti 1 e 5.

Classe esposi-zione	Descrizione dell'ambiente	Esempio	Max rapporto a/c	Min. Classe di resistenza	Min. contenuto di cem. (kg/m3) [d]	Contenuto Min. in aria (%)	Altri requisiti
1 Assenza di rischio di corrosione o attacco							
X0	Per calcestruzzo privo di armatura o inserti metallici: tutte le esposizioni eccetto dove c'è gelo e disgelo, o attacco chimico. Calcestruzzi con armatura o inserti metallici: in ambiente molto asciutto.	Interno di edifici con umidità relativa molto bassa. Calcestruzzo non armato all'interno di edifici. Calcestruzzo non armato immerso in suolo non agressivo o in acqua non aggressiva. Calcestruzzo non armato soggetto a cicli di bagnato asciutto ma non soggetto ad abrasione, gelo o attacco chimico.	-	C12/15	-	-	-
2 Corrosione indotta da carbonatazione Nel caso in cui il calcestruzzo contenente armature o inserti metallici sia esposto all'aria e all'umidità, l'esposizione deve essere classificata come segue:							
XC1	Permanentemente secco, acquoso o saturo d'acqua	Calcestruzzo all'interno di edifici con umidità relativa dell'aria bassa. Calcestruzzo permanentemente immerso in acqua o esposto a condensa.	0,60	C25/30	280		
XC2	Prevalentemente acquoso o saturo d'acqua raramente secco	Calcestruzzo a contatto con acqua per lungo tempo. Calcestruzzo di strutture di contenimento acqua. Calcestruzzo di molte fondazioni.	0,60	C25/30	280		
XC3	Moderata o alta umidità dell'aria	Calcestruzzo in esterni con superfici esterne riparate dalla pioggia, o in interni con umidità dell'aria da moderata ad alta.	0,55	C30/37	300		
XC4	Ciclicamente secco e acquoso o saturo d'acqua	Calcestruzzo in esterni con superfici soggette a alternanze di ambiente secco ed acquoso o saturo d'acqua. Calcestruzzo ciclicamente esposto all'acqua in condizioni che non ricadono nella classe XC2.	0,50	C32/40	320		
3 Corrosione indotta da cloruri esclusi quelli provenienti dall'acqua di mare Nel caso in cui il calcestruzzo armato o con inserti metallici sia esposto ad acqua contenente cloruri da origini diverse da quelle dell'acqua di mare, inclusi i sali disgelanti, l'esposizione deve essere classificata come segue:							
XD1	Moderata umidità dell'aria	Calcestruzzo esposto all'azione aggressiva dei cloruri trasportati dall'aria per esempio derivanti dall'uso di sali disgelanti. Per esempio impalcati da ponti, viadotti o barriere stradali.	0,55	C30/37	300		

Classe esposizione	Descrizione dell'ambiente	Esempio	Max rapporto a/c	Min. Classe di resistenza	Min. contenuto di cem. (kg/m3) [d]	Contenuto Min. in aria (%)	Altri requisiti
XD2	Prevalentemente acquoso o saturo d'acqua, raramente secco	Calcestruzzo per impianti di trattamento acque o esposto ad acque contenenti cloruri, per esempio acque industriali o di piscine.	0,50	C32/40	320		
XD3	Ciclicamente secco e acquoso o saturo d'acqua	Calcestruzzo esposto a spruzzi di soluzioni di cloruri, per esempio derivanti da sali disgelanti. Per esempio su impalcati da ponti, viadotti o barriere stradali. Calcestruzzo di opere accessorie stradali (muri di sostegno), parti di ponti, pavimentazioni stradali o industriali o di parcheggi.	0,45	C35/45	350		
4 Corrosione indotta da cloruri presenti nell'acqua di mare Nel caso in cui il calcestruzzo contenente armature o inserti metallici sia esposto ai cloruri dell'acqua di mare o a salsedine trasportata dall'acqua, l'esposizione deve essere classificata come segue:							
XS1	Aria che trasporta salsedine marina in assenza di contatto con l'acqua di mare	Calcestruzzo per strutture in zone costiere.	0,50	C32/40	320		[e]
XS2	Acqua di mare	Calcestruzzo di parti di strutture marine ccmpletamente immerse in acqua.	0,45	C35/45	350		[e]
XS3	Aree soggette a marea, moto ondoso, spruzzi di acqua di mare	Calcestruzzo di opere portuali, per esempio banchine, moli, pontili. Calcestruzzo di opere di difesa marittima, per esempio barriere frangiflutti, dighe foranee.	0,45	C35/45	350		[e]
5 Attacco dei cicli di gelo/disgelo con o senza disgelanti Nel caso in cui il calcestruzzo sia esposto ad un significativo attacco da cicli di gelo/disgelo, purché bagnato, l'esposizione deve essere classificata come segue:							
XF1	Condizioni che determinano una moderata saturazione del calcestruzzo, in assenza di agente disgelante	Calcestruzzo di facciate, colonne o elementi strutturali verticali o inclinati esposti alla pioggia ed ai cicli di gelo/disgelo.	0,55	C30/37	300	[b]	[f]
XF2	Condizioni che determinano una moderata saturazione del calcestruzzo in presenza di agente disgelante	Calcestruzzo di facciate, colonne o elementi strutturali verticali o inclinati esposti alla pioggia ed ai cicli di gelo/disgelo in presenza di sali disgelanti, per esempio opere stradali esposte al gelo in presenza di sali disgelanti trasportati dall'aria.	0,50	C25/30	320	4 [a]	[f]
XF3	Condizioni che determinano una elevata saturazione del calcestruzzo in assenza di agente disgelante	Calcestruzzo di elementi orizzontali in edifici dove possono aver luogo accumuli d'acqua.	0,50	C25/30	320	4 [a]	[f]
XF4	Condizioni che determinano una elevata saturazione del calcestruzzo con presenza di agente antigelo oppure acqua di mare.	Calcestruzzo di elementi orizzontali, di strade o pavimentazioni, esposti al gelo ed ai sali disgelanti oppure esposti al gelo in zone costiere.	0,45	C30/37	340	4 [a]	[f]
6 Attacco chimico [g] Nel caso in cui il calcestruzzo sia esposto all' attacco chimico derivante da acque sotterranee o dal terrreno, l'esposizione deve essere classificata come segue:							
XA1	Ambiente chimico debolmente aggressivo	Calcestruzzo esposto al terreno naturale e all'acqua del terreno secondo il prospetto 2 UNI EN 206	0,55	C30/37	300		[c]
XA2	Ambiente chimico moderataemte aggressivo	Calcestruzzo esposto al terreno naturale e all'acqua del terreno secondo il prospetto 2 UNI EN 206	0,50	C32/40	320		[c]
XA3	Ambiente chimico fortemente aggressivo	Calcestruzzo esposto al terreno naturale e all'acqua del terreno secondo il prospetto 2 UNI EN 206	0,45	C35/45	350		[c]

a) Quando il calcestruzzo non contiene aria inglobata, le sue prestazioni devono essere verificate rispetto ad un calcestruzzo aerato per il quale è provata la resistenza al gelo/disgelo, da determinarsi secondo UNI CEN/TS 12390-9, UNI CEN/TR 151777 o UNI 7087 per la relativa classe di esposizione. Il valore minimo di aria inglobata del 4% può ritenersi adeguato per calcestruzzi specificati con D_{upper} > 20 mm; per D_{upper} inferiori il limite minimo andrà opportunamente aumentato (ad esempio 5% per D_{upper} tra 12 mm e 16 mm).

b) Qualora si ritenga opportuno impiegare calcestruzzo areato anche in classe di esposizione XF1 si adottano le specifiche di composizione prescritte per le classi XF2 e XF3.

c) In caso di esposizione a terreno o acqua del terreno contenente solfati nei limiti del prospetto 2 della UNI EN 206, è richiesto l'impiego di cementi resistenti ai solfati così come definiti dalla UNI EN 197-1 e su base nazionale dalla UNI 9156. La UNI 9156 classifica i cementi resistenti ai solfati in

Classe esposizione	Descrizione dell'ambiente	Esempio	Max rapporto a/c	Min. Classe di resistenza	Min. contenuto di cem. (kg/m3) [d]	Contenuto Min. in aria (%)	Altri requisiti
tre classi: moderata (MRS), alta (ARS) e altissima resistenza solfatica (AARS). La classe di resistenza solfatica dei cementi UNI 9156 deve essere prescelta in relazione alla classe di esposizione del calcestruzzo secondo il criterio: XA1 si suggerisce l'uso di cementi MRS, XA2 e XA3 si richiede l'uso di cementi ARS (AARS può essere suggerito). Per quanto riguarda l'attacco solfatico in acqua di mare (classe di esposizione XA2) devono essere utilizzati cementi MRS (possono essere suggeriti cementi ARS o AARS) qualificati come resistenti all'acqua di mare secondo UNI 9156. In caso di esposizione ad acque dilavanti o aggressive si raccomanda l'uso di cementi resistenti al dilavamento della calce secondo UNI 9606.							
d)	Quando si applica il concetto di valore k il rapporto a/c massimo e il contenuto minimo di cemento sono calcolati in corformità al p.to 5.2.2. della norma UNI 11104						
e)	E' richiesto l'utilizzo di cementi resistenti all'acqua di mare MRS secondo UNI 9156 (possono essere suggeriti ARS o AARS resistenti all'acqua di mare).						
f)	E' richiesto l'utilizzo di aggregati conformi alla UNI EN 12620 di adeguata resistenza al gelo/disgelo.						

Si potrà derogare al contenuto minimo di cemento riportato nel prospetto precedente negli elementi costruttivi ove è alto il rischio di fessurazione derivante dai gradienti termici (strutture massive) e/o dal ritiro idraulico.

Il conglomerato cementizio può essere destinato ad elementi costruttivi che ricadono in più di una classe di esposizione ambientale e, nel caso, occorre il rispetto dei limiti più restrittivi della classe più gravosa: il rapporto a/c più basso e, in assenza di additivo aerante, la classe di resistenza caratteristica maggiore oltre all'eventuale utilizzo di cementi resistenti all'acqua di mare, ai solfati, al dilavamento della calce. Per calcestruzzi destinati ad elementi che ricadono anche in classe XF2, XF3 e XF4 i valori più stringenti risultano: il rapporto a/c più basso, la classe di resistenza a compressione congruente con questo rapporto a/c, ma ridotta per effetto dell'aria inglobata mediante l'additivo aerante. Si precisa, inoltre, che laddove le condizioni ambientali prevedano oltre ai cicli di gelo-disgelo anche il rischio di attacco del calcestruzzo da parte di agenti esterni (anidride carbonica e/o sali disgelanti), sarà necessario specificare anche una o più classi di esposizione per il rischio di corrosione dell'armatura (XC e XD)".

In aggiunta a quanto sopra, è prescritto che il contenuto di cloruri di un calcestruzzo, espresso come percentuale di ioni cloruro apportato dai costituenti del calcestruzzo rispetto alla massa del cemento e delle aggiunte di tipo II, non deve eccedere il valore della classe selezionata indicato nel prospetto 15 della norma EN 206 che si riporta di seguito.

Impiego del calcestruzzo	Classe di contenuto di cloruri [a]	Contenuto max di Cl- in massa di cemento [b] %
Non contenente armatura di acciaio o inserti metallici ad eccezione dei dispositivi di sollevamento resistenti alla corrosione	Cl 1,00	1,00
Contenente armatura di acciaio o altri inserti metallici	Cl 0,20	0,20
	Cl 0,40 [c]	0,40
Contenente armatura di acciaio da precompressione in diretto contatto con il calcestruzzo	Cl 0,10	0,10
	Cl 0,20	0,20
a) Per un impiego specifico del calcestruzzo, la classe da applicare dipende dalle disposizioni vigenti nel luogo di impiego. b) Qualora si utilizzino delle aggiunte di tipo II cui si tenga conto per il dosaggio del cemento, il contenuto di cloruri è espresso come percentuale di ioni cloruro in massa del cemento più la massa totale delle aggiunte di cui si è tenuto conto. c) Classi di diverso contenuto di cloruri possono essere ammesse per calcestruzzo confezionato con cementi CEM III secondo le disposizioni vigenti nel luogo di impiego.		

E' prescritto, infine, che per il calcestruzzo normale, la massa volumica nella condizione dopo essiccamento in stufa deve essere maggiore di 2.000 kg/m^3 e non maggiore di 2.600 kg/m^3. Per il calcestruzzo pesante, la massa volumica nella condizione dopo essiccamento in stufa deve essere

maggiore di 2.600 kg/m^3. Per il calcestruzzo leggero vedere § 20.4.5.2. Qualora la massa volumica sia specificata come valore prestabilito, si applica una tolleranza di ±100 kg/m^3 fermo restando il rispetto del requisito di resistenza caratteristica a compressione.

20.4.4 Altri requisiti di durabilità

20.4.4.1 Gelo e disgelo

I calcestruzzi destinati ad elementi ricadenti in classe di esposizione XF2, XF3 e XF4 in caso di assenza di aria inglobata nelle percentuali minime previste dalla norma UNI EN 206 e UNI 11104:2025, dovranno essere sottoposti a verifica della resistenza a cicli di gelo e disgelo, secondo la prova di cui alla norma UNI CEN/TS 12390-9, UNI CEN/TR 151777 o UNI 7087, così come previsto dal prospetto F.1 della UNI EN 206 e dal prospetto 6 della UNI 11104, dimostrando l'equivalenza prestazionale con un calcestruzzo di rapporto a/c congruente con i valori del prospetto 6 della UNI 11104:2025 e contenente aria inglobata grazie all'aerante.
Si prescrive che la durata minima della stagionatura dei provini dovrà essere in linea con quanto previsto al § 6 della norma UNI 7087.

20.4.4.2 Resistenza alla penetrazione di acqua

Ove il requisito di tenuta idraulica è ritenuto essenziale si prescrive la verifica della resistenza alla penetrazione d'acqua secondo la norma UNI EN 12390-8, da eseguire almeno dopo 28 giorni di maturazione del provino in acqua con l'obiettivo di conseguire uno spessore di calcestruzzo penetrato dall'acqua (valore medio) non superiore a 20 mm. Nel caso tale valore non fosse rispettato sarà onere del Direttore dei Lavori con il supporto del progettista quello di valutare l'affidabilità dei risultati e la eventuale necessità di azioni di mitigazione. Quale utile suggerimento per conseguire l'obiettivo di cui sopra potrà essere opportuno adottare calcestruzzi di classe di resistenza caratteristica non inferiore alla C30/37.

20.4.5 Calcestruzzi per usi speciali

20.4.5.1 Calcestruzzo autocompattante (Self-Compacting Concrete: SCC)

20.4.5.1.1 Descrizione e campo di impiego

Il calcestruzzo autocompattante - SCC - allo stato fresco ha la caratteristica di scorrere molto facilmente ed espellere l'aria in eccesso senza richiedere vibrazione, riempiendo per gravità tutto il volume del getto garantendo nel contempo un'alta resistenza alla segregazione e la pratica assenza di acqua di bleeding.
Risulta, pertanto, particolarmente indicato:

- per ottenere una elevata compattezza (elevata massa volumica e resistenza a compressione in opera) e assenza di vespai, con un'ottimo facciavista,
- per casseforme sottili e di forma complessa,
- per manufatti molto armati,
- per eseguire da una sola estremità getti di lunghezza elevata difficilmente accessibili,
- per ridurre i tempi di scarico e lavorazione.

20.4.5.1.2 Classificazione delle miscele SCC

A seconda della tipologia strutturale a cui il conglomerato è destinato, delle attrezzature di getto in opera (pompa, autobetoniera, benna), procedimento di getto in opera (distanza tra punti di getto) e metodo di finitura occorre definire i requisiti del calcestruzzo autocompattante - SCC - secondo il sistema di classificazione della UNI EN 206 che è caratterizzato da quattro parametri principali:

- Classi di spandimento al cono di Abrams (Slump-Flow):

Classe	Spandimento al cono di Abrams[a)] (EN 12350-8) [mm]

SF1	da 550 a 650
SF2	da 660 a 750
SF3	da 760 a 850
[a)] La classificazione non è applicabile a cls con D_{max} > 40mm	

- Classi di viscosità VS o VF:

Classe	T_{500}[a)] (EN 12350-8) [s]
VS	< 2
VS	≥ 2
[a)] La classificazione non è applicabile a cls con D_{max} > 40mm	
Classe	T_V[b)] (EN 12350-9) [s]
VF1	< 9
VF2	da 9 a 25,0
[b)] La classificazione non è applicabile a cls con D_{max} > 22,4mm	

- Classi di capacità di attraversamento scatola a L o anello a J:

Classe	Rapporto della scatola a L (EN 12350-10)
PL1	≥ 0,80 con 2 barre di armatura
PL2	≥ 0,80 con 3 basse di armatura
Classe	Altezza all'interno e all'esterno dell'anello J[a)] (EN 12350-12) [mm]
PJ1	≤ 10 con 12 barre di armatura
PJ2	≤ 10 con 16 barre di armatura
[a)] La classificazione non è applicabile a cls con D_{max} > 40mm	

- Classi di resistenza alla segregazione al setaccio:

Classe	Porzione segregata[a)] (EN 12350-11) [%]
SR1	≤ 20
SR2	≤ 15
[a)] La classificazione non è applicabile a cls con D_{max} > 40mm	

20.4.5.1.3 Caratteristiche addizionali dei calcestruzzi autocompattanti

Per il calcestruzzo autocompattante dovranno essere rispettate le prescrizioni, oltre a quelle richieste per i calcestruzzi tradizionali, qui di seguito indicate:
- classe di spandimento e classe di viscosità,
- classe di capacità di attraversamento (se il getto interessa strutture armate),
- classe di resistenza alla segregazione al setaccio.

20.4.5.2 Calcestruzzi leggeri

Possono essere utilizzati calcestruzzi leggeri strutturali, per parti di strutture in c.a., e calcestruzzi leggeri non strutturali per riempimenti di cavità e facilmente rimovibili.

20.4.5.2.1 Calcestruzzo leggero strutturale

Ove richiesto in progetto, si farà uso di conglomerato cementizio leggero a struttura chiusa ottenuto sostituendo tutto o in parte l'aggregato ordinario con quello leggero conforme alla norma UNI EN 13055.
Si riportano di seguito le classi di resistenza a compressione per calcestruzzo leggero in accordo alla EN 206:

Classi di resistenza a compressione	Resistenza caratteristica cilindrica minima $f_{ck,cyl}$ [N/mm^2]	Resistenza caratteristica cubica minima[a)] $f_{ck,cube}$ [N/mm^2]
LC8/9	8	9
LC12/13	12	13
LC16/18	16	18

LC20/22	20	22
LC25/28	25	28
LC30/33	30	33
LC35/38	35	38
LC40/44	40	44
LC45/50	45	50
LC50/55	50	55
LC55/60	55	60
LC60/66	60	66
LC70/77	70	77
LC80/88	80	88
a) Possono essere utilizzati anche altri valori della resistenza caratteristica cubica se la relazione fra questi e la resistenza caratteristica cilindrica di riferimento è stabilita e documentata		

I calcestruzzi leggeri sono anche classificati per classi di massa volumica secondo la seguente tabella:

Classe di massa volumica	D1,0	D1,2	D1,4	D1,6	D1,8	D2,0
Intervallo di massa volumica (EN 12390-7) – [kg/m^3]	≥800 e ≤ 1000	>1000 e ≤ 1200	>1200 e ≤ 1400	>1400 e ≤ 1600	> 1600 e ≤1800	>1800 e ≤ 2000

La resistenza verrà controllata con la stessa procedura prevista per il calcestruzzo di massa volumica normale. Anche per questo conglomerato devono essere soddisfatte le prescrizioni relative alla durabilità, in particolare per quanto concerne il rapporto acqua/cemento massimo da non superare.
In caso di pompaggio è necessario prevedere una presaturazione dell'aggregato leggero allo scopo di prevenire l'assorbimento sotto pressione dell'acqua di impasto da parte dell'aggregato leggero stesso.
Per il calcestruzzo leggero dovranno essere rispettate le prescrizioni, oltre a quelle richieste per i calcestruzzi tradizionali, qui di seguito indicate:
- Classe di massa volumica.

20.4.5.2.2 Calcestruzzo leggero non strutturale e cellulare

Questi tipi di conglomerato cementizio, da utilizzare per riempimenti di scavi facilmente rimovibili, strati di coibentazione,ecc. vengono realizzati con l'aggiunta di additivi aeranti e/o di schiume e debbono avere resistenza a compressione indicativamente nell'intervallo 1 a 5 N/mm^2 e una stabilità ed omogeneità del contenuto d'aria, dal punto di miscelazione fino alla posa in opera.
In funzione dei requisiti fissati dal progettista, l'Appaltatore dovrà presentare opportune prove in fase di prequalifica a dimostrazione della idoneità della miscela ai requisiti richiesti.
In alternativa il calcestruzzo leggero non strutturale si può ottenere impiegando, in sostituzione o in aggiunta agli additivi aeranti/schiume, sferette di polistirolo espanso.

20.4.5.3 Calcestruzzo proiettato (CP)

20.4.5.3.1 Descrizione e campo di impiego

Il calcestruzzo proiettato è utilizzato per la riparazione e il consolidamento di strutture, per nuove strutture e per il rinforzo del terreno. Alcuni esempi di utilizzo sono il rivestimento delle pareti di scavo, pendici o di pozzi di fondazione, paratie, rivestimenti di prima fase in galleria.

A seconda dello scopo a cui è destinato, il calcestruzzo proiettato può costituire un supporto permanente o temporaneo e può essere strutturale o non strutturale.
Viene proiettato in opera pnemauticamente con una lancia di proiezione in modo da produrre una massa densa omogenea tramite la propria propulsione.
La miscela di base è costituita da cemento, aggregati ed eventualmente altri costituenti aggiunti nella macchina di proiezione, esclusi i componenti aggiunti in corrispondenza dell'ugello della lancia di proiezione. La miscela di base può essere secca o umida. La miscela di base può contenere: aggiunte, additivi, fibre (in tal caso si definisce calcestruzzo proiettato fibrorinforzato), acqua.
La miscela secca può essere prodotta in fabbrica o in sito.
Il calcestruzzo proiettato dovrà essere confezionato nel rispetto della presente Norma Tecnica e, per gli aspetti non considerati, in conformità alla UNI EN 14487-1.

20.4.5.3.2 Classificazione

I calcestruzzi proiettati sono classificati in funzione dei seguenti parametri:

- resistenza caratteristica a compressione
- consistenza della miscela fresca
- classe di esposizione
- velocità di sviluppo delle prestazioni meccaniche nel calcestruzzo giovane

I calcestruzzi proiettati fibrorinforzati vengono inoltre classificati anche in base ai seguenti parametri:

- classe di resistenza residua
- capacità di assorbimento di energia

20.4.5.3.2.1 Velocità di sviluppo delle prestazioni meccaniche

Se specificato negli elaborati progettuali lo sviluppo della resistenza del calcestruzzo proiettato giovane deve essere associato ad una delle classi di resistenza iniziale J_1, J_2 o J_3 secondo la seguente figura:

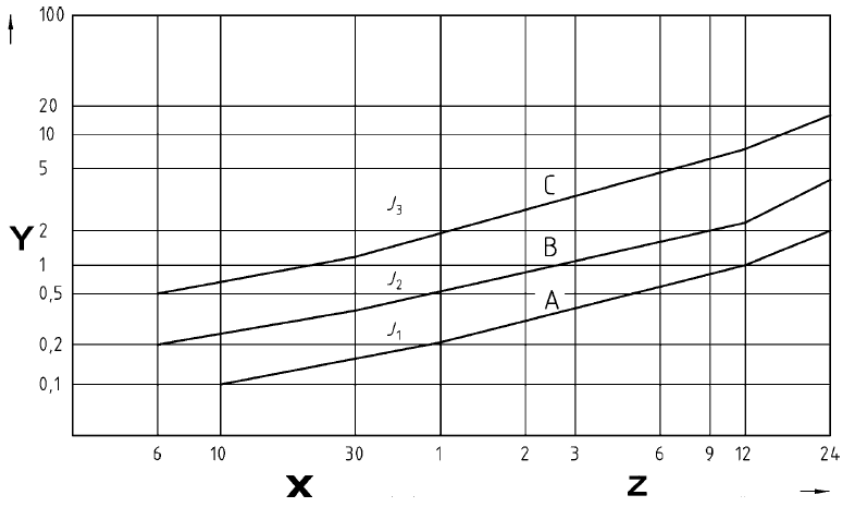


Figura 1 – Classi di resistenza del calcestruzzo proiettato giovane.
X è il tempo in minuti,
Z è il tempo in ore
Y è la resistenza in N/mm^2

L'assegnazione alla classe J1 (normale sviluppo) richiede che almeno 3 valori di resistenza cadano tra le curve A e B, per la classe J2 (rapido sviluppo) tra le curve B e C e al di sopra della curva C

per il calcestruzzo proiettato di classe J3 (rapidissimo sviluppo). Gli intervalli di tempo raccomandati nei quali devono essere valutati i dati di resistenza sono:

- da 0h a 1h
- da 4h a 6h
- da 12h a 24h

20.4.5.3.2.2 Resistenza residua (per calcestruzzi proiettati fibrorinforzati)

La classificazione della resistenza residua consiste nel definire, ove ritenuto necessario dal progettista, un livello di resistenza ad un intervallo di deformazione, secondo il prospetto 2 della UNI EN 14487-1 riportato di seguito per comodità di consultazione, connotato mediante la combinazione dei simboli per l'intervallo di deformazione e livello di resistenza specificati. Per esempio: classe D2S2 significa che la resistenza residua deve risultare almeno pari a 2 MPa nell'intervallo di inflessione compreso tra 0,5 mm e 2 mm.

Definizione delle classi di resistenza residua					
Intervallo di deformazione		Livello di resistenza - resistenza minima [MPa]			
	Inflessione – [mm]	S1	S2	S3	S4
D1	Da 0,5 a 1	1	2	3	4
D2	Da 0,5 a 2				
D3	Da 0,5 a 4				

20.4.5.3.2.3 Capacità di assorbimento di energia (per calcestruzzi proiettati fibrorinforzati)

Laddove ritenuto utile, il progettista può definire una classe di assorbimento di energia in funzione del prospetto 3 della norma UNI EN 14487-1 riportato di seguito per comodità di consultazione.

Definizioni delle classi di assorbimento di energia	
Classe di assorbimento di energia	Assorbimento di energia [J], per inflessione fino a 25 mm
E500	500
E700	700
E1000	1000

20.4.5.3.2.4 Categorie di ispezione

La categoria di ispezione, in una scala da 1 a 3, definisce il tipo e la frequenza dei controlli che devono essere eseguiti in corso di applicazione del calcestruzzo proiettato (vedere § 20.10.6.5) e va definita in funzione del tipo e dell'importanza dell'opera, della vita di servizio richiesta e del grado di rischio connesso.

Salvo specifiche indicazioni riportate negli elaborati progettuali si individuano le seguenti categorie di ispezioni:

Categorie di ispezioni	
Tipo di intervento	Categoria
Rivestimento pareti di scavo temporaneo	1
Rivestimento di berlinesi provvisionali con o senza tiranti, pozzi di fondazione	1
Stabilizzazione pareti di scavo permanente di pendii in assenza di movimento franoso	2
Stabilizzazione pareti di scavo permanente di pendii in presenza di movimento franoso	3
Consolidamento di elementi portanti e non portanti di opere d'arte in c.a. (viadotti, calvalcavia, sottovia, gallerie, ecc.)	3
Pre-rivestimenti di gallerie con funzione portante temporanea	2
Pre-rivestimenti di gallerie con funzione portante in servizio	3

20.4.5.3.3 Requisiti per la composizione del calcestruzzo proiettato

Il calcestruzzo proiettato verrà confezionato con aggregati di appropriata granulometria, ottenuto con almeno due classi granulometriche e di dimensioni non superiori a 12 mm, tali da poter essere proiettati ad umido o a secco con le normali attrezzature da "spritz", salvo diverse prescrizioni progettuali. Il rapporto acqua/cemento non dovrà essere superiore a 0,50.
La miscela dovrà avere una consistenza individuata a progetto e comunque generalmente S4 o S5 con un mantenimento della lavorabilità di almeno 90'. Se la temperatura esterna è maggiore di 25°C è ammessa, dopo un'ora dalla miscelazione, una riduzione dello slump non superiore al 15%.
Il calcestruzzo verrà additivato con acceleranti di presa alcali-free in misura mediamente dell'8% ma sempre minore del 10% rispetto alla massa del cemento e dell'eventuali aggiunte di tipo II.
Detti acceleranti potranno essere costituiti da una soluzione acquosa o in sospensione liquida e dovranno avere:

- un contenuto di alcali (Na2O equivalente) < 1% in peso
- un tenore di cloruro (Cl^-) < 0,1%
- una densità di $\geq$ 1,36 kg/lt
- non dovranno essere caustici e dovranno avere un pH di 3 ± 1

Ai fini della coesione del calcestruzzo, della durabilità dei manufatti e per evitare eventuali fenomeni di dilavamento, ove necessario il calcestruzzo proiettato verrà additivato con fumo di silice in misura del 5-8% sulla massa del cemento.
Per le opere provvisionali all'aperto, quando non espressamente richiesta la prestazionalità in termini di impermeabilità, si ritiene possibile il ricorso ad acceleranti di presa a base di silicati di sodio di impasti privi di fumo di silice, purché vengano rispettate le seguenti prescrizioni:

- La durata dell'intervento di applicazione di cls proiettato abbia una durata inferiore a 2 anni (limite normativamente fissato per considerare un'opera a carattere "provvisionale");
- Sia comunque garantita la coesione del cls proiettato, l'assenza di fenomeni di dilavamento, la qualità e la lavorabilità in genere del prodotto.

È opportuno che il progettista inserisca nel progetto i seguenti parametri (oltre a quelli abituali):
-Le classi di resistenza iniziale J
-Resistenza residua (per i calcestruzzi proiettati fibrorinforzati)
-Capacità di assorbimento di energia (per i calcestruzzi proiettati fibrorinforzati).

20.4.5.4 Calcestruzzo con classe di resistenza superiore a C45/55

Per calcestruzzi con classi di resistenza superiori a C45/55, la resistenza caratteristica e tutte le grandezze elastiche e fisiche che – a discrezione del progettista e/o della DL - hanno influenza sulla resistenza e durabilità del conglomerato devono essere accertate prima dell'inizio dei lavori tramite apposita qualifica presso l'impianto di produzione nelle modalità definite al § 20.8.2 e la produzione deve seguire specifiche procedure per il controllo di qualità.
I calcestruzzi con classi di resistenza superiore a C70/85 potranno essere utilizzati soltanto se il fabbricante è in possesso del "Certificato di Valutazione Tecnica" rilasciato dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici come indicato al § 4.1 delle NTC2018 che rinvia al caso C) del § 11.1. Tale certificazione deve essere integrata al dossier di prequalifica di cui al § 20.8.1.

20.4.5.5 Getti massivi e/o di lunghezza elevata

In presenza di:

- strutture di fondazione (platea, plinto o trave) con spessore superiore a 150 cm (o 120 cm ove il progettista ne dovesse ravvisare la necessità),

- strutture di elevazione (pilastri, pile, muri o setti verticali, solettoni), elementi di rivestimento delle gallerie e muri di sostegno con spessore o diametro superiore a 80 cm,

l'Appaltatore deve prendere ogni possibile precauzione per prevenire fessurazioni sia dovute alle tensioni di trazione in fase di riscaldamento o di raffreddamento del getto (che si manifestano nei primi giorni/settimane), sia attribuibili al ritiro igrometrico.

I fenomeni suddetti si possono controllare riducendo la quantità di calore sviluppato in fase di maturazione del calcestruzzo scegliendo un cemento a basso calore di idratazione (tipo LH secondo la norma UNI EN 197-1), ottimizzando la riduzione d'acqua mediante additivi, adottando elevati valori del diametro massimo degli aggregati, provvedimenti questi tesi alla riduzione del dosaggio di cemento (che può risultare anche inferiore al valore minimo previsto dalla classe di esposizione ambientale in accordo alla UNI 11104:2025).

L'Appaltatore dovrà assicurarsi che, con la miscela di calcestruzzo prevista, la quantità di calore sviluppato non determini un incremento di temperatura in condizioni adiabatiche (ΔT_{max}) del calcestruzzo superiore a 35°C. Inoltre, la temperatura iniziale del calcestruzzo all'inizio delle operazioni di getto non dovrà essere superiore a 35°C in modo che la temperatura massima raggiunta nel "cuore" della struttura risulti inferiore a 70°C.

L'incremento di temperatura in condizioni adiabatiche (ΔT_{max}) del calcestruzzo è possibile calcolarlo mediante la seguente formula:

$$\Delta T_{max} = \frac{c \cdot q_t}{c_{sp} \cdot m_v}$$

Dove:

- c è il dosaggio di cemento
- q_t è il calore di idratazione unitario del cemento
- m_v è la massa volumica del calcestuzzo
- c_{sp} è il calore specifico del calcestruzzo che – salvo casi in cui si necessita di calcolazioni particolamente accurate – può essere assunto pari a 1,1 kJ/(kg·°C)

Per i getti di lunghezza elevata il progettista dovrà comunque prevedere un congruo numero di giunti di contrazione allo scopo di evitare la formazione di fessure casuali ad andamento caotico.

20.4.5.6 Pavimentazioni stradali in calcestruzzo

Il CSLLPP, con parere n. 0007221 del 08.08.2019, ha chiarito che, quando le pavimentazioni in calcestruzzo svolgono unicamente la funzione di finitura dell'opera quale ad esempio il completamento di opere stradali e:

- non assume una funzione portante atta a sostenere, oltre al proprio peso, anche carichi gravanti come ad esempio macchinari fissi, scaffalature ecc;
- non sono connesse a strutture di fondazione ed elevazioni adiacenti;

non sono soggette alle NTC2018 e quindi non vi è l'obbligo di un processo di qualifica, controllo, collaudo statico nemmeno qualora dette pavimentazioni siano costituite con calcestruzzo fibrorinforzato.
Tuttavia a maggiore garanzia della qualità e durabilità dell'opera restano valide le prescrizioni contenute nel presente articolo di capitolato.

20.4.5.6.1 Calcestruzzo drenante per pavimentazioni stradali

20.4.5.6.1.1 Descrizione

Il calcestruzzo drenante, inteso come strato di usura superficiale di pavimentazioni ad uso carrabile e pedonale, è una miscela cementizia avente determinate proprietà drenanti e di portanza in grado di offrire la necessaria resistenza ai carichi statici e dinamici previsti e costituita da cemento, aggregati (prevalentemente grossi), additivi e acqua.
Se previsto nelle tavole di progetto la pavimentazione in calcestruzzo drenante può essere colorata per l'intero spessore (pigmentazione in massa con ossidi metallici). Non è ammessa la colorazione della sola superficie.

20.4.5.6.1.2 Campo di impiego

Il campo di applicazione per cui è possibile utilizzare il calcestruzzo drenante come strato di usura superficiale è costituito da:

- piazzali di sosta anche per mezzi pesanti
- piste ciclopedonali
- aree pedonali.
- strade locali di tipo F

Non è consentito l'utilizzo di calcestruzzo drenante per le viabilità così come definite dal "Nuovo Codice della strada" all'art. 2 comma 2, di tipo: A - Autostrade; B - Strade extraurbane principali; C - Strade extraurbane secondarie; D - Strade urbane di scorrimento ed E - Strade urbane di quartiere.

20.4.5.6.1.3 Caratteristiche specifiche della miscela e dei componenti

Le caratteristiche del calcestruzzo drenanti sono le seguenti:

Descrizione	**Limite di accettabilità**
Miscela	
Resistenza caratteristica cubica minima R_{ck} [N/mm^2]	Compreso tra 15 e 30 N/mm^2 se non diversamente specificato negli elaborati progettuali
Capacità di drenaggio (UN EN 12697 – 40)	Compreso tra 200 e 400 mm/min se non diversamente specificato negli elaborati progettuali
Percentuale di vuoti	tra 15 e 25 %
Massa volumica fresco (EN 206-1)	tra 1.700 e 2.100 kg/mc
Classe di consistenza fresco (EN 206-1)	Terra umida/plastica - classe di consistenza di riferimento S1/S2
Cemento	
Dosaggio	compreso indicativamente tra 250 e 330 kg/mc a seconda delle caratteristiche prestazionali richieste (resistenze meccaniche, capacità di drenaggio)
Aggregati	
Resistenza gelo/disgelo aggregato grosso tra 4 e 63 mm (UNI EN 1367-1)	≤ 2% - F_2 (UNI 8520-2 prospetto 5)
Resistenza al gelo disgelo in presenza di sale aggregato grosso tra 4 e 63 mm (UNI EN 1367-6)	≤ 2% - F_{NaCl-2} (UNI 8520-2 prospetto 5)
Resistenza all'abrasione superficiale (UNI EN 12620 prospetto 16)	≤ 20 – AAV_{20} (UNI 8520-2 prospetto 5 valore dichiarato dal progettista)

Descrizione	Limite di accettabilità
Resistenza all'usura aggregato grosso (UNI EN 1097-1)	≤ 25 - $M_{DE}25$ (UNI 8520-2 prospetto 5 valore dichiarato dal progettista)
Resistenza alla frammentazione (UNI 1097-2 p.to 5)	≤ 30 - LA_{30} (UNI EN 12620 appendice E dichiarato dal progettista)

20.4.5.6.2 Calcestruzzo per corsie di stazione

20.4.5.6.2.1 Descrizione

Le piste di esazione dei caselli autostradali in corrispondenza delle isole, devono essere pavimentate in calcestruzzo il quale, salvo indicazioni diverse riportate negli elaborati progettuali, deve avere una classe di resistenza pari a C 30/37 e classe di esposizione XF4, dello spessore indicato a progetto, steso in unico strato ed armato con rete elettrosaldata posta a 5 cm dal piano di posa del conglomerato; in corrispondenza delle pedane e pedanine la rete dovrà essere interrotta come indicato nei disegni esecutivi; tra la pavimentazione ed il sottofondo dovrà essere steso uno strato di sconnessione in cartonfeltro bitumato del peso di 500 g/m² posato con sovrapposizioni di 10 cm.
La finitura superficiale sarà completata usando scope a setole rigide per conferire alla pavimentazione la necessaria rugosità in senso trasversale a quello di marcia.
Le finiture superficiali antiusura del calcestruzzo di pavimentazione costituite con miscela di quarzo e cemento non garantiscono una adeguata resistenza e durabilità ai cicli di gelo e disgelo e agli agenti antigelo e pertanto non devono essere utilizzate.
Devono essere realizzati giunti trasversali di contrazione, mediante i quali si ha la suddivisione in lastre della pavimentazione, che saranno del tipo senza barre di trasferimento e saranno realizzati come giunti segati e tagliati ad interasse di 4÷5 m, in posizione tale da non nuocere alle spire magnetiche e comunque secondo le disposizioni della Direzione Lavori. Per ricavare questi giunti dovranno essere impiegate mole diamantate.

L'operazione di taglio sarà iniziata da 6 a 24 h dopo il getto, secondo le condizioni climatiche (temperatura, ventilazione, stato igrometrico dell'aria): non si dovrà iniziare il taglio se non quando l'indurimento del calcestruzzo sia sufficiente ad evitare ogni possibile deterioramento e, nello stesso tempo, quanto prima onde evitare la formazione di fessure di ritiro. I giunti avranno una apertura di circa 3÷4 mm ed una profondità massima di 10 cm. Appena segati essi dovranno essere completamente puliti mediante aria compressa. La sigillatura definitiva può essere rimandata a più tardi, ma in tal caso è necessaria una sigillatura provvisoria mediante l'introduzione nella fessura di una corda o di un nastro di carta o d'altro materiale, onde evitare che si introducano sassi o corpi estranei. Questo materiale sarà successivamente rimosso per procedere alla sigillatura definitiva, per la quale dovranno essere impiegati prodotti approvati dalla Direzione Lavori (in particolare mastici elastomerici).
Opportune tecniche dovranno essere seguite per la posa in opera delle spire magnetiche contatraffico da inserire nel getto in modo che quest'ultime rimangano nella posizione prevista durante le operazioni di stesa e sistemazione del calcestruzzo. Da parte della Direzione Lavori potrà essere richiesto qualsiasi accorgimento adatto a tal fine. In ogni caso sarà cura dell'Appaltatore evitare che alcun oggetto metallico resti racchiuso nel getto in prossimità delle spire.

20.4.5.6.2.2 Caratteristiche specifiche della miscela e dei componenti

Le caratteristiche del calcestruzzo per corsie di stazione sono le seguenti:

Descrizione requisito	Limite di accettabilità
Miscela	

Descrizione requisito	Limite di accettabilità
Resistenza caratteristica a compressione	C30/37
Classe di esposizione ai cicli di gelo e disgelo (EN 206-1)	XF4
Classe di consistenza fresco (EN 206-1)	S4 – S5
Aggregati	
Resistenza gelo/disgelo (UNI EN 12620 prospetto 18)	≤ 1% - F_1 (UNI 8520-2 prospetto 5)
Degradabilità al solfato di magnesio (UNI EN 12620 prospetto 19)	≤ 18% - MS_{18} (UNI 8520-2 prospetto 5)
Resistenza all'abrasione superficiale (UNI EN 12620 prospetto 16)	≤ 15 – AAV_{15} (UNI 8520-2 prospetto 5 valore dichiarato dal progettista)
Resistenza all'usura aggregato grosso (UNI EN 12620 prospetto 14)	≤ 15 - $M_{DE}15$ (UNI 8520-2 prospetto 5 valore dichiarato dal progettista)
Resistenza alla frammentazione (UNI EN 12620 prospetto 12)	≤ 25 - LA_{25} (UNI EN 12620 appendice E valore dichiarato dal progettista)

20.4.5.7 Calcestruzzi a ritiro compensato

Per il confezionamento di calcestruzzi a ritiro compensato si potrà fare uso di agenti espansivi non metallici, per lo più a base di ossido di calcio, conformi alla UNI 8146. I calcestruzzi a ritiro compensato – oltre a rispettare tutte le specifiche dei tradizionali calcestruzzi non espansivi (classe di esposizione, classe di resistenza caratteristica, rapporto a/c max, dosaggio di cemento minimo, classe di consistenza, classe di contenuto di cloruro, diametro massimo dell'aggregato, eventuale classe di impronta carbonica o classe di riduzione dell'impronta carbonica) – debbono possedere i seguenti requisiti:

- i tempi di inizio e fine presa del calcestruzzo contenente l'agente espansivo, misurati secondo UNI 7123, non devono variare di più di ±30 min rispetto a quelli del calcestruzzo non additivato di pari classe di consistenza;
- l'espansione contrastata secondo UNI 8148:
  - con metodo A (a 20°C in acqua satura di calce) dovrà essere a 7 giorni > 200 μm/m; a 28 giorni non inferiore di quella registrata a 7 giorni;
  - con metodo B (a 20°C nei primi 2 gg a UR >95% e con protezione di pellicola plastica, poi all'aria con UR 60±5%), la norma non prevede dei limiti, che andranno concordati con il produttore in fase di prequalifica e in base alle specifiche esigenze di progetto.

La fornitura degli espansivi dovrà essere accompagnata da una certificazione del produttore, che attesti la conformità del prodotto ai requisiti sopraelencati, e dalla scheda tecnica indicante le caratteristiche chimico-fisiche e prestazionali dei prodotti.
In fase di prequalifica andrà anche verificata l'efficacia dell'agente espansivo in eventuale combinazione con un agente antiritiro (Shrinkage Reducing Admixture: SRA) ed alle temperature critiche ipotizzate nel periodo di getto secondo il metodo della UNI 8148.
È noto, infatti, che con temperature calde (sopra i 30°C) l'efficacia dell'espansivo viene ridotta, a causa della rapida reazione dello stesso quando il calcestruzzo è ancora in fase plastica mentre, viceversa, con climi molto freddi il ritardo nell'indurimento non permette di sfruttare a pieno il contrasto delle armature. In questi casi, andranno quindi ottimizzati sia il dosaggio dell'agente espansivo sia quello degli additivi regolatore di presa, nonché l'eventuale prolungamento della stagionatura umida del calcestruzzo.
Si precisa che la UNI 8148 non prevede dei limiti di accettazione, che andranno altresì definiti in base alle specifiche esigenze di progetto.

20.4.5.8 Calcestruzzo a ridotta emissione di CO_2 – Classe GWP del calcestruzzo

Laddove il progetto o i documenti di gara prevedano l'utilizzo di calcestruzzo con ridotta impronta carbonica, occorre rispettare i requisiti definiti in detti documenti e le prescrizioni specifiche contenute in questo articolo di capitolato.
Per diminuire l'impatto ambientale causato dal mondo delle costruzioni è necessario agire sia sul tipo di cemento, privilegiando quelli a basso tenore di clinker, che sul dosaggio (riducendolo il più possibile sia pur nel rispetto dei valori minimi previsti dalle classi di esposizione ambientale). L'impatto ambientale del calcestruzzo deve basarsi sull'analisi del Ciclo di Vita (Life Cycle Assessment, LCA conforme alle norme UNI EN ISO 14025:2010/UNI EN ISO 14040:2021 o alla UNI EN ISO 14067:2018) del conglomerato cementizio "from cradle to gate", in accordo al quale debbono essere identificate tutte le informazioni rilevanti a partire dalla fase di produzione degli ingredienti (fase A1), al trasporto degli stessi presso la centrale di betonaggio (fase A2), al confezionamento del conglomerato nell'impianto di produzione del calcestruzzo (fase A3). Il produttore in fase di fornitura del calcestruzzo fornisce l'attestazione da parte di un organismo di certificazione accreditato della veridicità dello studio LCA e della successiva Dichiarazione Ambientale di Prodotto (Environmental Production Declaration: EPD).
Nella EPD è contenuta una serie di dati quali il potenziale riscaldamento globale delle acque e del suolo, il potenziale di eutrofizzazione, il potenziale di esaurimento abiotico delle risorse fossili e non fossili etc. Data la complessità delle voci riportate nell'EPD, nell'ottica di favorire l'impiego di conglomerati più sostenibili dal punto di vista ambientale – in accordo alla norma UNI 11104:2025 – viene introdotta la classe di impronta carbonica GWP XXX-IT che – a parità di classe di resistenza caratteristica, di classe/i di esposizione ambientale, di classe di consistenza e diametro massimo dell'aggregato – identifichi il carbon footprint del calcestruzzo in base alla sola emissione di CO_2 correlata agli ingredienti utilizzati nella sua produzione (fase A1), al loro trasporto nell'impianto di produzione (fase A2) e alla fase di mescolamento (fase A3) degli stessi per la produzione del conglomerato (from cradle to gate). Per l'attestazione della classe di impronta carbonica del calcestruzzo il produttore può avvalersi – in alternativa alla EPD - del CO_2 Module del Concrete Sustainability Council.
Il calcestruzzo, quindi, se richiesto, verrà identificato in base alla seguente voce generale di capitolato "Calcestruzzo a prestazione garantita in accordo alla UNI EN 206-1 e UNI 11104:2025, avente classe di resistenza C(x/y), durevole nelle classi di esposizione …, a consistenza …, D_{max} …, Cl… ed eventualmente classe GWP-XXX-IT" suddivise in accordo alla tabella che segue desunta dal prospetto D.1 della norma UNI 11104:2025.

Prospetto D. 1- Classi GWP del calcestruzzo

Classi GWP	GWPc [kg di CO_2 per m^3]
GWP-50-IT	≤ 50
GWP-100-IT	≤ 100
GWP-150-IT	≤ 150
GWP-200-IT	≤ 200
GWP-250-IT	≤ 250
GWP-300-IT	≤ 300
GWP-350-IT	≤ 350
GWP-400-IT	≤ 400
GWP-450-IT	≤ 450
GWP-500-IT	≤ 500
GWP-M-IT	>500

In accordo con quanto riportato nella norma UNI 11104:2025, la committenza o il progettista o la D.L. potrà anche indicare delle classi di GWP intermedie (esempio GWP-175-IT ($kgCO_2/m^3$ < 175). La norma UNI 11104:2025 ha fissato (Prospetto D.2) per ogni classe di resistenza a compressione un valore di riferimento per il GWP (cradle to gate: A1, A2 e A3). La sostenibilità ambientale di un conglomerato cementizio può essere eventualmente valutata anche in base alla riduzione dell'impronta carbonica rispetto al conglomerato di riferimento (Prospetti D.2 e D.3).

Prospetto D. 2 – Valori calcolati di $GWP_{ref}^{Cxx/yy}$

Tipo di calcestruzzo Classi di resistenza Cxx/yy	$GWP_{ref}^{Cxx/yy}$ [$kgCO_2/m^3$]
C8/10	230
C12/15	260
C16/20	280
C20/25	300
C25/30	330
C30/37 (C25/30 con aerante)	360
C32/40	380
C35/45 (C30/37 con aerante)	410
C40/50	440
C45/55	460
C50/60	500

Prospetto D. 3 - Classi di riduzione del GWP del calcestruzzo rispetto al cemento di riferimento

Classi ri riduzione GWP	X [%]
GW_R0	X < 10
GW_R10	10 ≤ X < 20
GW_R20	20 ≤ X < 30
GW_R30	30 ≤ X < 40
GW_R40	40 ≤ X < 50
GW_R50	50 ≤ X < 60
GW_R60	60 ≤ X < 70
GW_R70	70 ≤ X < 80
GW_R80	80 ≤ X < 90
GW_R90	90 ≤ X ≤ 100

Tenendo presente quanto sopra riportato, nella Tabella 1 per ogni tipo di calcestruzzo vengono indicati dei possibili requisiti opzionali in termini di GWP per i conglomerati da utilizzare nell'ambito dei lavori.

Tabella 1 - Tipi di calcestruzzo, classi di esposizione ambientale, classe di resistenza caratteristica a compressione, valore di riferimento del GWP, valore premiante di GWP, classe opzionale di GWP massima ammessa premiante

Tipo	Classe esposizione	Cxx/yy minima richiesta	Valore di riferimento del GWP norma UNI 11104 [cradle to gate $kgCO_2/m^3$]	Valore premiante di GWP [cradle to gate $kgCO_2/m^3$]	Classe opzionale di GWP massima ammessa premiante

I	XC1, XC2	C25/30	330	299	GWP-300-IT
II	XC2, XA1	C30/37	360	324	GWP-325-IT
III	XC2, XA2	C32/40	380	339	GWP-340-IT
IV	XC2, XA3	C35/45	410	369	GWP-370-IT
V	XC4, XS1, XF1, XD1	C32/40	380	339	GWP-340-IT
VI	XC4, XF4, XD3	C30/37 + aerante	410	369	GWP-370-IT
VII	XC4, XA1, XA2, XD1, XF1	C32/40	380	339	GWP-340-IT

20.4.5.9 Contenuto di materiale riciclato, recuperato e sottoprodotti

L'articolo 57 comma 2 del decreto legislativo 31 marzo 2023, n.36, prevede l'obbligo di applicazione, per l'intero valore dell'importo della gara, delle "specifiche tecniche" e delle "clausole contrattuali" contenute nei criteri ambientali minimi (CAM) previsti dal DM 23 giugno 2022, n. 256, GURI n.183 del 8 agosto 2022 – in vigore dal 4 dicembre 2022 (Affidamento di servizi di progettazione e affidamento di lavori per interventi edilizi). In accordo con i CAM, i calcestruzzi preconfezionati debbono contenere materie riciclate, ovvero recuperate, ovvero di sottoprodotti, in misura almeno pari al 5% sul peso del prodotto. Tale percentuale è calcolata come rapporto tra il peso secco delle materie riciclate, recuperate e dei sottoprodotti e il peso del calcestruzzo al netto dell'acqua (acqua efficace e acqua di assorbimento). Si potrà operare in deroga ai requisiti CAM qualora il Progettista motivi tecnicamente che il riciclato in misura inferiore al 5% della massa degli ingredienti secchi è condizione *sine qua non* per garantire il rispetto dei requisiti reologici, meccanici e di durabilità del calcestruzzo.

20.4.5.10 Tipi di calcestruzzo – classi di resistenza, classi di esposizione, classe di consistenza, classe GWP e Classe CAM

Nella tabella che segue vengono riassunte tutte le prescrizioni per i diversi tipi di calcestruzzo: classe di esposizione, massimo rapporto a/c, classe di resistenza caratteristica minima, dosaggio minimo di cemento, aria inglobata e aggregati resistenti al gelo, classe di consistenza, classe di GWP massima ammessa premiante, eventuale contenuto minimo CAM di materiale riciclato (recuperato o sottoprodotti).

Tabella 2 - Tipi di calcestruzzo, classi di esposizione ambientale, rapporto a/c max, classe di resistenza caratteristica a compressione, dosaggio minimo di cemento, aerante, aggregati resistenti al gelo, classe di consistenza, classe di GWP massima ammessa premiante e eventuale classe CAM

Tipo	Classe esposizione	a/c_{max}	Cxx/yy minima richiesta	Dosaggio minimo di cemento [kg/m^3]	Aria inglobata (additivo aerante) e aggregati resistenti al gelo	Classe di consistenza al getto	Classe opzionale di GWP massima ammessa *Premiante* (contenuto minimo CAM di materiale riciclato)
I	XC1, XC2	0,60	C25/30	280	NO	S4,S5	GWP-300-IT (5%)
II	XC2, XA1	0,55	C30/37	300	NO	S4,S5	GWP-325-IT (5%)
III	XC2, XA2	0,50	C32/40	320	NO	S4,S5	GWP-340-IT (5%)
IV	XC2,XA3	0,45	C35/45	350	NO	S4,S5	GWP-370-IT

							(5%)
V	XC4, XS1, XF1, XD1	0,50	C32/40	320	NO Aggregati resistenti al gelo solo per XF1	S4,S5	GWP-340-IT (5%)
VI	XC4, XF4, XD3	0,45	C30/37 + aerante	350	Aerante e aggregati resistenti al gelo	S4,S5	GWP-370-IT (5%)
VII	XC4, XA1, XA2, XD1, XF1	0,50	C32/40	320	NO Aggregati resistenti al gelo solo per XF1	S4,S5	GWP-340-IT (5%)

Qualora le classi XA1/XA2/XA3 discendano dalla presenza di CO_2 libera (nelle acque) o di solfato (nei terreni e/o nelle acque) si rimanda alle specifiche del tipo di cemento da utilizzare descritte nel paragrafo 20.4.3

20.4.5.11 Calcestruzzo fibrorinforzato con fibre di acciaio o polimeriche

20.4.5.11.1 Descrizione e campo di impiego

Il calcestruzzo fibrorinforzato (Fiber Reinforced Concrete: FRC) è un materiale composito caratterizzato da una matrice cementizia e da fibre corte discontinue. La matrice è costituita da calcestruzzi o da malte, normali o ad alte prestazioni; le fibre possono essere di acciaio, di materiale polimerico, di vetro, di carbonio o di materiale naturale.
Ai sensi del § 11.2.12 delle NTC sono ammesse solo fibre di acciaio o polimeriche marcate CE come specificato al successivo § 20.5.6 ove sono riportate altresì i requisiti di accettazione per la qualifica del materiale. Si precisa che un calcestruzzo fibrorinforzato ad uso strutturale, deve rispettare i requisiti minimi prestazionali descritti nel progetto esecutivo e come riportato nelle NTC al $C11.2.12 e nelle Linee guida e deve essere caratterizzato da un dosaggio minimo delle fibre al suo interno "non inferiore allo 0.3% in volume".
La lunghezza delle fibre deve essere compatibile con il copriferro e l'interferro ed essere proporzionata alla dimensione massima dell'aggregato. E' consigliata una lunghezza della fibra non inferiore a 1,5 volte la dimensione massima dell'aggregato. In presenza di un rinforzo ibrido (costituito da fibre di diversa tipologia e lunghezza) l'annotazione precedente è da riferirsi alla fibra di maggior lunghezza.
L'aggiunta di fibre disperse in una matrice cementizia ne modifica le proprietà meccaniche, contrastando l'apertura progressiva delle fessure e conferendo al conglomerato cementizio (calcestruzzo o malta), dopo la fessurazione, una significativa resistenza residua a trazione. In particolare, verificatasi la fessurazione della matrice, le fibre sono in grado di manifestare il proprio contributo, conferendo al composito una resistenza post-fessurativa, praticamente assente nella matrice senza fibre.
Il FRC quindi può essere utilizzato in tutti quei contesti in cui il progettista ritenga utile conferire al materiale una significativa resistenza residua a trazione residua.

20.4.5.11.2 Classificazione

Per i calcestruzzi fibrorinforzati dovranno essere rispettate le prescrizioni, oltre a quelle richieste per i calcestruzzi tradizionali, qui di seguito indicate:

- classe di tenacità (resistenza opposta dal materiale all'avanzamento del processo di frattura)
- limite di proporzionalità (resistenza a trazione corrispondente al limite di proporzionalità)

20.4.5.11.2.1 Classe di tenacità

La classe di tenacità di un FRC viene definita in sede di progetto da un numero che rappresenta la resistenza nominale per f_{R1k} e da una lettera che rappresenta l'intervallo di valori in cui ricade il rapporto f_{R3k}/f_{R1k}.
La resistenza f_{R1k}, espressa in MPa, corrisponde alla resistenza alla resistenza a trazione residua valutata in corrispondenza dell'apertura dell'intaglio (CMOD) pari a 0,5 mm (EN 14651) ed è definita dal numero appartenente alla seguente successione, immediatamente inferiore al valore di f_{R1k} determinato sperimentalmente (EN 14651):

1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0, 8.0, 10.0, 12.0, 14.0 [MPa]

La resistenza f_{R3k}, espressa in MPa, corrisponde alla resistenza alla resistenza a trazione residua valutata in corrispondenza dell'apertura dell'intaglio (CMOD) pari a 2,5 mm (EN 14651).
Il rapporto f_{R3k}/f_{R1k} viene invece indicato con una delle lettere a, b, c, d, e, ciascuna delle quali indica un intervallo di valori qui di seguito riportati:

"a" per f_{R3k}/f_{R1k} = 0.5
"b" per f_{R3k}/f_{R1k} = 0.7
"c" per f_{R3k}/f_{R1k} = 0.9
"d" per f_{R3k}/f_{R1k} = 1.1
"e" per f_{R3k}/f_{R1k} = 1.3

Nella tabella seguente sono riportati i valori di f_{R3k} in MPa, in funzione del valore di f_{R1k} e del rapporto f_{R3k}/f_{R1k}.

		f_{R1k} [MPa]											
		1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0	6.0	8.0	10.0	12.0	14.0
Classificazione sulla base del rapporto $\frac{f_{R3k}}{f_{R1k}}$	a	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	2.00	2.50	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00
	b	0.70	1.05	1.40	1.75	2.10	2.80	3.50	4.20	5.60	7.00	8.40	9.80
	c	0.90	1.35	1.80	2.25	2.70	3.60	4.50	5.40	7.20	9.00	10.80	12.60
	d	1.10	1.65	2.20	2.75	3.30	4.40	5.50	6.60	8.80	11.00	13.20	15.40
	e	1.30	1.95	2.60	3.25	3.90	5.20	6.50	7.80	10.40	13.00	15.60	18.20

Ad esempio, per un FRC con classe di tenacità 2.5c si avrà f_{R1k} = 2.50 MPa, f_{R3k} = 2.25 MPa e rapporto f_{R3k}/f_{R1k} = 0.9 (classe c).

20.4.5.11.2.2 Limite di proporzionalità (tensione corrispondente)

La tensione corrispondente al limite di proporzionalità ($f^f_{ct,\,L}$) è convenzionalmente definita, (EN 14651), come:

$$f^f_{ct,L} = \frac{3F_L L}{2bh^2_{sp}}$$

dove:
F_L = massima forza applicata al provino sottoposto a prova (in Newton)

L = distanza fra i punti di appoggio del provino sottoposto a prova
b = larghezza del provino in millimetri
h_{sp} = distanza tra l'apice dell'intaglio e la parte superiore del provino in millimetri

20.5 Criteri di accettazione dei costituenti le miscele

Devono essere utilizzati solo costituenti di idoneità stabilita per il particolare impiego previsto per il calcestruzzo conforme alla norma europea UNI EN 206 e/o altre di riferimento, in applicazione del § 11.1 delle NTC2018.
Nel caso in cui per un particolare costituente non vi sia una norma europea che si riferisca specificatamente all'utilizzo di questo costituente nel calcestruzzo, l'idoneità può essere stabilita da:

- un Benestare tecnico europeo che si riferisca in modo specifico all'impiego del costituente nel calcestruzzo;
- disposizioni vigenti nel luogo di impiego del calcestruzzo che si riferiscono specificatamente all'utilizzo del costituente nel calcestruzzo.

Si precisa che le specifiche dei calcestruzzi per uso speciale di cui al § 20.4.5 sono da interdersi prioritarie rispetto a quelle indicate nei paragrafi a seguire. Inoltre, per il calcestruzzo fibrorinforzato qualora lo stesso rivesta carattere strutturale, il direttore lavori, in fase di accettazione, deve verificare che ciascuna miscela omogenea fibrorinforzata possegga Certificato di Validazione Tecnica (CVT) rilasciato dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici in corso di validità.

20.5.1 Aggregati

20.5.1.1 Generalità sulla conformità e sulla scelta degli aggregati

L'idoneità è stabilita per:

- Aggregati naturali normali, aggregati pesanti e loppa d'altoforno raffreddata in aria conformi alla UNI 8520-2 ed alla UNI EN 12620;
- Aggregati leggeri conformi alla UNI EN 13055-1. La UNI 11013 definisce una procedura di prova per la valutazione delle proprietà degli aggregati leggeri in calcestruzzo;
- Aggregati di recupero definiti nei punto 3.1.2.14 e 3.1.2.15 e utilizzati in conformità al punto 5.2.3.3. della UNI EN 206:2021;
- Aggregati industriali e riciclati conformi alla UNI 8520-2 e alla UNI 12620.

Saranno impiegati esclusivamente aggregati ottenuti dalla lavorazione di materiali naturali, artificiali, di recupero o provenienti da processi di riciclo muniti di Attestato di conformità CE alla norma europea armonizzata:

- UNI EN 12620 per i quali il produttore attui un controllo di produzione in fabbrica certificato da un Organismo notificato e dotato di sistema di attestazione della conformità degli aggregati di tipo 2+;
- UNI EN 13055 per gli aggregati leggeri per i quali il produttore attui un controllo di produzione in fabbrica certificato da un Organismo notificato e dotato di sistema di attestazione della conformità degli aggregati di tipo 2+ nei casi di impego per uso strutturale e 4 per usi non strutturali. Si specifica che è definito aggregato leggero quel materiale granulare di origine minerale avente massa volumica dei granuli non maggiore di 2.000 kg/m^3 o una massa volumica in mucchio non maggiore di 1.200 kg/m^3.

L'aggregato grosso proveniente da riciclo può essere utilizzato secondo i limiti di cui al prospetto 4 della norma UNI 11104:2025 di seguito riproposto per praticità in funzione del tipo di aggregato riciclato, della classe di resistenza a compressione del calcestruzzo e della classe di esposizione

ambientale.

Tipologie di aggregato		Classe di resistenza	% massima di sostituzione								
			Classe di esposizione								
			X0	XC1 XC2 XC3	XC4	XS1 XS2 XS3	XD1	XD2 XD3	XF1 XF2 XF3 XF4	XA1	XA2 XA3
Tipo A	Rc_{90}, Rcu_{95}, Rb_{10}, Ra_{1-}, FL_{2-}, Rg_{1-}	≥C12/15 ≤C20/25	60%	--	--	--	--	--	--	--	--
		≤C30/37	30%	30%	--	--	30%	--	30%	30%	--
		≤C45/55	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%
Tipologie di aggregato		Classe di resistenza	% massima di sostituzione								
			Classe di esposizione non applicate								
Tipo A Tipo B	Rc_{90}, Rcu_{95}, Rb_{10}, Ra_{1-}, FL_{2-}, Rg_{1-} Rc_{50}, Rcu_{70}, Rb_{30}, Ra_{5-}, FL_{2-}, XRg_{2-}	C8/10	100%								
	Rc: calcestruzzo, prodotti di calcestruzzo e malta; Ru: aggregati non legati, aggregati naturali, aggregati legati con leganti idraulici; Rb: Frammenti di mattoni o tegole in argilla, frammenti di mattoni silicei, frammenti di calcestruzzo aerato non galleggiante; Ra: materiali bituminosi; Rg: vetro FL: materiale lapideo galleggiante (in volume); X: altri materiali: coesivi (argilla e terra); metallici ferrosi e non ferrosi; gesso, plastica e gomma, legno non galleggiante										

L'aggregato fine o misto proveniente da riciclo può essere utilizzato secondo i limiti di cui al prospetto 5 della norma UNI 11104:2025 di seguito riproposto per praticità in funzione del tipo di aggregato riciclato, della classe di resistenza a compressione e della classe di esposizione ambientale.

Tipologie di aggregato	Classe di resistenza	% massima di sostituzione							
		Classe di esposizione							
		X0	XC1 XC2	XC4	XS1 XS2	XD1	XD2 XD3	XF1 XF2	XA1	XA2 XA3

			XC3		XS3			XF3 XF4		
Aggregato fine o misto riciclato derivato da impianti di produzione di aggregato di riciclo grossi di tipo A	≥C12/15 ≤C20/25	30%	--	--	--	--	--	--	--	--
	≤C30/37	15%	15%	--	--	15%	--	15%	15%	--
	≤C45/55	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%
Aggregato riciclato proveniente da impianti di produzione di aggregati di riciclo grossi di tipo A e B	C8/10	≤ 100%								

Il tipo di aggregato e le categorie, per esempio granulometria, appiattimento, resistenza al gelo/disgelo, resistenza all'abrasione, contenuto di fini, devono essere selezionati tenendo conto di quanto segue:

- esecuzione dell'opera;
- impiego previsto del calcestruzzo;
- condizioni ambientali alle quali il calcestruzzo deve essere esposto;
- tutti i requisiti per finiture superficiali ad aggregato esposto o per finiture all'utensile.

Per migliorare alcune proprietà del calcestruzzo o per ottenere proprietà speciali, è ammesso l'utilizzo di filler che è definito come un aggregato la maggior parte del quale passa allo staccio di 0,063 mm.

20.5.1.2 Controlli sugli aggregati

20.5.1.2.1 Controlli documentali

In fase di prequalifica per ogni tipo di aggregato selezionato e per ogni fornitore deve essere consegnato alla Direzione Lavori la Dichiarazione di Prestazione e la marcatura CE ai sensi del regolamento 305/2011 con le informazioni contenute nella figura ZA.1 della norma UNI EN 12620 o contenute nel prospetto ZA.1.1 (aggregati leggeri) e ZA.1.2 (filler aggregato leggero) della norma UNI EN 13055 nel rispetto dei requisiti geometrici, fisici e chimici di seguito individuati. Laddove la Dichiarazione di Prestazione non riporti tali informazioni, l'Appaltatore deve fornire un certificato di laboratorio, con data non antecedente le frequenze riportate in appendice H della UNI EN 12620 o appendice G della UNI EN 13055, che attesti la rispondenza al requisito di capitolato.
Fino al completamento delle operazioni di getto, su richiesta del Direttore dei Lavori, l'Appaltatore dovrà consegnare altresì:

- copia in formato pdf delle bolle di accompagnamento di tutte o parti delle forniture di aggregati approvvigionate all'impianto e la Dichiarazione di Prestazione CE;
- copia delle prove di autocontrollo del produttore previste in appendice H della UNI-EN 12620 o appendice G della UNI EN 13055.

20.5.1.2.2 Controlli dei requisiti geometrici, fisici e chimici per aggregati conformi alla UNI EN 12620

Le NTC2018 al paragrafo 11.2.9.2 prescrivono controlli di accettazione minimi in capo alla Direzione dei Lavori di seguito riassunti.

ID	Descrizione prova	Limiti di accettabilità		
		Norma	Parametro	Valore/Tolleranza
1. REQUISITI FISICI-GEOMETRICI (*)				

ID	Descrizione prova	Limiti di accettabilità		
		Norma	Parametro	Valore/Tolleranza
1.1	Granulometria dell'aggregato (UNI EN 933-2)	§ 4 UNI 8520-2	categorie prosp. 2,3,5,6 UNI EN 12620	valori 2,3,5,6 UNI EN 12620 tolleranze prosp. 3,4
1.2	Contenuto dei fini (polveri) passante al vaglio 63 µm (UNI EN 933-2)	prosp. 2 UNI 8520-2	Aggr. grossi – non frantum. o frantum. da roccia Aggr. grossi - frantum. da roccia Aggr. grossi - riciclato Tipo A Aggr. grossi - riciclato Tipo B Aggr. grossi - industriale Sabbia - non frantumato Sabbia - frantum. da depositi alluvion. Sabbia - frantum. da roccia di banchi omogenei Sabbia - aggr. riciclato da solo cls Sabbia - aggr. riciclato da demolizioni Sabbia - agg. industriale Misto nat. 0/8 non frantumato da depositi alluvionali Aggr. frazione unica non frantum. o frantum. da depositi alluvionali Aggr. frazione unica misto - frantum. da roccia Aggr. frazione unica misto – riciclato da solo cls Aggr. frazione unica misto – riciclato da demolizioni Aggr. frazione unica misto – industriale	≤ 1,5% ($\leq f_{1,5}$) ≤ 4% ($\leq f_4$) ≤ 4% ($\leq f_4$) ≤ 4% ($\leq f_4$) ≤ 1,5% ($\leq f_{1,5}$) ≤ 3% ($\leq f_3$) ≤ 10% ($\leq f_{10}$) ≤16% ($\leq f_{16}$) ≤ 10% ($\leq f_{10}$) ≤ 3% ($\leq f_3$) ≤ 3% ($\leq f_3$) ≤ 3% ($\leq f_3$) ≤ 3% ($\leq f_3$) ≤ 11% ($\leq f_{11}$) ≤ 10% ($\leq f_{10}$) ≤ 3% ($\leq f_3$) ≤ 3% ($\leq f_3$)
1.3	Granulometria del filler (UNI EN 933-10)	prosp. 7 UNI 12620	Passante setaccio 2 mm Passante setaccio 0,125 mm Passante setaccio 0,063 mm	100 % Da 85 a 100% Da 70 a 100% per tolleranza prosp. 7
1.4	Resistenza alla frammentazione aggregati grossi (UNI EN 1097-2) **Valori raccomandati non obbligatori**	Valori raccomandati Prospetto E – EN206; allegato E 12620 UNI 8520-2 Prospetto 5	Per aggregati di qualsiasi origine – inclusi aggregati riciclati - con cls con Rck ≤ C45/55 Per aggregati naturali destinati a cls con classe di resistenza maggiore o uguale a C50/60	≤ 50 - LA_{50} ≤ 30 - LA_{30}
1.5	Indice di appiattimento (UNI EN 1097-2) **Valori raccomandati non obbligatori**	Valori raccomandati Prospetto E – EN206	--	≤ 50 - FI_{50} Nessuna limitazione fermo restando il rispetto dei requisiti reologici e meccanici del conglomerato cementizio
2. REQUISITI CHIMICI				
2.1	Analisi petrografica aggregati naturali (UNI EN 932/3)	§4.3 e prosp. 1 UNI 8520-2 UNI 8520-2 Prospetto 1-4	Pirite, marcasite, pirrotina Minerali potenzialmente reattivi agli alcali	Assenza di granuli di dimensioni > 2mm Classificazione potenziale reattività UNI 8520-22
2.2	Contenuto solfati solubili in acido - gesso anidrite (p.to 12 UNI EN 1744/1)	§6.3.1 e prosp. 21 UNI 12620 UNI 8520-2 Prospetto 4	Aggregato grosso Aggregati fini e filler	≤ 0,2% ($AS_{0,2}$) ≤ 0,8% ($AS_{0,8}$)
2.3	Contenuto totale di zolfo (p.to 11 UNI EN 1744/1)	§6.3.2 UNI 12620 UNI 8520-2 Prospetto 4	per aggregati naturali e filler per loppe altoforno in presenza di solfuri ossidabili	≤ 1% ≤ 2% ≤ 0,1%

ID	Descrizione prova	Limiti di accettabilità		
		Norma	Parametro	Valore/Tolleranza
2.4	Contenuto di solfato idrosolubile (UNI EN 1744/1)	§6.3.3 e prosp. 22 UNI 12620 UNI 8520-2 Prospetto 4	Aggregati riciclati	≤ 0,2% ($SS_{0,2}$)
(*) All'impianto di betonaggio dovranno essere impiegate almeno tre dimensioni dell'aggregato delle categorie Gc85/20 per Dmax fino a 16 mm, Gc90/15 per Dmax maggiore di 16 mm e Gf85 per le sabbie (UNI EN 12620). In assenza di indicazioni nel progetto la dimensione massima (Dmax) dell'aggregato deve essere tale da permettere che il conglomerato possa riempire ogni parte del manufatto; dovrà pertanto risultare: • < di 1/4 della dimensione minima delle strutture; • < della spaziatura minima tra le barre di armatura (interferro minimo), diminuita di 5 mm; • < di 1,3 volte lo spessore del copriferro				

Le prove in sede di prequalifica e per ogni cambiamento di cava o materiali nel corpo di cava, e comunque a discrezione della Direzione Lavori, dovranno essere effettuate a cura e onere del Produttore ogni 10000 m^3 di calcestruzzo. In particolare, la DL potrà prescrivere l'esecuzione delle prove di cui ai punti 2.1-2.4 della Tabella precedente con frequenze molto più brevi di quella sopra indicata.

Inoltre, i seguenti requisiti, per cui le norme UNI fissano dei limiti di accettabilità ma per cui le NTC2018 non impongono un obbligo di controllo in fase di accettazione, devono comunque essere obbligatoriamente soddisfatti e dichiarati dal produttore nella Dichiarazione di Prestazione CE qualora previsto, o in alternativa in apposito certificato emesso da un laboratorio, con data non antecedente le frequenze riportate in appendice H della UNI EN 12620.
La Direzione dei Lavori potrà effettuare dei controlli su questi seguenti requisiti all'impianto nel caso si riscontrassero anomalie:

- di una delle verifiche eseguite nella fase di qualifica all'impianto delle miscele cementizie di cui al § 20.8.2 rispetto alle previsioni di prequalifica;
- di una delle prove sui conglomerati cementizi freschi di cui ai §§ 20.10.2 e 20.10.4.1;
- sulla resistenza caratteristica a 28 gg di cui al § 20.10.6.
- non vengano fornite, quando richieste, le prove di autocontrollo del produttore di cui al § 20.5.1.2.1

ID	Descrizione prova	Limiti di accettabilità		
		Norma	Parametro	Valore/Tolleranza
3. REQUISITI AGGIUNTIVI PER AGGREGATI UTILIZZATI IN CLS CON CLASSE DI ESPOSIZIONE XF				
3.1	Resistenza al gelo disgelo aggregato grosso (UNI EN 1367-1)	Prospetto 6 UNI 11104 e prospetto 5 UNI 8520-2	Perdita in massa dopo 10 cicli per le classi di esposizione XF1, XF2, XF3 e XF4	Categoria < F2 per le classi di esposizione XF1, XF2, XF3; Categoria F1 per XF4 oppure aggregati con assorbimento inferiore o uguale all'1%
3.2	Resistenza al gelo disgelo dell'aggregato grosso in presenza di sale UNI EN 1367-6) – **Valori raccomandati non obbligatori**	Prospetto 6 UNI 11104 prospetto 5 UNI 8520-2	Perdita in massa dopo 10 cicli per le classi di esposizione XF2 e XF4	≤ 2% - F_{NaCl-2}

ID	Descrizione prova	Limiti di accettabilità		
		Norma	Parametro	Valore/Tolleranza
3.3	Assorbimento d'acqua aggregato grosso (UNI EN 1097-6)	prospetto 3 UNI 8520-2	Per le sole classi di esposizione XF1, XF2, XF3 e XF4	WA24 ≤ 1,0% (se non soddisfatto adottare la classe di gelività di cui al punto 3.1)
4. LIMITI DI ALTRI REQUISITI CHE DEVONO ESSERE DICHIARATI E RISPETTATI DAL PRODUTTORE				
4.1	Massa volumica media del granulo per aggregati naturali e industriali (UNI EN 1097-6)	prospetto 3 UNI 8520-2	Massa volumica in condizioni di saturazione superficie asciutta	$p_{ssd} \geq 2500$ kg/m^3
4.2	Massa volumica media del granulo per aggregati grossi riciclati (UNI EN 1097-6)	prospetto 3 UNI 8520-2	Massa volumica dei granuli essiccati in stufa: aggr. grossi Tipo A, fini/misti di solo cls: aggr. grossi Tipo B, fini misti di costituenti vari:	 $p_{rd} \geq 2.100$ kg/m^3 $p_{rd} \geq 1.700$ kg/m^3
4.3	Contenuto di ioni di cloruro idrosolubili (p.to 7 UNI EN 1744-1)	prospetto 4 UNI 8520-2	--	Nessun limite fermo restando il requisito che il contenuto di cloruri solubili nel calcestruzzo dovrà risultare inferiore ai valori riportati nella tabella di cui al § 20.4.3
4.4	Contenuto di ioni cloruro solubili in acido (p.to 7 UNI EN 1744-5)	prospetto 4 UNI 8520-2	Per gli aggregati riciclati	Nessun limite fermo restando il requisito che il contenuto di cloruri solubili nel calcestruzzo dovrà risultare inferiore ai valori riportati nella tabella di cui al § 20.4.3
4.5	Costituenti che alterano la presa e l'indurimento del calcestruzzo (P.to 15.1 e15.2 della UNI EN 1744-1)	§ 6.4.1 UNI EN 12620 Prospetto 4 UNI 8520-2	Determinazione del contenuto di sostanza umica Colore del liquido surnatante	Colore della soluzione più chiaro dello standard di riferimento
4.6	Costituenti che alterano la presa e l'indurimento del calcestruzzo per aggregati riciclati (UNI EN 1744-6)	Prospetto 23 UNI EN 12620 prospetto 4 UNI 8520-2	Per gli aggregati riciclati Variazione del tempo di presa t_e	≤ 10 – A_{10} Categoria A3 prospetto 23 UNI EN 12620
4.7	Contenuto contaminanti leggeri per strutture in calcestruzzo faccia vista con valenza estetica e pavimentazioni in calcestruzzo (UNI EN 1744-1)	prospetto 5 UNI 8520-2	Aggregati fini Aggregati grossi	≤ 0,25% ≤ 0,05%

ID	Descrizione prova	Limiti di accettabilità		
		Norma	Parametro	Valore/Tolleranza
4.8	Costituenti potenzialmente reattivi in presenza di alcali (UNI 8520-22)[a)]	prospetto 4 UNI 8520-2	Espansione con prova accelerata su provini di malta	Espansione < 0.1%. Se espansione > 0,20% necessario fare prova espansione su prismi di malta
			Espansione con metodo del prisma di malta (se è superato il limite per la prova accelerata)	Espansione < 0,05% a 3 mesi oppure < 0,1% a 6 mesi Espansione < 0,4% dopo 365 giorni
5. ALTRI LIMITI PER IL FILLER CHE DEVONO ESSERE DICHIARATI E RISPETTATI DAL PRODUTTORE				
5.1	Filler - Massa volumica dei granuli (UNI EN 1097-7)	prospetto 6 UNI 8520-2	Massa volumica dei granuli essiccati in stufa	p_t > 2.000 kg/m^3 (*)
5.2	Filler - Contenuto di cloruri solubili in acqua (P.to 7 della UNI EN 1744-1)	prospetto 6 UNI 8520-2	Contenuto di cloruri solubili in acqua	≤ 0,03%
5.3	Filler - Contenuto di solfati solubili in acido (P.to 12 della UNI EN 1744-1)	prospetto 6 UNI 8520-2	Contenuto di solfati solubili in acido	≤ 0,8% – $AS_{0,8}$
5.4	Filler - Contenuto di zolfo totale (P.to 11 della UNI EN 1744-1)	prospetto 6 UNI 8520-2	Contenuto massimo di zolfo totale	≤ 1%
5.5	Filler – qualità dei fini – pulizia (appendice A della UNI EN 933-9)	prospetto 6 UNI 8520-2	Valore del blu metilene	MB_F ≤ 12 g/kg
5.6	Filler – Costituenti che alterano la presa e l'indurimento del calcestruzzo (P.to 15 della UNI EN 1744-1)	§ 6.4.1 UNI EN 12620	Determinazione del contenuto di sostanza umica Colore del liquido surnatante	Colore più chiaro di quelli normalizzati

(*) Filler con p_t ≤ 2.000 kg/m^3 devono essere classificati secondo la norma UNI EN 13055

[a)] Nel caso in cui la prova di espansione accelerata su provini di malta non risulti superata (l'espansione > 0,20%) l'impiego dell'aggregato per la produzione del calcestruzzo è subordinato alla prova di espansione su prismi di malta. Qualora, invece, la prova risulti superata (espansione < 0,10%), è comunque raccomandato l'utilizzo di cementi pozzolanici o d'altoforno, in alternativa, l'impiego di aggiunte minerali quali il fumo di silice

La Direzione dei Lavori, a suo insindacabile giudizio, potrà altresì effettuare i controlli di questi ulteriori requisiti in quei cantieri ove sono previsti getti complessivi di miscele cementizie in opera di volume superiore a 10.000 mc oppure con cadenza semestrale.

20.5.1.2.3 Controlli dei requisiti geometrici, fisici e chimici per aggregati conformi alla UNI EN 13055 per uso non strutturale

Visto che gli aggregati leggeri sono un prodotto marcato CE, sono prodotti in un impianto in possesso di certificazione del sistema di controllo della produzione (FPC) e che le NTC2018 non prescrivono obblighi di accettazione da parte della Direzione Lavori non si prevede l'esecuzione di prove di laboratorio per il controllo del rispetto dei requisiti né in fase di accettazione, né in corso d'opera.
Tuttavia il produttore deve dichiarare la conformità degli aggregati delle caratteristiche riportate nei prospetti ZA.1.1 e ZA.1.2 della UNI 13055 di seguito elencate.

Prospetto ZA.1.1 UNI EN 13055 – aggregati leggeri (LWA)			
Caratteristiche essenziali	Riferimento alla UNI EN 13055	Classi e/o livelli di soglia	Note

Forma, granulometria e massa volumica dei granuli	5.2.1 Massa volumica in mucchio	-	Valore dichiarato
	5.2.2 Massa volumica dei granuli	-	Valore dichiarato
	5.3 Classe granulometria dell'aggregato	-	Dichiarata con la designazione (d/D)
	5.4 Granulometria	-	Distribuzione dichiarata
	5.7 Forma dei granuli	-	Descrizione
Assorbimento di acqua	5.9 Assorbimento di acqua	-	Valore dichiarato
Resistenza alla frammentazione / frantumazione	5.10 Granuli frantumati	-	Valore dichiarato
Percentuale di granuli frantumati	5.11 Resistenza alla disgregazione	-	Descrizione
Stabilità di volume	5.12 Resistenza alla disgregazione	-	Valore dichiarato
Durabilità al gelo / disgelo	5.13 Resistenza al gelo disgelo	-	Valore dichiarato
Composizione / contenuto	5.25.3 Cloruro	-	Valore dichiarato
	5.25.4.1 Solfato solubile in acido	-	Valore dichiarato
	5.25.4.2 Zolfo totale	-	Valore dichiarato
Purezza	5.25.7 Contaminati organici	Soglia	Passa
Durabilità alla reazione alcali – silice	5.25.8 Reattività alcali-silice	-	Dispo. vigenti nel luogo di impiego
Rilascio di sostanze pericolose	5.26 Sostanze pericolose	-	Dispo. vigenti nel luogo di impiego

Prospetto ZA.1.2 UNI EN 13055 – filler aggregato leggero (LWA)			
Caratteristiche essenziali	Riferimento alla UNI EN 13055	Classi e/o livelli di soglia	Note
Finezza, granulometria e massa volumica dei granuli	5.2.1 Massa volumica in mucchio	-	Valore dichiarato
	5.6 Granulometria del filler LWA	-	Dichiarata con la designazione
Stabilità di volume	5.12 Resistenza alla disgregazione	-	Valore dichiarato
Durabilità al gelo / disgelo	5.13 Resistenza al gelo disgelo	-	Valore dichiarato
Composizione / contenuto	5.25.3 Cloruro	-	Valore dichiarato
	5.25.4.1 Solfato solubile in acido	-	Valore dichiarato
	5.25.4.2 Zolfo totale	-	Valore dichiarato
Perdita al fuoco (solo per le ceneri)	5.25.5 Perdita al fuoco	-	Valore dichiarato
Purezza	5.25.7 Contaminati organici	Soglia	Passa
Durabilità alla reazione alcali – silice	5.25.8 Reattività alcali-silice	-	Dispo. vigenti nel luogo di impiego
Rilascio di sostanze pericolose	5.26 Sostanze pericolose	-	Dispo. vigenti nel luogo di impiego

20.5.1.2.4 Controlli dei requisiti geometrici, fisici e chimici per aggregati conformi alla UNI EN 13055 per uso strutturale

Le NTC2018 al paragrafo 11.2.9.2 prescrivono controlli di accettazione minimi in capo alla Direzione dei Lavori che sono applicati anche per gli aggregati leggeri. Pertanto, le prove di cui al § 20.5.1.2.2 e di seguito riepilogate, sono da prevedersi anche per gli aggregati leggeri. Per i limiti di accettabilità si assumono i valori dichiarati dal produttore.

ID	Descrizione prova	Limiti di accettabilità		
		Norma	Parametro	Valore/Tolleranza
1. REQUISITI FISICI-GEOMETRICI				
1.1	Granulometria dell'aggregato (UNI EN 933-1)	ZA.1.1	--	Verifica del valore dichiarato dal produttore
1.2	Contenuto dei fini (polveri) passante al vaglio 63 µm (UNI EN 933-1)	Non applicabile perché non c'è obbligo di dichiarare un valore per questo requisito		
1.3	Granulometria del filler (UNI EN 933-10)	ZA.1.2	--	Verifica del valore dichiarato dal produttore
1.4	Resistenza alla frammentazione in mucchio (Appendice C UNI EN 13055)	ZA.1.1	--	Verifica del valore dichiarato dal produttore
1.5	Indice di appiattimento (UNI EN 1097-2)	Non applicabile perché non c'è obbligo di dichiarare un valore per questo requisito		
2. REQUISITI CHIMICI				
2.1	Analisi petrografica aggregati naturali (UNI EN 932/3)	Assunta quella del §4.3 e prosp. 1 UNI 8520-2	Pirite, marcasite, pirrotina Minerali potenzialmente reattivi agli alcali	Assenza > 2mm Classificazione potenziale reattività
2.2	Contenuto solfati solubili in acido - gesso anidrite (p.to 12 UNI EN 1744/1)	ZA.1.1	per aggregati e filler	Verifica del valore dichiarato dal produttore
2.3	Contenuto totale di zolfo (p.to 11 UNI EN 1744/1)	ZA.1.1	per aggregati e filler	Verifica del valore dichiarato dal produttore
2.4	Contenuto di solfato idrosolubile (UNI EN 1744/1)	Assunta quella del §6.3.3 e prosp. 22 UNI 12620	Per aggregati riciclati	≤ 0,2% ($SS_{0,2}$)

20.5.2 Cementi

20.5.2.1 Generalità sulla conformità e sulla scelta dei cementi

Per i conglomerati cementizi oggetto della presente voce di capitolato, devono impiegarsi i leganti idraulici previsti dalle disposizioni vigenti in materia, dotati di marcatura CE e DoP in conformità alla norma europea armonizzata UNI EN 197-1 con sistema di attestazione della conformità di tipo 1+.
L'impiego dei cementi richiamati all'art. 1, lettera C della legge 26 maggio 1965 n. 595, è limitato ai calcestruzzi per sbarramenti di ritenuta. Inoltre, in ottica di miglioramento della sostenibilità dei calcestruzzi si potrà far ricorso anche ai cementi conformi alle norme UNI EN 197-5 e UNI EN 197-6. Per questi cementi – non provvisti di marcatura CE – il loro impiego è subordinato al possesso di un certificato di validità tecnica (CVT) rilasciato dal CSLPP.
Per la realizzazione di opere massive dove è richiesto un basso calore di idratazione devono essere utilizzati i cementi speciali con calore di idratazione molto basso dotati di marcatura CE in conformità alla norma europea armonizzata UNI EN 14216 o contraddistinti dalla sigla LH contemplati dalla norma UNI EN 197-1. In ogni caso devono essere rispettate le prescrizioni di cui al $20.4.5.5
Specificamente in ambiente solfatico, per cui è prevista una classe di esposizione XA, si devono impiegare cementi resistenti ai solfati conformi alla norma europea armonizzata UNI EN 197-1 e/o alla norma UNI 9156 nel rispetto dei requisiti fissati dalla norma UNI 11104:2025 (ARS per le classi XA2 e XA3) o, in condizioni di dilavamento, cementi resistenti al dilavamento conformi alla norma UNI 9606.
Per strutture ricadenti in classe di esposizione XD e XS esposte all'azione dei cloruri come, ad esempio, le solette da ponte e i cordoli delle barriere, è obbligatorio l'impiego di cementi pozzolanici o d'altoforno, come specificato anche nella UNI 11417-1. Nel caso di possibile rischio di reazione

alcali-aggregati, è necessario l'impiego di cementi con contenuto di alcali ridotto e/o di tipo pozzolanico/d'altoforno, conformemente a quanto indicato nella UNI 11417-2.
Il cemento deve essere selezionato fra quelli di cui è stabilità l'idoneità tenendo conto di quanto segue:

- Esecuzione dell'opera;
- Impiego previsto del calcestruzzo;
- Condizioni di stagionatura;
- Dimensione della struttura;
- Condizioni ambientali alle quali la struttura deve essere esposta e quindi in funzione della classe di esposizione individuata dal progettista;
- Potenziale reattività dell'aggregato agli alcali rilasciati dai costituenti.

È escluso l'impiego di cementi alluminosi.

20.5.2.2 Tipi di cemento

Al fine di agevolare la scelta dei prodotti ed il conseguente controllo documentale si riporta la classificazione dei tipi di cemento secondo la UNI EN 197-1 che definisce 27 distinti prodotti di cementi comuni (prospetto 1), 7 cementi comuni resistenti ai solfati (prospetto 2), 9 classi di resistenza (prospetto 3) e secondo la norma UNI EN 197-5 e secondo la norma UNI EN 197-6.
Prospetto 1 UNI EN 197-1 – i 27 prodotti della famiglia dei cementi comuni:

Tipi principali	Denominazione dei 27 prodotti (tipi di cemento comune)		Composizione (percentuale in massa[a])									
			Costituenti principali									Costituenti secondari
			Clinker	Loppa di altoforno	Fumo di silice	Pozzolana		Cenere volante		Scisto calcinato	Calcare	
						naturale	naturale calcinata	silicea	calcarea			
			K	S	D[b]	P	Q	V	W	T	L	LL	
CEM I	Cemento Portland	CEM I	95-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
CEM II	Cemento Portland alla loppa	CEM II/A-S	80-94	6-20	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-S	65-79	21-35	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
	Cemento Portland ai fumi di silice	CEM II/A-D	90-94	-	6-10	-	-	-	-	-	-	-	0-5
	Cemento Portland alla pozzolana	CEM II/A-P	80-94	-	-	6-20	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-P	65-79	-	-	21-35	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/A-Q	80-94	-	-	-	6-20	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-Q	65-79	-	-	-	21-35	-	-	-	-	-	0-5
	Cemento Portland alle ceneri volanti	CEM II/A-V	80-94	-	-	-	-	6-20	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-V	65-79	-	-	-	-	21-35	-	-	-	-	0-5
		CEM II/A-W	80-94	-	-	-	-	-	6-20	-	-	-	0-5
		CEM II/B-W	65-79	-	-	-	-	-	21-35	-	-	-	0-5
	Cemento Portland allo scisto calcinato	CEM II/A-T	80-94	-	-	-	-	-	-	6-20	-	-	0-5
		CEM II/B-T	65-79	-	-	-	-	-	-	21-35	-	-	0-5
	Cemento Portland al calcare	CEM II/A-L	80-94	-	-	-	-	-	-	-	6-20	-	0-5
		CEM II/B-L	65-79	-	-	-	-	-	-	-	21-35	-	0-5
		CEM II/A-LL	80-94	-	-	-	-	-	-	-	-	6-20	0-5
		CEM II/B-LL	65-79	-	-	-	-	-	-	-	-	21-35	0-5
	Cemento Portland composito[c]	CEM II/A-M	80-88	◄ - - - - - - - - - - - - 12-20 - - - - - - - - - - - - ►									0-5
		CEM II/B-M	65-79	◄ - - - - - - - - - - - - 21-35 - - - - - - - - - - - - ►									
CEM III	Cemento d'altoforno	CEM III/A	35-64	36-65	-	-		-	-	-	-	-	0-5
		CEM III/B	20-34	66-80	-	-		-	-	-	-	-	0-5
		CEM III/C	5-19	81-95	-	-		-	-	-	-	-	0-5
CEM IV	Cemento pozzolanico[c]	CEM IV/A	65-89	-	◄ - - - - - 11-35 - - - - - ►					-	-	-	0-5
		CEM IV/B	45-64	-	◄ - - - - - 36-55 - - - - - ►					-	-	-	0-5
CEM V	Cemento composito[c]	CEM V/A	40-64	18-30	-	◄ - - 18-30 - - ►			-	-	-	-	0-5
		CEM V/B	20-38	31-49	-	◄ - - 31-49 - - ►			-	-	-	-	0-5

a) I valori del prospetto si riferiscono alla somma dei costituenti principali e secondari.
b) La proporzione di fumi di silice è limitata al 10%.
c) Nei cementi Portland compositi CEM II/A-M e CEM II/B-M, nei cementi pozzolanici CEM IV/A e CEM IV/B e nei cementi compositi CEM V/A e CEM V/B i costituenti principali diversi dal clinker devono essere dichiarati mediante la designazione del cemento (per esempio vedere punto 8).

Prospetto 2 UNI EN 197-1 – i 7 prodotti della famiglia resistenti ai solfati.

Tipi principali	Denominazione dei sette prodotti (tipi di cemento comune resistente ai solfati)		Composizione (percentuale in massa[a])				
			Costituenti principali				Costitenti secondari
			Clinker K	Loppa granulata d'altoforno S	Pozzolana naturale P	Cenere volante silicea V	
CEM I	Cemento Portland Resistente ai solfati	CEM I-SR 0 CEM I-SR 3 CEM I-SR 5	95-100				0-5
CEM III	Cemento d'altoforno resistente ai solfati	CEM III/B-SR	20-34	66-80			0-5
		CEM III/C-SR	5-19	81-95			0-5
CEM IV	Cemento[b] pozzolanico resistente ai solfati	CEM IV/A-SR	65-79		← -- 21-35-- →		0-5
		CEM IV/B-SR	45-64		← -- 36-55-- →		0-5

a) I valori del prospetto si riferiscono alla somma dei costituenti principali e secondari
b) Nei cementi pozzolanici resistenti ai solfati, tipi CEM IV/A-SR e CEMIV/B-SR, i costituenti principali diversi dal clinker devono essere dichiarati mediante la designazione del cemento.

Prospetto 3 UNI EN 197-1 – Requisiti meccanici e fisici espressi come resistenze a compressione, tempi di presa e stabilità:

	Resistenza a compressione		

Classe di resistenza	Mpa				Tempo di inizio presa	Stabilità (espansione)
	Resistenza iniziale		Resistenza normalizzata			
	2 giorni	7 giorni	28 giorni		min	mm
32,5 L[a)]	-	≥ 12,0	≥ 32,5	≤ 52,5	≥ 75	≤ 10
32,5 N	-	≥ 16,0				
32,5 R	≥ 10,0	-				
42,5 L[a)]	-	≥ 16,0	≥ 42,5	≤ 62,5	≥ 60	
42,5 N	≥ 10,0	-				
42,5 R	≥ 20,0	-				
52,5 L[a)]	≥ 10,0	-	≥ 52,5	-	≥ 45	
52,5 N	≥ 20,0	-				
52,5 R	≥ 30,0	-				
a) Classe di resistenza definita solo per i cementi CEM III						

Prospetto 1 UNI EN 197-5

prospetto 1 **Cemento Portland-composito CEM II/C-M e Cemento Composito CEM VI**

Tipi principali	Denominazione dei prodotti (tipi di cemento)		Composizione (percentuale in massa) [a)]										
			Costituenti principali										Costituenti secondari
			Clinker	Loppa di altoforno	Fumo di silice	Pozzolana		Cenere Volante		Scisto calcinato	Calcare		
						naturale	naturale calcinata	silicea	calcarea				
	Nome	Denominazione	K	S	D [b)]	P	Q	V	W	T	L [c)]	LL [c)]	
CEM II	Cemento Portland- composito [d)]	CEM II / C-M	50-64	----------36-50----------									0-5
CEM VI	Cemento Composito	CEM VI (S-P)	35-49	31-59	-	6-20	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM VI (S-V)	35-49	31-59	-	-	-	6-20	-	-	-	-	0-5
		CEM VI (S-L)	35-49	31-59	-	-	-	-	-	-	6-20	-	0-5
		CEM VI (S-LL)	35-49	31-59	-	-	-	-	-	-		6-20	0-5

a) I valori nel prospetto si riferiscono alla somma dei costituenti principali e secondari.
b) Qualora utilizzati, la proporzione di fumi di silice è limitata al 6-10% in massa.
c) Qualora utilizzato, la proporzione di calcare (somma di L, LL) è limitata al 6-20% in massa.
d) Il numero di costituenti principali diversi dal clinker è limitato a due e questi costituenti principali devono essere dichiarati nella designazione del cemento (per gli esempi vedere il punto 6).

Tabella 1 UNI EN 197-6

Table 1 — Cement with recycled concrete fines

Main types	Notation of the products (types of cement)		Composition (percentage by mass) [a]											
			Main constituents											Minor additional constituents
			Clinker	Recycled concrete fines	Blast-furnace slag	Silica fume	Pozzolana		Fly ash		Burnt shale	Limestone		
							natural	natural calcined	siliceous	calcareous				
	Type name	Type notation	K	F	S	D [b]	P	Q	V	W	T	L [c]	LL [c]	
CEM II	Portland-recycled-fines cement	CEM II/A-F	80–94	6–20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0–5
		CEM II/B-F	65–79	21–35	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0–5
	Portland-composite cement [d]	CEM II/A-M	80–88	6–14	‹---------- 6–14 ----------›									0–5
		CEM II/B-M	65–79	6–29	‹---------- 6–29 ----------›									0–5
		CEM II/C-M	50–64	6–20	‹---------- 16–44 ----------›									0–5
CEM VI	Composite cement	CEM VI	35–49	6–20	31–59	—	—	—	—	—	—	—	—	0–5

[a] The values in the table refer to the sum of the main and minor additional constituents.

[b] In case of the use of silica fume, the proportion of silica fume is limited to 6 % to 10 % by mass.

[c] In case of the use of limestone, the proportion of the sum of limestone and recycled concrete fines (sum of L, LL and F) is limited to 35 % by mass.

[d] The number of main constituents other than clinker is limited to two and these main constituents shall be declared by designation of the cement (for examples, see Clause 6). In case of the use of both F and (L or LL) in the composition, the number of main constituents other than clinker is limited to three and these main constituents shall be declared by designation of the cement.

20.5.2.3 Controlli sul cemento

20.5.2.3.1 Controlli documentali

In fase di prequalifica, per ogni tipo di cemento selezionato e per ogni fornitore deve essere consegnato alla Direzione Lavori la Dichiarazione di Prestazione CE e la scheda tecnica indicante le caratteristiche chimico-fisiche del cemento che devono obbligatoriamente rispettare i requisiti della norma UNI EN 197-1-5-6 sinteticamente riportati nel § 20.5.2.3.2. I cementi conformi alle norme UNI EN 197-5 e UNI EN 197-6, per poter essere impiegati, dovranno essere in possesso di Certificato di Valutazione Tecnica (CVT) rilasciato dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, in conformità a quanto previsto dalle vigenti disposizioni normative.
I cementi, qualora immessi sul mercato da un distributore attraverso un centro di distribuzione, devono essere all'origine dotati della marcatura CE sopra richiamata. Il centro di distribuzione, così come definito nella norma UNI EN 197-2, deve possedere un'autorizzazione all'uso di detta marcatura concessa al distributore da un organismo di certificazione notificato, in base alle procedure della norma UNI EN 197-2, a dimostrazione che la conformità del prodotto marcato CE è stata mantenuta durante le fasi di trasporto, ricevimento, deposito, imballaggio e spedizione, unitamente alla sua qualità ed identità.
Fino al completamento delle operazioni di getto, su richiesta del Direttore dei Lavori, l'Appaltatore dovrà consegnare:

- copia in formato pdf delle bolle di accompagnamento di tutte o parti delle forniture di cemento approvvigionate all'impianto e la Dichiarazione di Prestazione CE;
- copia delle prove di autocontrollo del produttore di cemento previste dal prospetto 6 della UNI-EN 197-1 con data non antecedente le frequenze riportate in detto prospetto ed i parametri statistici sugli ultimi 6 mesi di produzione.

20.5.2.3.2 Controlli dei requisiti chimici e meccanici

Visto che i cementi sono prodotti marcati CE, sono prodotti in un impianto in possesso di certificazione del sistema di controllo della produzione (FPC) e che le NTC2018 non prescrivono obblighi di accettazione da parte della Direzione Lavori non si prevede l'esecuzione di prove di laboratorio per il controllo del rispetto dei requisiti né in fase di accettazione, né in corso d'opera.
Tuttavia, la Direzione dei Lavori potrà effettuare dei controlli dei requisiti chimici e meccanici sul cemento in arrivo all'impianto nel caso si riscontrassero anomalie:

- di una delle verifiche eseguite nella fase di qualifica all'impianto delle miscele cementizie di cui al § 20.8.2 rispetto alle previsioni di prequalifica;
- di una delle prove sui conglomerati cementizi freschi di cui ai §§ 20.10.2 e 20.10.4.1;
- sulla resistenza caratteristica a 28 gg di cui al § 20.10.6;
- non vengano fornite, qualora richieste, le prove di autocontrollo del produttore di cemento di cui al § 20.5.2.3.1.

Per i cementi classificati in accordo alla UNI EN 197-5 e UNI EN 197-6, di recente introduzione per il confezionamento del calcestruzzo, si suggerisce che la Direzione Lavori preveda l'esecuzione di prove di laboratorio per il controllo del rispetto dei requisiti in fase di accettazione e in corso d'opera.
La Direzione dei Lavori potrà altresì, a suo insindacabile giudizio, effettuare i controlli dei requisiti chimici e meccanici sui tipi di cemento qualificati in quei cantieri ove sono previsti getti complessivi di miscele cementizie in opera di volume superiore a 10.000 mc oppure con cadenza semestrale.
Tali eventuali controlli verranno effettuati dalla Direzione dei Lavori sul cemento in arrivo presso l'impianto di prefabbricazione o presso l'impianto di preconfezionamento del conglomerato se esterno all'impianto di prefabbricazione in contraddittorio con l'Appaltatore. Il prelievo del cemento dovrà avvenire, in contraddittorio tra l'Appaltatore e la Direzione dei Lavori, al momento della consegna in conformità alla norma UNI EN 196-7.
Il campione di cemento prelevato sarà suddiviso in almeno tre parti di cui una verrà inviata ad un Laboratorio di cui all'art 59 del D.P.R. n. 380/2001 scelto dalla Direzione dei Lavori, un'altra è a disposizione dell'Appaltatore e la terza rimarrà custodita, in un contenitore sigillato, per eventuali controprove.
Le prove dei requisiti chimico-meccanici eventualmente disposte dalla Direzione Lavori sono di seguito riassunte:

ID	Descrizione prova	Limiti di accettabilità		
		Norma	Tipo di cemento	Valore/tolleranza
1. REQUISITI CHIMICI-DURABILITA'				
1.1	Perdita al fuoco - UNI EN 196-2	UNI EN 197-1 Tab4	per CEM I e CEM III	≤ 5,0%
1.2	Residuo insolubile - UNI EN 196-2		per CEM I e CEM III	≤ 5,0%
1.3	Solfati - UNI EN 196-2		per CEM I SR, CEM IV/A SR e CEM IV/B SR classi 32.5N, 32.5R e 42.5	<3% (+0,5)
			per CEM I, CEM II (tranne B-T), CEM IV e CEM V, per le classi 32.5N-32.5R-42.5N per CEM I SR, CEM IV/A SR e CEM IV/B SR classi 42.5R, 52.5N e 52.5R	≤ 3,5% (+0,5)
			per CEM I, CEM II (tranne B-T), CEM III (tranne III/C), CEM IV e CEM V, per le classi 42.5R-52.5N-52.5R;	≤ 4,0% (+0,5)
			per CEM II/B-T e CEM III/C	≤ 4,5% (+0,5)
1.4	Cloruri - UNI EN 196-2		il CEM III può contenere più dello 0,10% dichiarando il contenuto effettivo	≤ 0,10%
1.5	Pozzolanicità - UNI EN 196-5		per CEM IV tutte le classi (positiva a 8gg in caso di CEM IV SR)	esito positivo prova
1.6	Determinazione del contenuto di C_3A - UNI EN 196-2	UNI EN 197-1 Tab5	verifica solo nel caso di cementi resistenti ai solfati CEM I-SR0 CEM I-SR3 CEM I-SR5	 0% +1% <3%+1% <5%+1%

ID	Descrizione prova	Limiti di accettabilità		
		Norma	Tipo di cemento	Valore/tolleranza
			CEM IV/A SR e CEM IV/B SR	<9%+1%

ID	Descrizione prova	Limiti di accettabilità		
		Norma	Tipo di cemento	Valore/tolleranza
2. REQUISITI MECCANICI E FISICI				
2.1	resistenza a compressione iniziale a 2 gg (N/mm^2)	UNI EN 197-1 Tab 3	per classe 32.5R-42.5N-52.5L per classe 42.5R-52.5N per classe 52.5R	≥10 (-2) ≥20 (-2) ≥30 (-2)
2.2	resistenza a compressione iniziale a 7 gg (N/mm^2)		per classe 32.5L per classe 32.5N per classe 42.5L	≥ 12 (-2) ≥ 16 (-2) ≥ 16 (-2)
2.3	resistenza a compressione normalizzata a 28 gg (N/mm^2)		per classe 32.5-32.5R per classe 42.5-42.5R per classe 52.5-52.5R	≥ 32,5 (-2,5) e ≤ 52,5 ≥ 42,5 (-2,5) e ≤ 62,5 ≥ 52,5 (-2,5)
2.4	tempo di inizio presa (minuti)		per classe 32.5L-32.N-32.5R per classe 42.5L-42.5N-42.5R per classe 52.5L-52.5N-52.5R	≥ 75 (-15) ≥ 60 (-10) ≥ 45 (-5)
2.5	Stabilità (espansione) (mm)		Per tutti i cementi	≤10
2.6	Calore idratazione (41h UNI EN 196/8, 7gg UNI EN 196/9)	UNI EN 197-1	Per tutti i cementi LH	≤270J/g (+30)

20.5.3 Acqua di impasto

20.5.3.1 Generalità sulla conformità

Per la produzione del calcestruzzo dovranno essere impiegate i seguenti tipi di acqua conformi all'ultima versione della Norma UNI EN 1008.

20.5.3.2 Controlli

20.5.3.2.1 Controlli documentali

Il produttore di calcestruzzo deve fornite alla Direzione Lavori il resoconto più recente in suo possesso di cui al § 7 della stessa norma oltre alla copia dei certificati di prova eseguiti:

a) descrizione del tipo e origine dell'acqua;
b) luogo del campionamento;
c) data e ora del campionamento;
d) nome del laboratorio e del responsabile della prova;
e) data delle prove;
f) risultati di prova e confronto con i requisiti della presente norma.

Il produttore deve fornire tale resoconto alla Direzione Lavori in fase di prequalifica e successivamente con frequenza semestrale fino al completamento delle operazioni di getto. La verifica in corso dei lavori è da eseguire in contraddittorio con la Direzione dei Lavori secondo i contenuti del successivo § 20.5.3.2.2.

20.5.3.2.2 Controlli dei requisiti chimici e meccanici

Si riportano, nella tabella seguente, i requisiti che deve possedere l'acqua di impasto secondo la norma UNI EN 1008.

ID	Descrizione prova	Limiti di accettabilità		
		Norma	Parametro	Valore/Tolleranza
1. VALUTAZIONE PRELIMINARE				
1.1	Odore (§ 6.1.1 UNI 1008)	Prospetto 1 UNI 1008	--	Nessun odore. Ammesso un leggero odore di cemento e, laddove nell'acqua siano presenti scorie di altoforno, un leggero odore di idrogeno solforato
1.2	Colore (§ 6.1.1 UNI 1008)	Prospetto 1	--	Incolore, giallo pallido

ID	Descrizione prova	Limiti di accettabilità		
		Norma	Parametro	Valore/Tolleranza
		UNI 1008		
1.3	Presenza di detersivi e schiuma (§ 6.1.1 UNI 1008)	Prospetto 1 UNI 1008	--	Assenza di schiuma stabile per oltre 2 minuti dopo agitazione di 30 secondi
1.4	Osservazione visiva oli e grassi (§ 6.1.1 UNI 1008)	Prospetto 1 UNI 1008	--	Solo tracce visibili
1.5	Sostanza umica (§ 6.1.2 UNI 1008)	Prospetto 1 UNI 1008	Colore	Marrone giallastro o più pallido dopo l'aggiunta di NaOH.
1.6	PH (ISO 4316)	Prospetto 1 UNI 1008	--	≥ 4
1.7	Sostanza in sospensione	§ A4, Prospetto 1 UNI 1008	Acque di recupero cls: -Massa volumica -Materiale solido Acque da altre fonti -sedimento	 > 1,01 kg/l ≤ 1% in peso massa totale aggregati ≤ 4ml
1.8	Massa volumica (§ A.5.1 UNI 1008)	§ A.5.2 UNI 1008	Acque di recupero cls: -Massa volumica	 > 1,01 kg/l
2. PROVE CHIMICHE				
2.1	Contenuto di solfati (estratti UNI EN 196-2)	§ 4.3.2 UNI 1008	SO_4^{2-}	≤ 2000 mg/l
2.2	Contenuto di cloruri (estratti UNI EN 196-21)	Prospetto 2 UNI 1008	Cl^- -per c.a.p o malta per iniezione: -per c.a. o con elementi metallici inglobati: -per cls senza armatura:	 ≤ 500 mg/l ≤ 1000 mg/l ≤ 4500 mg/l
2.3	Contenuto di alcali (estratti UNI EN 196-21)	§ 4.3.3 UNI 1008	Sodio equivalente nell'acqua	≤ 1500 mg/l
2.4	Contenuto zuccheri	Prospetto 3 UNI 1008	--	≤ 100 mg/l
2.5	Contenuto di fosfati	Prospetto 3 UNI 1008	P_2O_5	≤ 100 mg/l
2.6	Contenuto di nitrati (ISO 7890-1)	Prospetto 3 UNI 1008	NO_3^-	≤ 500 mg/l
2.7	Piombo	Prospetto 3 UNI 1008	Pb^{2+}	≤ 100 mg/l
2.8	Zinco	Prospetto 3 UNI 1008	Zn^{2+}	≤ 100 mg/l
3. PROVE FISICO MECCANICHE (solo in presenza di sostanze di cui ai punti delle prove chimiche da 2.4 a 2.8)				
3.1	Confronto tempo iniziale di presa provini cls con acqua produzione (t.i.p.ap) e acqua distillata (t.i.p.ad) (UNI EN 196-3 e §6.1.4 UNI 1008)	§ 4.4 UNI 1008	--	t.i.p.ap ≥ 1h t.i.p.ap ≤ 25% t.i.p.ad
3.2	Confronto tempo finale di presa provini cls con acqua produzione (t.f.p.ap) e acqua distillata (t.f.p.ad) (UNI EN 196-3 e §6.1.4 UNI 1008)	§ 4.4 UNI 1008	--	t.f.p.ap ≤ 12h t.f.p.ap ≤ 25% t.i.p.ad
3.3	Confronto resistenza a compressione a 7gg di provini con cls o malta con acqua produzione (Rck.7gg.ap) e acqua distillata (Rck.7gg.ad) (UNI EN 196-1, UNI 12390-3 e §6.1.4 UNI 1008)	§ 4.4 UNI 1008	--	Rck.7gg.ap ≥ 90% Rck.7gg.ad

Tuttavia, la Direzione dei Lavori potrà effettuare dei controlli ulteriori dei requisiti in conformità alla UNI EN 1008 nel caso si riscontrassero anomalie:

- di una delle verifiche eseguite nella fase di qualifica all'impianto delle miscele cementizie di cui al § 20.8.2 rispetto alle previsioni di prequalifica;
- di una delle prove sui conglomerati cementizi freschi di cui ai §§ 20.10.2 e 20.10.4.1;
- sulla resistenza caratteristica a 28 gg di cui al § 20.10.6.

20.5.4 Additivi

20.5.4.1 Generalità sulla conformità e sull'impiego degli additivi

Gli additivi sono utilizzati per modificare le proprietà della miscela nello stato fresco e/o indurito e devono essere muniti di attestato CE in conformità ai requisiti della norma UNI EN 934-2 come riportato nel paragrafo $11.2.9.4 delle NTC 2018 e con sistema di attestazione della conformità di tipo 2+. Gli additivi per calcestruzzo proiettato invece devono essere muniti di attestato CE in conformità ai requisiti della norma UNI EN 934-5 sempre con sistema di attestazione della conformità di tipo 2+.

~~Gli additivi non rientranti nella norma UNI EN 934-2 devono essere conformi alla norma UNI EN 934-1.~~

Tutti gli additivi che rientrano nello scopo e campo di applicazione della EN 934-2 e della EN 934-5 devono essere conformi ai requisiti generali del prospetto 1 della norma UNI EN 934-1 tra cui si segnala il divieto di utilizzare additivi con contenento di cloro totale e di cloruro solubile in acqua in misura maggiore dello 0,10% in massa dell'additivo stesso.

Il loro tipo e dosaggio dovrà essere definito in fase di qualifica dei conglomerati cementizi per ogni tipo di miscela anche tenendo conto della stagione d'impiego.

Se la quantità totale di additivi liquidi è maggiore di 3 l/mc di calcestruzzo, si deve tenere conto del suo contenuto di acqua quando si calcola il rapporto acqua cemento.

Nel caso in cui si utilizzi più di un additivo, vanno comunque rispettate le prestazioni sia allo stato fresco che allo stato indurito previste dal capitolato.

In generale, a parità di caratteristiche tecniche, si dovrà preferire prodotti più sostenibili dal punto di vista ambientale.

20.5.4.2 Tipi di additivi e requisiti specifici

Gli additivi destinati all'impiego nel calcestruzzo proiettato, i cui requisiti sono specificati nella norma UNI EN 934-5, sono di seguito elencati:

- *Additivo accelerante di presa*: per lo sviluppo di presa molto rapida (i requisiti specifici da rispettare sono indicati nel prospetto 2 della UNI EN 934-5);
- *Additivo accelerante di presa non alcalino*: per lo sviluppo di presa molto rapida con tenore di alcali (indicato come Na_2O equivalente) non maggiore dell'1,0% in massa dell'additivo (i requisiti specifici da rispettare sono indicati nel prospetto 2 della UNI EN 934-5);
- *Additivo regolatore di consistenza*: mantiene la consistenza per un lungo periodo – questo tipo di additivo generalmente è utilizzato in combinazione con un additivo accelerante di presa compatibile (i requisiti specifici da rispettare sono indicati nel prospetto 3 della UNI EN 934-5);
- *Additivo miglioratore di resistenza*: aggiunto alla miscela di calcestruzzo prima o durante il processo di proiezione migliora l'aderenza tra gli strati di calcestruzzo proiettato e/o la superficie del substrato (i requisiti specifici da rispettare sono indicati nel prospetto 4 della UNI EN 934-5).

20.5.4.2.1 Additivi superfluidificanti

Allo scopo di realizzare conglomerati cementizi di ridotta porosità e durevoli a basso rapporto a/c ed elevata lavorabilità, si farà costantemente uso di additivi superfluidificanti approvati dalla Direzione Lavori e provvisti di marcatura CE in accordo alla UNI EN 934-2.

A seconda delle condizioni ambientali esistenti al momento del getto, dei tempi di trasporto e posa in opera/proiezione, della classe ambientale in cui l'opera cui è destinato il calcestruzzo ricade potranno essere impiegati anche additivi multifunzionali ad azione superfluidificante-aerante, superfluidificante-ritardante e superfluidificante-accelerante.

Il loro dosaggio dovrà essere definito in fase di qualifica dei conglomerati cementizi sulla base delle indicazioni riportate nella documentazione tecnica del fornitore.

20.5.4.2.2 Additivi aeranti

Per conglomerati cementizi destinati ad elementi strutturali che durante l'esercizio sono esposti ai cicli di gelo-disgelo (ricadenti in classe di esposizione XF2, XF3 e XF4), si farà uso degli additivi aeranti provvisti di marcatura CE in accordo alla UNI EN 934-2.
La percentuale di aria aggiunta varierà, indicativamente secondo quanto riportato nella Tabella 3, in rapporto alla dimensione massima degli aggregati (D_{max}) e sarà misurata sul conglomerato cementizio fresco prelevato all'atto della posa in opera secondo la relativa norma UNI EN 12350-7.
Come riportato nel paragrafo 20.4.4.1 I calcestruzzi destinati ad elementi ricadenti in classe di esposizione XF2, XF3 e XF4 in caso di assenza di aria inglobata nelle percentuali minime previste dalla norma stessa, dovranno essere sottoposti a verifica della resistenza a cicli di gelo e disgelo, secondo la prova di cui alla norma UNI CEN/TS 12390-9, UNI CEN/TR 15177 o UNI 7087, così come previsto dal prospetto F.1 della UNI EN 206 e dal prospetto 6 della UNI 11104, dimostrando l'equivalenza prestazionale con un calcestruzzo di pari rapporto a/c e contenente aria inglobata grazie all'aerante.

Tabella 3 - Percentuale di aria in funzione del diametro massimo dell'aggregato (valori suggeriti)

D_{max} Aggregati [mm]	% aria aggiunta	
	Minimo	Massimo
10,0	4,5	8,5
12,5	4,0	8,0
20,0	3,5	7,5
25,0	3,5	7,0
32,0	3,0	6,5
40,0	2,5	6,0
50,0	2,0	5,0
75,0	2,0	4,0

L'appaltatore dovrà adottare le opportune cautele affinchè, per effetto dei procedimenti di posa in opera e compattazione attuati, non si abbia una riduzione del tenore di aria effettivamente aggiunta al di sotto dei limiti della tabella. A tale scopo per la qualifica delle miscele aerate si dovrà procedere alla misura della differenza del contenuto di aria del calcestruzzo fresco alla centrale di betonaggio e del calcestruzzo fresco dopo il trasporto e la compattazione (UNI EN 12350-7).
Il contenuto di aria aggiunta nel conglomerato cementizio indurito potrà essere verificato con il procedimento descritto nella UNI EN 480-11. Qualora si riscontri una carenza d'aria rispetto ai quantitativi minimi prescritti (un valore dello spacing superiore a 0,250-0,300 mm), la D.L. procederà all'apertura di una non conformità.
Per gli elementi strutturali precompressi non è previsto l'impiego di calcestruzzo aerato. Se l'opera ricade in classe di esposizione XF2, XF3 o XF4 la resistenza al gelo dovrà essere valutata mediante metodologia prevista dalla UNI 7087 dimostrando l'equivalenza prestazionale con un calcestruzzo di pari rapporto a/c e coerente aria inglobata grazie all'aerante.

20.5.4.2.3 Additivi ritardanti e acceleranti

Gli additivi ritardanti riducono la velocità iniziale delle reazioni tra il legante e l'acqua aumentando il tempo necessario ai conglomerati cementizi per passare dallo stato plastico a quello rigido, senza influenzare lo sviluppo successivo delle resistenze meccaniche, dopo la maturazione a 28 giorni.
Gli additivi acceleranti di presa o di indurimento aumentano la velocità delle reazioni tra il legante e l'acqua e conseguentemente la perdita di lavorabilità e lo sviluppo delle resistenze dei conglomerati cementizi senza pregiudicare significativamente la resistenza finale degli impasti.
Preferibilmente verranno impiegati additivi multifunzionali ad azione superfluidificante-ritardante o superfluidificante-accelerante.
I tipi e i dosaggi impiegati rispondenti alla normativa UNI EN 934-2 dovranno essere preventivamente approvati dalla Direzione Lavori.

20.5.4.3 Controlli sugli additivi

20.5.4.3.1 Controlli documentali

In fase di prequalifica, per ogni tipo di additivo che l'appaltatore intende utilizzare deve essere consegnato alla Direzione Lavori la Dichiarazione di Prestazione CE e la scheda tecnica indicante le caratteristiche dell'additivo stesso.
Inoltre, fino al completamento delle operazioni di getto, su insindacabile richiesta del Direttore dei Lavori, l'Appaltatore dovrà consegnare:

- copia in formato pdf delle bolle di accompagnamento di tutte o parti delle forniture di additivo approvvigionate all'impianto e la Dichiarazione di Prestazione CE.

20.5.4.3.2 Controlli dei requisiti

Visto che gli additivi sono prodotti marcati CE, sono utilizzati in un impianto in possesso di certificazione del sistema di controllo della produzione (FPC) e che le NTC2018 non prescrivono obblighi di accettazione da parte della Direzione Lavori, non si prevede l'esecuzione di prove di laboratorio per il controllo del rispetto dei requisiti né in fase di accettazione, né in corso d'opera.

20.5.5 Aggiunte pozzolaniche

20.5.5.1 Generalità sulla conformità, sul tipo di aggiunte e sul loro utilizzo

E' ammesso l'impiego di aggiunte a comportamento idraulico in conformità alla UNI EN 206 e al Prospetto 3 della UNI 11104:2025.

Aggiunta tipo II	*k*	Denominazione del tipo di cemento (UNI EN 197-1)	Rapporto in massa aggiunta/cemento[a)]	Rapporto acqua/cemento	Requisiti aggiuntivi
Ceneri volanti UNI EN 450-1	0,4	CEM I	≤ 0,33	-	-
		CEM II/A	≤ 0,25		
	0,2[b)]	CEM III/A CEM IV/A(P) CEM V/A (S-P)	≤ 0,25	-	Classe di resistenza del cemento: > 32,5 L[f)]
Fumi di silice UNI EN 13263-1 Classe 1[c) e)]	2,0	CEM I CEM II/A[d)]	≤ 0,11	≤ 0,55	-
	1,0	CEM I CEM II/A[d)]	≤ 0,11	>0,55	
Loppa d'altoforno granulata macinata UNI EN 15167-1	0,6	CEM I CEM II/A	≤ 1.00	-	-

a) E' consentito utilizzare un rapporto aggiunta/cemento maggiore, ma in tali casi non si può tener conto del quantitativo di aggiunta eccedente il limite specificato ai fini del calcolo del rapporto massimo acqua / (cemento + k aggiunta) e del contenuto minimo di (cemento + *k**aggiunte).
b) Il valore riportato deriva da sperimentazioni nazionali su ceneri volanti di categoria A.
c) Il quantitativo di cemento non deve essere ridotto più di 30 kg/m^3 al di sotto del contenuto minimo di cemento richiesto per la classe di esposizione pertinente (prospetto 6).
d) Eccetto cemento Portland composito ai fumi di silice.
e) Per i fumi di silice di classe 2 non sono stabilite dalla presente norma regole per l'uso del concetto del valore *k*.
f) Requisito aggiuntivo riferito ai cementi CEM III/A

20.5.5.2 Ceneri volanti

Le ceneri volanti, dovranno provenire da centrali termoelettriche in grado di fornire un prodotto di qualità costante nel tempo e documentabile, che dovrà essere costantemente controllata.
Le caratteristiche delle ceneri volanti devono essere conformi alla UNI EN 450-1 e in particolare ai requisiti riportati nella Tabella 4.
Se si utilizzano cementi di tipo I e II/A, la quantità di cenere che può essere computata nel calcolo del rapporto acqua/cemento equivalente potrà essere elevata fino al 33% e al 25% della massa del cemento. Se si utilizzano cementi di tipo I e II/A, la quantità di cenere volante potrà essere computata nel dosaggio del cemento e del rapporto a/c sostitendo al termine: "rapporto acqua/cemento" il termine "rapporto acqua/(cemento + K*cenere)" e al termine "dosaggio minimo di cemento" il termine "dosaggio minimo di cemento + K*cenere". La quantità (cemento + K*cenere) non deve essere minore del dosaggio minimo di cemento richiesto ai fini della durabilità in funzione della classe (delle classi) di esposizione ambientale in cui ricade la struttura.

Per K si possono assumere i seguenti valori:
- CEM I K = 0,4
- CEM II/A K= 0,4

È ammesso l'impiego della cenere volante anche con cementi III/A di classe almeno pari alla 32,5N, IV/A(P) e V/A(S-P). In tal caso la quantità di ceneri potrà essere elevata fino al 25% della massa del cemento e per K si assume un valore pari a 0,2.

20.5.5.2.1 Controlli documentali

In fase di prequalifica l'Appaltatore deve consegnare alla Direzione Lavori la Dichiarazione di Prestazione CE e la scheda tecnica indicante le caratteristiche di eventuali ceneri volanti che intende utilizzare.
Inoltre, fino al completamento delle operazioni di getto, su insindacabile richiesta del Direttore dei Lavori, l'Appaltatore dovrà consegnare:
- copia in formato pdf delle bolle di accompagnamento di tutte o parti delle forniture di ceneri volanti approvvigionate all'impianto e la Dichiarazione di Prestazione CE.

20.5.5.2.2 Controlli dei requisiti

Le caratteristiche del prodotto devono rispettare i requisiti della seguente tabella in conformità alla UNI EN 450-1.

Tabella 4 - Caratteristiche delle ceneri volanti

ID	Descrizione prova		Limiti di accettabilità		
		Frequenza prove	Norma	Parametro	Valore/Tolleranza
1. REQUISITI CHIMICI					
1.1	Perdita al fuoco (1 ora EN 196-2)	1/ciascuna fornitura	§ 5.2.2 EN 450-1	Cat. A Cat. B Cat. C	≤ 5% +2% ≤ 7% +2% ≤ 9% +2%
1.2	Contenuto di cloruro	Trimestrale	§ 5.2.3	Cl^-	≤ 0,10% + 0,01%

ID	Descrizione prova		Limiti di accettabilità		
		Frequenza prove	Norma	Parametro	Valore/Tolleranza
	(EN 196-2)	o 1/1000t	EN 450-1		
1.3	Contenuto di anidride solforica (EN 196-2)	Trimestrale o 1/1000t	§ 5.2.4 EN 450-1	SO_3	≤ 3% +0,5%
1.4	Contenuto di ossido di calcio libero (EN 451-1)	Mensile	§ 5.2.5 EN 450-1	-	≤ 1% +0,1% > 1,5% se le ceneri sono conformi con il requisito di stabilità di cui al punto 1.11
1.5	Stabilità volumetrica (se l'ossido di calcio libero è compreso tra 1 e 2,5%) prova le Chatelier UNI EN 196-3	Mensile o 1/200t	§ 5.2.6 EN 450-1	-	≤ 10% +1%
1.6	Contenuto totale di alcali EN 196-2 come sodio equivalente	Mensile	§ 5.2.7 EN 450-1	-	≤ 4% +1%
1.7	Somma contenuti di silice, allumina e ossido di ferro (EN 196-2)		§ 5.2.8 EN 450-1	$SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$	≥ 70% -5%
1.8	Contenuto totali di alcali (EN 196-2)		§ 5.2.9 EN 450-1	Na_2O_{eq}	≤ 5% +0,5%
1.9	Contenuto di ossido di magnesio (EN 196-2)	mensile	§ 5.2.10 EN 450-1	MgO	≤ 3%
1.10	Fosfato solubile (P_2O_5)	mensile	§ 5.2.11 EN 450-1	P_2O_5	< 100 mg/kg
1.11	Stabilità su un cemento con 30% in massa di ceneri volanti e 70 % di cemento prova (EN 196-3)		§ 5.3.3 EN 450-1	--	≤ 10 mm + 1mm
	2. REQUISITI FISICI E MECCANICI				
2.1	Trattenuto al vaglio da 45 µm UNI EN 451/2	Mensile	§ 5.3.1 EN 450-1	Ceneri trattenute al vaglio 0,045 mm	≤ 40% +10%
2.2	Massa volumica reale UNI ENV 196/6	Trimestrale o 1/1000t	§ 5.3.4 EN 450-1	Rispetto al valore dichiarato	±150 t/m^3
2.3	Tempo di inizio presa su una pasta di cemento di prova con 25% in massa ceneri volanti e 75% cemento di riferimento (EN 196-3)		§ 5.3.5 EN 450-1	--	≤ 2 + 0,25 volte t.i. presa pasta 100% cem.
2.4	Fabbisogno d'acqua (appendice B EN 450-1) ceneri volanti categoria S		§ 5.3.6 EN 450-1		≤ 95% ± 2% rispetto a quello di solo cemento
2.5	Indice di attività pozzolanica (UNI EN 196-1 – cem di riferimento CEM I)	Mensile o 1/500t	§ 5.3.2 EN 450-1	A 28 giorni A 90 giorni	≥75% - 5% del solo cemento ≥85% - 5% del solo cemento

Le prove di cui sopra dovranno essere eseguite in sede di qualifica, per ogni cambiamento di fornitore o materiale e ogni 10.000 m³ di getto di calcestruzzo in cui tale aggiunta è utilizzata.

20.5.5.3 Silice ad alta superficie specifica (fumo di silice)

Potranno essere impiegate aggiunte minerali in polveri costituite da silice amorfa ad elevatissima superficie specifica (fumo di silice), anche additivate con superfluidificanti (premiscelato in polvere contenente sia il fumo di silice che l'additivo superfluidificante) al fine di confezionare conglomerati cementizi ad elevata lavorabilità, alta resistenza e durabilità, in particolare in presenza di cicli di gelo/disgelo e di sali disgelanti, quando non si può far ricorso agli additivi aeranti.
I fumi di silice provenienti dalle industrie che producono il silicio metallico e le leghe ferro-silicio, ai fini dell'utilizzazione nel calcestruzzo come aggiunte di tipo II, devono essere conformi alla UNI EN 13263 parte 1 e 2. Le caratteristiche tecniche previste secondo la UNI EN 13263 dovranno essere quelle della Tabella 5.

Tabella 5 - Limiti di composizione per il fumo di silice

Parametri	Limiti
SiO_2	>85%
CaO	<1,2%
SO_3	<2,5%
Na_2O+K_2O	<4,0%
Cl^-	<0,2%
Area specifica B.E.T.	20-35 m^2/g
Silicio elementare, Si	<0,5%

Il fumo di silice può essere utilizzato allo stato naturale (in polvere così come ottenuto all'arco elettrico), come sospensione liquida (slurry) di particelle oppure in sacchi di premiscelato contenenti fumo di silice e additivo superfluidificante. Se impiegato in forma di slurry il quantitativo di acqua apportato dalla sospensione contenente fumo di silice dovrà essere tenuto in conto nel calcolo del rapporto acqua/cemento equivalente.

- La quantità massima di fumo di silice aggiunta all'impasto è pari all'11% della massa del cemento e dovrà essere definita in sede di qualifica preliminare d'intesa con la Direzione Lavori, in relazione alle caratteristiche del calcestruzzo richieste in fase progettuale. Se si utilizzano cementi di tipo I e II/A, la quantità di fumo di silice potrà essere computata nel dosaggio del cemento e del rapporto a/c sostituendo al termine: "rapporto acqua/cemento" il termine "rapporto acqua/(cemento +K*fumo di silice)" e al termine "dosaggio minimo di cemento" il termine "dosaggio minimo di cemento +K+fumo di silice". La quantità (cemento + K*quantità di fumo di silice) non deve essere minore del dosaggio minimo di cemento richiesto ai fini della durabilità in funzione della classe (delle classi) di esposizione ambientali in cui la struttura ricade.
- L'impiego di fumo di silice con cementi diversi da quelli sopramenzionati è subordinato all'approvazione preliminare della D.L.

K assume i seguenti valori:

- CEM I e II/A K=2 per a/c ≤ 0,55
- CEM I e II/A K=1 per a/c > 0,55

20.5.5.3.1 Controlli documentali

In fase di prequalifica l'Appaltatore deve consegnare alla Direzione Lavori l'attestato di conformità CE e la scheda tecnica indicante le caratteristiche del fumo di silice che intende eventualmente utilizzare.

Inoltre, fino al completamento delle operazioni di getto, su insindacabile richiesta del Direttore dei Lavori, l'Appaltatore dovrà consegnare:

- copia in formato pdf delle bolle di accompagnamento di tutte o parti delle forniture di fumo di silice approvvigionate all'impianto e la Dichiarazione di Prestazione CE.

20.5.5.4 Loppa granulata d'altoforno

Potranno essere impiegate aggiunte minerali in polvere costituite da loppa d'altoforno conforme alla UNI EN 15167-1.

La quantità massima di loppa d'altoforno aggiunta all'impasto è pari al 100% della massa del cemento e dovrà essere definita in sede di qualifica preliminare d'intesa con la Direzione Lavori, in relazione alle caratteristiche del calcestruzzo richieste in fase progettuale. Se si utilizzano cementi di tipo I e II/A, la quantità di loppa d'altoforno potrà essere computata nel dosaggio del cemento e del rapporto a/c sostitendo al termine: "rapporto acqua/cemento" il termine "rapporto acqua/(cemento + K* loppa d'altoforno)" e al termine "dosaggio minimo di cemento" il termine "dosaggio minimo di cemento + K*loppa d'altoforno". La quantità (cemento + K*loppa d'altoforno) non deve essere minore del dosaggio minimo di cemento richiesto ai fini della durabilità in funzione della classe (delle classi) di esposizione ambientale in cui ricade la struttura.

K assume i seguenti valori:

- CEM I e II/A K=0,6

20.5.5.4.1 Controlli documentali

In fase di prequalifica l'Appaltatore deve consegnare alla Direzione Lavori l'attestato di conformità CE e la scheda tecnica indicante le caratteristiche di eventuale loppa di altoforno che intende utilizzare.
Inoltre, fino al completamento delle operazioni di getto, su insindacabile richiesta del Direttore dei Lavori, l'Appaltatore dovrà consegnare:

- copia in formato pdf delle bolle di accompagnamento di tutte o parti delle forniture di loppa di altoforno approvvigionate all'impianto e la Dichiarazione di Prestazione CE.

20.5.5.4.2 Controlli dei requisiti

Tuttavia le caratteristiche del prodotto devono rispettare i requisiti della seguente tabella in conformità alla UNI EN 15167-1.

ID	Descrizione prova	Limiti di accettabilità		
		Norma	Parametro	Valore/Tolleranza
1. REQUISITI CHIMICI				
1.1	Contenuto di ossido di magnesio (EN 196-2)	§ 5.2 EN 15167-1	--	≤ 18%+1%
1.2	Contenuto di solfuro (EN 196-2)	§ 5.2 EN 15167-1	--	≤ 2%+0,5%
1.3	Contenuto di solfato (EN 196-2)	§ 5.2 EN 15167-1	--	≤ 2,5%+0,5%
1.4	Perdita al fuoco (EN 196-2)	§ 5.2 EN 15167-1	--	≤ 3,0%+0,5%
1.5	Contenuto di cloruro (EN 196-2)	§ 5.2 EN 15167-1	--	≤ 0,10% se >0,10% occorre dichiarare il valore di cloruro da non superare
1.6	Tenore di umidità (appendice A EN 15167-1)	§ 5.2 EN 15167-1	--	≤ 1%+0,5%
1.7	Contenuto in massa della somma di ossido di calcio, ossido di magnesio e biossido di silicio (EN 196-2)	§ 4 EN 15167-1	$CaO + MgO + SiO_2$	≥ 2/3 della massa totale
1.8	Contenuto in massa della somma di ossido di alluminio e altri composti (EN 196-2)	§ 4 EN 15167-1	Al_2O_3 + altri composti	≤ 1/3 della massa totale
1.9	Rapporto in massa (CaO + MgO)/SiO_2 (EN 196-2)	§ 4 EN 15167-1	$CaO + MgO)/SiO_2$	> 1,0
1.10	Contenuto di coadiuvante di macinazione e suo contenuto organico	§ 4 EN 15167-1	Coadiuvante contenuto organico	≤ 1% della massa totale ≤ 0,2% della massa totale
2. REQUISITI FISICI E MECCANICI				
2.1	Finezza (EN 196-6)	§ 5.3.1 EN 15167-1	Superficie specifica	≥ 275 m^2/kg - 15 m^2/kg
2.2	Tempo di inizio presa (EN 196-3) di una miscela 50% loppa d'altoforno e 50% cemento di prova	§ 5.3.2.2 EN 15167-1	--	≤ 2 volte il tempo di inizio presa della miscela con solo cemento (tolleranza +0,25)
2.3	Indice di attività	§ 5.3.2.3 EN 15167-1	Rapporto tra la Rc miscela di 50% (in massa) di loppa d'altoforno e 50% di cemento di prova con Rc miscela di solo cemento di prova: a 7 giorni a 28 giorni	 ≥ 45% - 5% ≥ 70% - 5%

Le prove di cui sopra dovranno essere eseguite in sede di qualifica, per ogni cambiamento di fornitore o materiale e ogni 10.000 m³ di getto di calcestruzzo in cui tale materiale è utilizzato.

20.5.5.5 Altre tipi di aggiunte

Aggiunte di tipo II non incluse tra quelle sopra indicate, se marcate CE sulla base di una Valutazione Tecnica Europea (ETA) o dotate di un Certificato di Valutazione Tecnica (CVT) rilasciato dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, possono essere utilizzate nella produzione del calcestruzzo sulla base delle specifiche dei documenti di valutazione tecnica di riferimento, come previsto dalla UNI 11104:2025

20.5.5.6 Controlli sui pigmenti

20.5.5.6.1 Controlli documentali

In fase di prequalifica l'Appaltatore deve consegnare alla Direzione Lavori l'attestato di conformità CE e la scheda tecnica indicante le caratteristiche di eventuali pigmenti che intende utilizzare.
Inoltre, fino al completamento delle operazioni di getto, su insindacabile richiesta del Direttore dei Lavori, l'Appaltatore dovrà consegnare:

- copia in formato pdf delle bolle di accompagnamento di tutte o parti delle forniture di pigmenti approvvigionati all'impianto e la Dichiarazione di Prestazione CE.

20.5.5.6.2 Controlli dei requisiti

Visto che i pigmenti sono un prodotto marcato CE, sono utilizzati in un impianto in possesso di certificazione del sistema di controllo della produzione (FPC) e che le NTC2018 non prescrivono obblighi di accettazione da parte della Direzione Lavori non si prevede l'esecuzione di prove di laboratorio per il controllo del rispetto dei requisiti né in fase di accettazione, né in corso d'opera.
Tuttavia le caratteristiche del prodotto devono rispettare i requisiti della seguente tabella in conformità alla UNI EN 12878 e se utilizzati per calcestruzzo armato devono essere di categoria B.

ID	Descrizione prova	Limiti di accettabilità		
		Norma	Parametro	Valore/Tolleranza
1. REQUISITI CHIMICI				
1.1	Contenuto delle sostanze solubili in acqua	§ 4.2.3 EN 12878	per singolo pigmento o miscela di pigmenti: se usati in aggiunta a particolari additivi in massa del totale: con particolari additivi a base carbone in massa del totale:	≤ 0,5% ≤ 5% ≤ 8%
1.2	Contenuto di cloruro solubile	§ 4.2.4 EN 12878	--	≤ 0,10% in massa
1.3	Contenuto di cloruro del singolo pigmento o della miscela	§ 4.2.5 EN 12878	--	≤ 0,10% in massa
2. REQUISITI MECCANICI				
2.1	Resistenza a compressione a 28 giorni della miscela con pigmento	§ 4.1.3 EN 12878	Riduzione della resistenza	≤ 8% della resistenza a compressione a 28 giorni della miscela senza pigmento

20.5.6 Fibre

20.5.6.1 Generalità sulla conformità e sull'impiego delle fibre

Le fibre possono essere utilizzate per il confezionamento di calcestruzzi fibro-rinforzati o di calcestruzzo proiettati e, per uso strutturale, devono essere munite, come richiesto dalle NTC2018, di attestato CE con sistema di attestazione della conformità di tipo 1 (per impieghi non strutturali quali ad esempio calcestruzzi fibrorinforzati per pavimentazioni stradali è sufficiente un sistema di attestazione di conformità 3) in conformità ai requisiti delle norme:

- UNI EN 14889-1 per fibre in acciaio;

- UNI EN 14889-2 per fibre in materiale polimerico.

Gli scopi di addizionare delle fibre alla miscela sono i seguenti:
- miglioramento del comportamento a trazione e a trazione per flessione nella fase post-fessurativa;
- aumento della tenacità e della duttilità (capacità di assorbire energia in fase post fessurativa);
- aumento della resistenza ad azioni cicliche (fatica);
- mitigazione del quadro fessurativo promosso da fenomeni di natura termo-igrometrica.

Le fibre devono essere aggiunte alla miscela con modalità che ne assicurino la dispersione in modo uniforme in tutto l'impasto. In generale dovranno essere incorporate nel conglomerato già impastato avendo cura che la loro immissione e l'ulteriore miscelazione dell'impasto avvengano immediatamente prima della posa in opera.

20.5.6.2 Controlli sulle fibre

20.5.6.2.1 Controlli documentali

In fase di prequalifica l'Appaltatore deve consegnare alla Direzione Lavori l'attestato di conformità CE e la scheda tecnica indicante le caratteristiche delle fibre eventualmente previste in progetto. Occorre verificare che i dosaggi proposti nella ricetta di qualifica siano conformi a quelli definiti in progetto e nelle specifiche del produttore di cui alle schede tecniche.
Inoltre, fino al completamento delle operazioni di getto, su insindacabile richiesta del Direttore dei Lavori, l'Appaltatore dovrà consegnare:

- copia in formato pdf delle bolle di accompagnamento di tutte o parti delle forniture di fibre approvvigionate all'impianto e la Dichiarazione di Prestazione CE.

20.5.6.2.2 Controlli dei requisiti

Le caratteristiche del prodotto devono essere conformi alla norma UNI EN 14889-1 e 2, e marcate CE. Il fornitore deve dichiarare le prestazioni minime richieste da progetto.

20.6 Criteri di accettazione per la confezione dei conglomerati cementizi

Tutto il calcestruzzo utilizzato, sia prodotto in cantiere sia esternamente allo stesso, dovrà essere preconfezionato in un impianto in possesso di certificazione del sistema di controllo della produzione (FPC) ottenuto con processo industrializzato mediante impianti idonei ad una produzione costante, con personale e attrezzature capaci di valutare e correggere la qualità del prodotto. Come previsto nel capitolo 11.2.8 delle NTC 2018, detto sistema di controllo deve essere certificato da organismi terzi indipendenti che operano in coerenza con la norma UNI CEI EN ISO/IEC 17021-1, autorizzati dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici sulla base di criteri appositamente emanati dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici. Gli impianti devono essere dotati altresì di un sistema di gestione della qualità secondo UNI EN 9001 certificato da un organismo terzo indipendente.
L'Appaltatore è tenuto a garantire la continuità nella fornitura di calcestruzzo individuando un congruo numero di impianti da utilizzarsi in caso di emergenza (es. rotture del primo impianto, picchi di produzione ecc..).
Sarà da privilegiare l'impiego di mescolatori fissi per i calcestruzzi. Qualora l'impianto non sia provvisto di mescolatore fisso, l'Esecutore dovrà fornire alla Direzione Lavori apposita procedura di lavoro che descriva le modalità di miscelazione.
Gli impianti di betonaggio saranno del tipo automatico o semiautomatico, con dosatura a peso degli aggregati, dell'acqua, delle aggiunte minerali e del cemento e a volume per gli additivi; la precisione delle apparecchiature per il dosaggio saranno quelli della Norma UNI EN 206; dovrà essere controllato il contenuto d'umidità degli aggregati in funzione del quale dovrà essere corretto il

dosaggio nominale dell' acqua di impasto e quello degli aggregati.
Per l'acqua è ammessa anche la dosatura a volume. La dosatura effettiva dell'acqua dovrà essere realizzata con precisione del 3% ed i relativi dispositivi dovranno essere tarati almeno una volta ogni due mesi o comunque quando richiesto dalla Direzione Lavori.
La dosatura effettiva degli aggregati e del cemento dovrà essere realizzata con precisione del 3%.
Le bilance dovranno essere revisionate almeno una volta ogni due mesi e tarate all'inizio del lavoro e successivamente almeno una volta l'anno e comunque quando richiesto dalla Direzione Lavori.
I dispositivi di misura del cemento, dell'acqua degli additivi e delle aggiunte dovranno essere del tipo individuale. Le bilance per la pesatura degli aggregati possono essere di tipo cumulativo (peso delle varie pezzature con successione addizionale).
I silos del cemento e delle aggiunte minerali debbono garantire la tenuta nei riguardi dell'umidità atmosferica.
Il tempo e la velocità di mescolamento dovranno essere tali da produrre un conglomerato rispondente ai requisiti d'omogeneità di cui ai successivi paragrafi.
L'impasto dovrà risultare di consistenza uniforme ed omogeneo, uniformemente coesivo (tale cioè da essere trasportato e manipolato senza che si verifichi la separazione dei singoli elementi) e lavorabile in modo da rispettare i requisiti previsti per la consistenza al getto.

20.7 Criteri di accettazione dei giunti di tenuta tipo water-stop

Tutti i materiali utilizzati devono essere approvati dalla Direzione Lavori previa presentazione della relativa scheda tecnica a dimostrazione della conformità alle specifiche progettuali secondo le indicazioni di cui al § 34.3

20.8 Qualifica dei conglomerati cementizi

L'appaltatore, sulla scorta delle prescrizioni contenute nei progetti esecutivi delle opere in conglomerato cementizio semplice e armato (normale e precompresso) e del presente Capitolato, per la scelta dei materiali e la definizione delle miscele dovrà fare riferimento ai seguenti parametri:

- Classe di esposizione in funzione delle condizioni ambientali (UNI EN 206 e UNI 11104);
- Resistenza caratteristica a compressione C(f_{ck}/R_{ck});
- Durabilità delle opere (UNI EN 11417, parti 1 e 2);
- Lavorabilità al getto (abbassamento al cono UNI EN 12350-2 o altre prove se previsto);
- Tipi di cemento e dosaggi minimi ammessi;
- Classe di GWP; (ove specificato in progetto)
- Classe CAM di contenuto di materie recuperate, riciclate e sottoprodotti;
- Tipi di additivi e di eventuali aggiunte minerali e relativi dosaggi ottimali da utilizzarsi;
- Resistenza a trazione per flessione (UNI EN 12390-13) (ove richiesto);
- Contenuto di aria del conglomerato cementizio fresco (UNI EN 12350-7) (ove richiesto);
- Resistenza ai cicli di gelo-disgelo (UNI 7087, UNI EN 12390-9) (ove richiesto);
- Impermeabilità all'acqua (UNI EN 12390-8) (ove richiesto);
- Accorgimenti da adottare in caso di lavorazioni da eseguirsi in presenza di temperature rigide (al di sotto di 5°C) o in clima caldo (al di sopra di 30°C);
- Sviluppo di calore e incremento di temperatura nei getti (ove richiesto);
- Classi di contenuto cloruri.

20.8.1 Dossier di prequalifica

L'Appaltatore è tenuto ad effettuare la qualificazione iniziale (prequalifica) di ciascuna miscela omogenea di calcestruzzo da impiegare (§ 11.2.3 NTC2018), attraverso idonee prove di studio ed acquisizione di idonea documentazione con lo scopo di accertare, prima dell'inizio dei getti, una serie di proprietà del conglomerato sia allo stato fresco che indurito e in particolare la resistenza caratteristica di ogni miscela. In linea di massima, non è necessario effettuare una nuova prequalifica

qualora, per far fronte alle variazioni della temperatura ambientale e alle conseguenti variazioni della perdita di lavorabilità durante il trasporto del calcestruzzo, si debba procedere ad una variazione del tipo/dosaggio di additivo superfluidificante (rispetto a quello definito in fase di prequalifica) pari a ±0,25% rispetto alla massa del cemento. Allo stesso modo, per far fronte alle inevitabili variazioni della granulometria delle singole frazioni granulometriche utilizzate nel confezionamento dell'impasto, in linea di massima non è necessario procedere ad una nuova prequalifica allorquando la variazione della granulometria dell'aggregato combinato (la granulometria derivante dalla combinazione delle frazioni granulometriche disponibili), rispetto a quella identificata in fase di prequalifica, sia compresa in un fuso granulometrico di ± 5% per gli aggregati fini agli stacci di 0,125, 0,250mm; ±8% per gli aggregati fini allo staccio di 0,5mm e 1 mm; ± 10% per gli aggregati allo staccio di 2 e 4 mm e ± 15% per gli aggregati grossi agli stacci 8, 16, 22, 32 mm. Tali variazioni della composizione del calcestruzzo sono ammesse purché la lavorabilità al getto, la resistenza a compressione caratteristica (e in generale tutte le proprietà reologiche, meccaniche e di durabilità) risultino conformi a quelle previste nel progetto. Resta in ogni caso responsabilità dell'appaltatore garantire il conseguimento dei valori di lavorabilità e di resistenza a compressione caratteristica oltre agli altri requisiti di progetto. Nello specifico l'Appaltatore deve sottoporre all'esame della Direzione Lavori, almeno 40 giorni prima dell'inizio dei getti, un *"Dossier di prequalifica"* contenente:

a) Lo studio dei conglomerati cementizi ai fini della durabilità, eseguito secondo quanto precisato successivamente;
b) La caratterizzazione granulometrica degli aggregati e i dati di assorbimento delle varie frazioni dell'aggregato;
c) Il tipo e il dosaggio di cemento, il rapporto acqua/cemento, lo studio della composizione granulometrica degli aggregati, il tipo e il dosaggio degli additivi che intende usare, il contenuto di aria aggiunta (ove previsto), il valore previsto della consistenza al cono (o altro metodo su richiesta), per ongi tipo e classe di conglomerato cementizio;
d) Nel caso di rispetto dei requisiti CAM, le dichiarazioni ambientali di prodotto (EPD) degli ingredienti utilizzati nel confezionamento del calcestruzzo; nel caso di rispetto dei requisiti GWP, la dichiarazione ambientale di prodotto del calcestruzzo desunta sulla base della composizione nominale. La EPD del calcestruzzo dovrà essere esibita prima dell'inizio della fornitura una volta che la prequalifica ha individuato la composizione definitiva dell'impasto oltre che degli ingredienti;
e) Le caratteristiche dell'impianto di confezionamento, i sistemi di trasporto, di getto e di maturazione;
f) La documentazione che attesta una produzione con processo industrializzato del calcestruzzo;
g) I risultati delle prove di prequalifica all'impianto;
h) le caratteristiche degli impianti di confezionamento corredate dalla certificazione del sistema di controllo della produzione (FPC) di calcestruzzo preconfezionato dell'impianto di produzione, che potrà essere interno o esterno al cantiere (certificato da organismi terzi indipendenti autorizzati dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici) e dalla certificazione del Sistema di Gestione per la Qualità secondo UNI EN 9001 dell'impianto di produzione certificato da un organismo terzo indipendente. Si ricorda come prescritto al § 20.6 che l'Appaltatore è tenuto a garantire la continuità nella fornitura di calcestruzzo individuando un congruo numero di impianti da utilizzarsi in caso di emergenza (es. rotture del primo impianto, picchi di produzione ecc..);
i) il Piano Generale di Fabbricazione e Controlli dello stabilimento di produzione con l'indicazione delle tecnologie, metodologie e sistemi di controllo utilizzati in impianto (Piano Controllo della Qualità di produzione) per garantire la qualità attesa. Il piano dovrà essere corredato da una

procedura che identifichi le modalità di qualifica dei fornitori nonché le modalità di identificazione e rintracciabilità dei prodotti e di tenuta sottocontrollo delle strumentazioni di misura.

j) la documentazione comprovante la marcatura CE di ogni materiale costituente ciascuna miscela o altra documentazione del produttore e relative schede tecniche;

k) i certificati di prova afferente la resistenza caratteristica a compressione a 28 giorni R_{ck}, secondo UNI EN 12390-3,4 seguendo le indicazioni dell'Appendice A della UNI EN 206 con l'esecuzione di almeno tre provini prelevati da tre impasti distinti;

l) le curve di resistenza nel tempo con misure a 2, 7, 14, 28 giorni. Ove richiesto potrà essere determinata la resistenza a compressione a 60 e 90 giorni (per procedere alla qualifica non è necessario attendere le prove a 60 e 90gg che successivamente integreranno il dossier di prequalifica). Salvo diverse indicazioni da parte della Direzione Lavori la definizione dello sviluppo di resistenza del calcestruzzo (lento, medio o rapido) avviene mediante il paramtero "r" definito come f_{cm2}/fcm28;

m) il certificato per il contenuto di aria aggiunta (aria inglobata mediante additivi aeranti) nella miscela secondo la UNI EN 206 e UNI 11104, i certificati indicanti la massa volumica del calcestruzzo fresco secondo la UNI EN 12350/6 e calcolo della resa, la massa volumica reale s.s.a ed assorbimento secondo la UNI EN 1097;

n) I certificati della classe di consistenza della miscela da asciutta a superfluida valutata secondo la UNI EN 12350/1 con i tre metodi delle UNI 12350/2,3,4 (per i calcestruzzi autocompattanti: la classe di spandimento SF e la classe di viscosità t500 secondo la UNI EN 12350-8; la resistenza alla segregazione in riferimento alla UNI EN 12350-11);

o) ai fini della rispondenza dei requisiti di durabilità di cui a § 20.4.3, § 20.4.4.2, § 20.4.4.3 § 20.4.5.7, è previsto l'obbligo di eseguire prove di prequalifica come da §20.10.3. In ogni caso, l'Appaltatore, di concerto con il produttore di calcestruzzo, deve riportare in una nota tecnica da allegare al dossier di prequalifica, gli studi sugli impasti e le azioni che intende intraprendere per la rispondenza dei calcestruzzi ai requisiti di durabilità richiesti;

p) i certificati di taratura di tutte le strumentazioni di misurazione di cui è dotato l'impianto in corso di validità;

q) i sistemi di trasporto e la valutazione del mantenimento della lavorabilità e delle caratteristiche delle varie miscele di calcestruzzo dall'impianto di produzione al luogo del getto in funzione della durata massima del trasporto e delle varie temperature stagionali a cui l'Appaltatore prevede di eseguire i getti. Relativamente a questo aspetto, l'Appaltatore deve indicare l'intervallo di valori del dosaggio dell'additivo superfluidificante che consente di rispettare il requisito previsto per la consistenza al getto a dipendenza delle condizioni ambientali;

r) le modalità di getto, compattazione, di stagionatura (maturazione) e scasseratura in funzione dello sviluppo di resistenza del calcestruzzo "r" (= f_{cm2}/f_{cm28}) e delle condizioni climatiche ambientali nei limiti definiti nel § 20.12.14, compresi gli accorgimenti da adottare soprattutto in caso di condizioni climatiche estreme (freddo e caldo) di temperatura ed umidità nel rispetto dei limiti stabiliti nel presente articolo di calpitolato. La durata della maturazione umida e della scasseratura potranno essere stabiliti dalla DL anche con parametri diversi da "r";

s) le schede tecniche dei giunti di tenuta tipo water-stop eventualmente presenti;

t) per calcestruzzi a ritiro compesato occorre definire compiutamente il mix secondo i contenuti del § 20.4.5.7 riportando i limiti di ritiro 1, 7, 28 giorni fissati dal progetto. Ove richiesto i limiti per il ritiro potranno essere fissati anche a scadenza diverse da quelle sopramenzionate;

u) per calcestruzzi proiettati la descrizione dell'equipaggiamento che si intende impiegare per miscelare ed applicare il CP (pompa, lancia, dosatore), includendo istruzioni, raccomandazioni e prestazioni attese fornite dal costruttore e una descrizione dei metodi che si intende attuare per porre in opera il calcestruzzo (per via secca e/o per via umida) e la descrizione della

strumentazione topografica per il controllo in continuo dello spessore, garantendo le volute posizioni e allineamenti;

v) per ciascuna miscela omogenea di calcestruzzo fibrorinforzato FRC di cui al § 20.4.5.9:
   a. il certificato di valutazione tecnica CVT rilasciato dal Presidente del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici sulla base e in conseguenza delle linee guida approvate;
   b. contenuto di fibre e modalità di miscelazione;
   c. il certificato di laboratorio di cui all'art. 59 del DPR 380/2001 per n. 3 prelievi (6 provini) per la prova di flessione secondo la norma UNI EN 14651 di ogni miscela omogenea. Le prove come previsto nella: "Linea guida per l'identificazione, la qualificazione, la certificazione di valutazione tecnica ed il controllo di accettazione dei calcestruzzi fibrorinforzati FRC (Fiber Reinforced Concrete)" n.208_2019 saranno eseguite dopo 28 giorni di maturazione in ambiente controllato con temperatura T = 20 ± 2 °C e UR ≥ 95%. Relativamente alle prove di flessione, per un totale di prelievi da miscela omogenea inferiore a 15, il controllo di accettazione è superato se il valore medio di $f_{R,1}$ e $f_{R,3}$ ($f_{R,1m}$, $f_{R,3m}$) rispetta tutti i requisiti di seguito indicati:
      i. $f_{R,1m}/ f^{f}_{ct,Lm} > 0,4$
      ii. $f_{R,1m} > 1,3\ f_{R,1k}$
      iii. $f_{R,1min} > 0,7\ f_{R,1k}$
      iv. $f_{R,3m} > 1,3\ f_{R,3k}$
      v. $f_{R,3min} > 0,7\ f_{R,3k}$

      ove i valori caratteristici $f_{R,1k}$ e $f_{R,3k}$ sono i valori nominali e si riferiscono alla classe di appartenenza dichiarata per il FRC.
   d. Per un numero totale di prelievi da miscela omogena uguale o superiore a 15 il controllo di accettazione è superato sei il valore medio di di $f_{R,1}$ e $f_{R,3}$ ($f_{R,1m}$, $f_{R,3m}$) rispetta tutti i requisiti di seguito indicati:
      i. $f_{R,1m}/ f^{f}_{ct,Lm} > 0,4$
      ii. $f_{R,1m} > f_{R,1k} + 1,48\ s$
      iii. $f_{R,1min} > 0,7\ f_{R,1k}$
      iv. $f_{R,3m} > f_{R,3k} + 1,48\ s$
      v. $f_{R,3min} > 0,7\ f_{R,3k}$

      ove i valori caratteristici $f_{R,1k}$ e $f_{R,3k}$ sono i valori nominali e si riferiscono alla classe di appartenenza dichiarata per il FRC.

w) il curriculum di un tecnologo qualificato in materia di conglomerati cementizi con cui la Direzione Lavori potrà interloquire per gli aspetti tecnici. In caso di calcestruzzo proiettato occorre fornire anche il curruculm del lancista con adeguata esperienza in funzione della dimensione e della tipologia dell'attività da svolgere;

Le prove di prequalifica di tutte le miscele di cui sopra potranno effettuarsi sia per mezzo di laboratori autorizzati ai sensi dell'art 59 del DPR 380/01 (con emissione di certificato) sia internamente al produttore (con emissione di rapporti di prova).
Ad insindacabile giudizio del Direttore dei Lavori la prequalifica all'impianto potrà essere ripetuta ogni qual volta si prevedesse una variazione dei materiali, dei fornitori o dell'impianto o si riscontrassero problemi sulle miscele nel corso dei lavori.

20.8.2 Qualifiche

20.8.2.1 Premesse comuni

Il Direttore dei Lavori sottoporrà tutte le miscele prequalificate a qualifica in impianto. La qualifica deve essere fatta almeno per ogni classe di esposizione e resistenza caratteristica dei conglomerati. Le qualifiche sono sempre da eseguire in contraddittorio tra il personale dell'Appaltatore, della Direzione Lavori e dell'impianto. Il laboratorio utilizzato sarà autorizzato ai sensi dell'art 59 del DPR 380/01 incaricato dalla Commmittente/Direzione Lavori.
Ad insindacabile giudizio del Direttore dei Lavori la qualifica all'impianto potrà essere ripetuta ogni qual volta si prevedesse una variazione dei materiali, dei fornitori o dell'impianto o si riscontrassero problemi sulle miscele nel corso dei lavori. In linea di massima, non è necessario effettuare una nuova prequalifica qualora, per far fronte alle variazioni della temperatura ambientale e alle conseguenti variazioni della perdita di lavorabilità durante il trasporto del calcestruzzo, si debba procedere ad una variazione del tipo/dosaggio di additivo (rispetto a quello definito in fase di prequalifica) pari a ±0,25% rispetto alla massa del cemento. Allo stesso modo, per far fronte alle inevitabili variazioni della granulometria delle singole frazioni granulometriche utilizzate nel confezionamento dell'impasto, in linea di massima non è necessario procedere ad una nuova prequalifica allorquando la variazione della granulometria dell'aggregato combinato (la granulometria derivante dalla combinazione delle frazioni granulometriche disponibili), rispetto a quella identificata in fase di prequalifica, sia compresa in un fuso granulometrico di $\pm$ 5% per gli aggregati fini agli stacci di 0,125, 0,250mm; $\pm$8% per gli aggregati fini allo staccio di 0,5mm e 1 mm; $\pm$ 10% per gli aggregati allo staccio di 2 e 4 mm e $\pm$ 15% per gli aggregati grossi agli stacci 8, 16, 22, 32 mm. Tali variazioni della composizione dell'impasto sono ammesse purchè la lavorabilità al getto e la resistenza a compressione caratteristica (oltre a tutte le proprietà reologiche, meccaniche e di durabilità) risultino conformi a quelle previste nel progetto. Resta in ogni caso responsabilità dell'appaltatore garantire il conseguimento dei valori di lavorabilità e di resistenza a compressione caratteristica di progetto.
Tutti gli oneri e gli eventuali ritardi causati dalle ripetizioni delle prove a causa dell'esito negativo all'impianto di confezionamento saranno a totale carico dell'Appaltatore.
L'Appaltatore deve tenere conto dei tempi di qualifica nella programmazione delle sue attività. Allo scopo l'Appaltatore, entro 5 giorni dalla consegna del dossier di prequalifica, è tenuto ad organizzare ed iniziare la qualifica all'impianto delle miscele.

20.8.2.2 All'impianto per calcestruzzi eccetto quelli di cui al §20.8.2.3 e §20.8.2.4

A prescindere dall'obbligo di eseguire sempre la qualifica presso l'impianto di preconfezionamento, occorre prestare la massima attenzione nei seguenti casi per verificare:

- ai fini della rispondenza dei requisiti di durabilità di cui a § 20.4.3.
- calcestruzzi con classi di resistenza superiori a C45/55;
- calcestruzzi a ridotta emissione di CO_2 nell'atmosfera di cui al § 20.4.5.8;
- l'efficienza di quegli impianti mobili di betonaggio in cantiere utilizzati anche per la produzione in continuo di prodotti diversi dai conglomerati cementizi (ad esempio cementati) ove si abbia il dubbio che l'alternanza di produzione tra un prodotto cementizio ed un altro possa influire sulla qualità delle miscele;
- la correttezza di quelle miscele la cui ricetta è ritenuta particolarmente complessa;
- quelle miscele omogenee utilizzate in grandi volumi (≥ 2.000 mc).

La qualifica consiste nell'effettuare, su almeno tre impasti consecutivi e sul tipo di miscele indicate dalla Direzione Lavori, le seguenti verifiche:

1. il valore medio della resistenza a compressione a 28 giorni (R_m) , misurato su almeno 4 prelievi (ciascuno di due provini) deve essere:

- per $R_{ck} < 30$ N/mm^2 $R_m \geq 1{,}25\ R_{ck}$
- per 30 N/mm^2 $\leq R_{ck} \leq 40$ N/mm^2 $R_m \geq 1{,}20\ R_{ck}$
- per $R_{ck} > 40$ N/mm^2 $R_m \geq 1{,}15\ R_{ck}$

con valore minimo di ogni singolo prelievo $R_i \geq R_{ck}$;

dovrà anche essere misurata la resistenza a compressione a 2 e 7 giorni. Le resistenze medie a compressione per ciascun tipo di calcestruzzo, misurate a 2 e 7 giorni sui provini prelevati dall'impasto di prova all'impianto, non devono discostarsi di ±15% dalle resistenze indicate nella relazione di prequalifica. Il Direttore dei Lavori ha la facoltà di integrare la frequenza dei giorni per la verifica della resistenza a compressione, oltre a quelle indicate di 2 e 7 giorni, in presenza di particolari condizioni operative o di calcestruzzi speciali tipo quelli a indurimento rapido.

2. La classe di consistenza che deve risultare conforme alla classe richiesta con una tolleranza di ± 30 mm rispetto al valore di riferimento:
   - per almeno 60 minuti per temperature fino a 20°C;
   - per almeno 45 minuti per temperature fino a 30°C.

   Quanto sopra salvo requisiti diversi definiti in Progetto, individuatl dalla Direzione dei Lavori o dall'Appaltatore durante la prequalifica, in funzione delle condizioni di impiego;
3. il valore della massa volumica del calcestruzzo fresco che non deve discordarsi oltre il ± 3% del valore nominale definito con la prequalifica;
4. deve essere verificata l'omogeneità del calcestruzzo all'atto del getto su due campioni, prelevati rispettivamente a 1/5 e 4/5 dello scarico della betoniera; deve risultare:
   - una differenza dell'abbassamento al cono non superiore a 30 mm,
   - una differenza tra le percentuali in peso di passante al vaglio a maglia quadrata da 4 mm dei due campioni non superiore al 4%,
5. il rapporto acqua/cemento determinato secondo le modalità previste nella Norma UNI 11201, non deve differire di + 0.03 da quello dichiarato nella prequalifica;
6. il bleeding (secondo UNI 7122, p. 5.2) deve essere minore dello 0,1% dell'acqua di impasto.
7. il contenuto d'aria secondo la Norma UNI EN 12350-7 per i calcestruzzi aerati.
8. prove di qualifica (con maturazione minima a cui effettuare le relative prove di 28gg e la resistenza a cicli di gelo/disgelo è da effettuare nei casi in cui si scelga di qualificare miscele XF2, XF3 o XF4 senza impiego di aerante) come da §20.4.4.1, § 20.4.4.3 § 20.4.5.7.

20.8.2.3 Calcestruzzo proiettato

I calcestruzzi proiettati di tipo strutturale permanente (qualsiasi sia la destinazione d'uso) dovranno essere sottoposti ad un procedimento di qualifica, così come di seguito dettagliato. Per usi temporanei anche strutturali la qualifica non è richiesta.

La fase di qualifica dovrà consistere dalla realizzazione di un campo di prova con l'esecuzione di un simulacro del manufatto da realizzare, impiegando le stesse attrezzature e manodopera e operando in condizioni analoghe a quelle previste per l'applicazione reale. Se ritenuto fattibile dal Direttore dei Lavori il simulacro può coincidere con una piccola porzione dell'opera di progetto con la consapevolezza per l'Appaltatore che, nel caso la qualifica non dia i risultati attesi, c'è l'obbligo di demolire a sua cura e spese, la parte di calcestruzzo proiettato compresi gli oneri di trasporto e smaltimento e compreso il completo ripristino dei luoghi.

In occasione della realizzazione del campo prova, verranno verificate l'attitudine della miscela che si intende impiegare ad essere applicata mediante proiezione, l'idoneità dell'attrezzatura che si intende impiegare, le modalità di proiezione e gli accorgimenti per la maturazione.

Inoltre, verranno verificate le principali prestazioni del conglomerato proiettato misurate sia su pannelli di prova appositamente prodotti come descritto al § 5.4 della UNI EN 14488-1, sia sul simulacro realizzato.
I prelievi dovranno essere eseguiti con le modalità indicate ai § 5.6 e 5.7 della UNI EN 14488-1; in particolare, si procederà a misurare le seguenti grandezze:

- classe di consistenza del calcestruzzo proiettato di riferimento;
- massa volumica e aria inglobata nel calcestruzzo proiettato di riferimento;
- dosaggio degli additivi impiegati per la proiezione;
- contenuto di fibre secondo UNI EN 14488-5 (se applicabile)
- verifica dello sfrido;
- resistenza meccanica del calcestruzzo giovane mediante i metodi A e B della UNI EN 14488-2 (se richiesto in progetto);
- resistenza meccanica a compressione (secondo UNI EN 12504-1 su carote estratte dal simulacro e dai pannelli di prova);
- massa volumica del calcestruzzo indurito (secondo UNI EN 12350-6 sulle carote estratte dal simulacro e dai pannelli di prova);
- resistenza a flessione di primo picco e residue alle diverse aperture dell'intaglio secondo UNI EN 14488-3 (se richieste in progetto e applicabili);
- aderenza per trazione diretta secondo UNI EN 14488-4 (se richiesta in progetto e applicabile);
- capacità di assorbimento di energia secondo UNI EN 14488-5 (se richiesta in progetto e
- applicabile);
- spessore di calcestruzzo sul supporto secondo UNI EN 14488-6.

I valori ottenuti dovranno essere confrontati con quelli specificati nel progetto, sulla base dei criteri di conformità riportati al § 7.5 della UNI EN 14487-1.
In particolare, in fase di qualifica si dovrà verificare l'entità della riduzione delle prestazioni meccaniche alle medie e lunghe stagionature del calcestruzzo con additivi acceleranti di presa e di indurimento rispetto ai valori attesi nella miscela di riferimento senza accelerante. Anche dopo le riduzioni rispetto al conglomerato di riferimento, la resistenza a compressione a 28 giorni del conglomerato con additivo accelerante dovrà essere conforme alle specifiche di progetto.
E' facoltà del Direttore dei Lavori richiedere la ripetizione dell'intera qualifica o di una parte delle prove laddove si riscontrasse la non conformità di un solo dei parametri sopra elencati da eseguire su una miscela adeguatamente modificata.
I risultati delle prove di resistenza meccanica sul calcestruzzo giovane e di massa volumica delle carote, inoltre, serviranno come riferimento per valutare i risultati delle stesse prove durante i controlli in corso d'opera.
L'accettazione di valori in deroga a quelli specificati è subordinata alla dichiarazione di adeguate garanzie di tipo prestazionale, che saranno quindi soggette a verifica da parte della Direzione Lavori.

20.8.2.4 Calcestruzzo fibrorinforzato FRC (non proiettato)

Per le miscele indicate dalla Direzione Lavori è necessario eseguire n. 3 prelievi (6 provini) per la prova di flessione secondo la norma UNI EN 14651 di ogni miscela omogenea. Le prove saranno eseguite dopo 28 giorni di maturazione in ambiente controllato con temperatura T = 20 ± 2 °C e UR ≥ 95%. La prova è superata se il valore medio di $f_{R,1}$ e $f_{R,3}$ ($f_{R,1m}$, $f_{R,3m}$) rispetta tutti i requisiti di seguito indicati:

i. $f_{R,1m}/ f^{f}_{ct,Lm}$ > 0,4
ii. $f_{R,1m}$ > 1,3 $f_{R,1k}$
iii. $f_{R,1min}$ > 0,7 $f_{R,1k}$
iv. $f_{R,3m}$ > 1,3 $f_{R,3k}$

v. $f_{R,3min}$ $> 0,7\ f_{R,3k}$

ove i valori caratteristici $f_{R,1k}$ e $f_{R,3k}$ sono i valori nominali e si riferiscono alla classe di appartenenza dichiarata per il FRC

20.8.3 Autorizzazione alla produzione di calcestruzzo

La Direzione Lavori autorizzerà l'inizio della produzione di conglomerato cementizio solo dopo aver esaminato ed approvato il *"Dossier di prequalifica"* dei materiali e degli impasti di conglomerato avendo effettuato con esito positivo, le prove di qualifica all'impianto di betonaggio, in contraddittorio con l'Appaltatore. Tale autorizzazione potrà essere rilasciata anche per singola miscela purchè il processo di qualifica sia stato completato per il mix in esame.
E' vietato l'utilizzo di miscele non approvate dalla Direzione Lavori.

20.9 Qualifica degli elementi prefabbricati ad uso strutturale

20.9.1 Campo di impiego

Il presente paragrafo di capitolato si applica a tutti gli elementi in c.a. e c.a.p. prefabbricati destinati alla realizzazione di ponti, viadotti, cavalcavia, sottovia, gallerie artificiali e naturali, muri, scatolari idraulici, edifici, ecc. aventi valenza strutturale.

20.9.2 Criteri di accettazione per lo stabilimento di produzione dei prefabbricati

È richiesto che il produttore dei manufatti abbia un sistema di controllo della produzione ai sensi del § 11.8.3 delle NTC2018 e che lo stabilimento di produzione sia qualificato ai sensi del § 11.8.4.1 delle stesse NTC.
Nello specifico gli impianti per la produzione di elementi costruttivi prefabbricati devono essere idonei ad una produzione continua, disporre di apparecchiature adeguate per il confezionamento nonché di personale esperto e di attrezzature idonee a provare, valutare e correggere la qualità del prodotto.
Il fabbricante di elementi prefabbricati deve dotarsi di un sistema di controllo della produzione allo scopo di assicurare che il prodotto abbia i requisiti previsti dalle presenti norme e che tali requisiti siano costantemente mantenuti fino alla posa in opera. Il sistema di gestione della qualità del prodotto che sovrintende al processo di fabbricazione deve essere predisposto in coerenza con la norma UNI EN ISO 9001 e certificato da parte un organismo terzo indipendente, di adeguata competenza ed organizzazione, che opera in coerenza con la norma UNI CEI EN ISO/IEC 17021-1. Le regole di cui sopra si applicano anche nel caso di prefabbricazioni a piè d'opera.

20.9.3 Generalità sulla conformità degli elementi prefabbricati

Gli elementi prefabbricati per cui è presente una norma per la valutazione di conformità devono essere muniti di Attestato di conformità CE. Si elencano i seguenti casi:

- *Ponti definiti come opere di ingegneria destinate principalmente al trasporto di carichi connessi con le comunicazioni sopra un ostacolo naturale o una linea di comunicazione (inclusi i ponti stradali, pedonali, ferroviari ecc.)*: gli elementi prefabbricati destinati a questa tipologia di opera (comprese velette, lastre predalle, travi…) devono essere dotati di Attestato di conformità CE alla norma europea armonizzata UNI EN 15050 per i quali il produttore attui un controllo di produzione in fabbrica certificato da un Organismo notificato e dotato di sistema di attestazione della conformità di tipo 2+;
- *Muri di sostegno per contenimento di scavi e trincee nel terreno naturale; contenimento di terrapieni per strade, piattaforme ecc.; spalle di ponte e rispettivi muri laterali; contenimento di materiali sfusi di qualsiasi genere (sono esclusi i muri per un altezza fino ad un metro)*: gli elementi prefabbricati destinati a questa tipologia di opera devono essere dotati di Attestato di

conformità CE alla norma europea armonizzata UNI EN 15528 per i quali il produttore attui un controllo di produzione in fabbrica certificato da un Organismo notificato e dotato di sistema di attestazione della conformità di tipo 2+;

- *Pali da fondazione prefabbricati di calcestruzzo, realizzati in fabbrica e destinati ad essere utilizzati in edifici e in opere di ingegneria civile*: gli elementi prefabbricati destinati a questa tipologia di opera devono essere dotati di Attestato di conformità CE alla norma europea armonizzata UNI EN 12794 per i quali il produttore attui un controllo di produzione in fabbrica certificato da un Organismo notificato e dotato di sistema di attestazione della conformità di tipo 2+;
- *Scatolari di sezione rettangolare monolitica progettati come elementi continui formati per permettere l'eventuale incorporazione di materiali sigillanti ed utilizzati per la creazione di cunicoli interrati per il convogliamento o l'accumulo di acque di fognatura, per cunicoli per cavi o condutture e sottopassi:* gli elementi prefabbricati destinati a questa tipologia di opera devono essere dotati di Attestato di conformità CE alla norma europea armonizzata UNI EN 14844 per i quali il produttore attui un controllo di produzione in fabbrica certificato da un Organismo notificato e dotato di sistema di attestazione della conformità di tipo 2+ se lo scatolare non presenta una dimensione interna minore o uguale a 1250 mm e di tipo 4 se presenta una dimensione interna minore o uguale a 1250 mm;
- *Elementi prefabbricati da fondazione realizzati con calcestruzzo armato per strutture di edifici:* gli elementi prefabbricati destinati a questa tipologia di opera devono essere dotati di Attestato di conformità CE alla norma europea armonizzata UNI EN 14991 per i quali il produttore attui un controllo di produzione in fabbrica certificato da un Organismo notificato e dotato di sistema di attestazione della conformità di tipo 2+;
- *Lastre prefabbricate per solai realizzate con calcestruzzo armato o precompresso (sono escluse le lastre da ponte per cui si applica la UNI EN 15050):* gli elementi prefabbricati destinati a questa tipologia di opera devono essere dotati di Attestato di conformità CE alla norma europea armonizzata UNI EN 13747 per i quali il produttore attui un controllo di produzione in fabbrica certificato da un Organismo notificato e dotato di sistema di attestazione della conformità di tipo 2+;
- *Elementi nervati prefabbricati realizzati con calcestruzzo armato o precompresso, utilizzati per solai o coperture:* gli elementi prefabbricati destinati a questa tipologia di opera devono essere dotati di Attestato di conformità CE alla norma europea armonizzata UNI EN 13224 per i quali il produttore attui un controllo di produzione in fabbrica certificato da un Organismo notificato e dotato di sistema di attestazione della conformità di tipo 2+;
- *Lastre alveolari prefabbricate realizzate con calcestruzzo armato o precompresso:* gli elementi prefabbricati destinati a questa tipologia di opera devono essere dotati di Attestato di conformità CE alla norma europea armonizzata UNI EN 1168 per i quali il produttore attui un controllo di produzione in fabbrica certificato da un Organismo notificato e dotato di sistema di attestazione della conformità di tipo 2+;
- *Travetti prefabbricati realizzati con calcestruzzo armato o precompresso, secondo la UNI EN 1992-1-1, utilizzati insieme ai blocchi, con o senza getto in opera di calcestruzzo, per la costruzione di solai a travetti e blocchi:* gli elementi prefabbricati destinati a questa tipologia di opera devono essere dotati di Attestato di conformità CE alla norma europea armonizzata UNI EN 15037-1 per i quali il produttore attui un controllo di produzione in fabbrica certificato da un Organismo notificato e dotato di sistema di attestazione della conformità di tipo 2+;
- *Elementi prefabbricati lineari (come colonne, travi ed elementi dei telai) realizzati con calcestruzzo armato o precompresso, normale o leggero, impiegati nella costruzione di strutture di edifici e di altre opere di ingegneria civile, ad eccezione dei ponti:* gli elementi prefabbricati

destinati a questa tipologia di opera devono essere dotati di Attestato di conformità CE alla norma europea armonizzata UNI EN 13225 per i quali il produttore attui un controllo di produzione in fabbrica certificato da un Organismo notificato e dotato di sistema di attestazione della conformità di tipo 2+;

- *Elementi prefabbricati da parete, realizzati con calcestruzzo normale o alleggerito, con struttura chiusa:* gli elementi prefabbricati destinati a questa tipologia di opera devono essere dotati di Attestato di conformità CE alla norma europea armonizzata UNI EN 14992 per i quali il produttore attui un controllo di produzione in fabbrica certificato da un Organismo notificato e dotato di sistema di attestazione della conformità di tipo 2+ se per uso strutturale e di tipo 4 se per uso non strutturale o leggermente strutturale;
- *Elementi prefabbricati speciali per coperture realizzati con calcestruzzo armato o precompresso, impiegati nella costruzione di edifici, con o senza funzione di separazione rispetto alla resistenza al fuoco:* gli elementi prefabbricati destinati a questa tipologia di opera devono essere dotati di Attestato di conformità CE alla norma europea armonizzata UNI EN 13693 per i quali il produttore attui un controllo di produzione in fabbrica certificato da un Organismo notificato e dotato di sistema di attestazione della conformità di tipo 2+;
- *Scale monolitiche prefabbricate di calcestruzzo e di elementi prefabbricati di calcestruzzo (per esempio scalini singoli) utilizzati per realizzare scale di calcestruzzo armato e/o precompresso:* gli elementi prefabbricati destinati a questa tipologia di opera devono essere dotati di Attestato di conformità CE alla norma europea armonizzata UNI EN 14843 per i quali il produttore attui un controllo di produzione in fabbrica certificato da un Organismo notificato e dotato di sistema di attestazione della conformità di tipo 2+;
- *Pali da fondazione prefabbricati di calcestruzzo, realizzati in fabbrica e destinati ad essere utilizzati in edifici e in opere di ingegneria civile:* gli elementi prefabbricati destinati a questa tipologia di opera devono essere dotati di Attestato di conformità CE alla norma europea armonizzata UNI EN 12794 per i quali il produttore attui un controllo di produzione in fabbrica certificato da un Organismo notificato e dotato di sistema di attestazione della conformità di tipo 2+;

L'elenco di cui sopra non è da ritenersi esaustivo e l'Appaltatore si impegna a verificare la presenza di obbligo di marcatura CE per ogni prodotto prefabbricato avente valenza strutturale da lui prosposto.

20.9.4 Requisiti specifici per muri di sostegno, sottoscarpa e controripa in pannelli prefabbricati

Tali elementi qualora costituiti da pannelli in c.a.v./c.a.p. prefabbricati devono essere disposti verticalmente o con scarpa fino al 10%, secondo le previsioni di Progetto, irrigiditi nella parte interna da una costolatura che deve estendersi per l'intera altezza del pannello e da una platea di base in conglomerato cementizio armato, gettata in opera.
Muri di altezza superiore a 5,00 m dovranno avere le costolature collegate con la platea di base mediante tiranti prefabbricati in c.a.v.; la cerniera tra tirante e costolatura del pannello dovrà essere sigillata con malta reoplastica premiscelata a ritiro compensato.
I pannelli dovranno avere lo spessore ai bordi non inferiore a 10 cm e dovranno presentare la faccia in vista piana e ben rifinita, con gli spigoli arrotondati.
Difetti di planarità, verificati con un regolo della lunghezza di 4 m, superiori a 5 mm comporteranno automaticamente il rifiuto del pannello che l'Appaltatore dovrà allontanare dal cantiere a sua cura e spese. Al piede dei pannelli dovrà essere realizzato un bordino di rifinitura in malta cementizia.
Nei giunti verticali fra i pannelli dovranno essere inseriti profilati in PVC di idonea sagomatura, atti a trattenere materiali di granulometria superiore a 0,5 mm ed aventi superfici dei fori e/o fessure non

inferiore a 50 cm² per metro quadrato di pannello per consentire un facile drenaggio delle acque presenti nel rilevato.
Particolari cautele dovranno essere adottate nel compattamento del rilevato a ridosso dei pannelli facendo eventualmente ricorso anche a pestelli pneumatici per non danneggiare le strutture.
Relativamente agli scavi, l'Appaltatore dovrà rispettare rigorosamente i disegni di Progetto; eventuali eccedenze dovranno essere colmate con getti di conglomerato cementizio a sua cura e spese.
Quando previsto in Progetto, i muri avranno paramento a faccia vista realizzato:

- con lastre in porfido o in pietra locale di equivalente qualità, dello spessore non inferiore a 2 cm, disposte secondo le indicazioni di Progetto ed inglobate nel getto;
- con elementi geometrici in rilevo, di qualsiasi forma prescritta da Progetto, realizzati con apposite matrici in gomma.

20.9.5 Dossier di prequalifica

L'Appaltatore, per ciascun stabilimento di produzione e per ogni elemento prefabbricato che intende impiegare, è tenuto a sottoporre all'approvazione del Direttore dei Lavori un dossier di qualifica almeno 15 giorni prima dell'inizio della produzione contenente:

a) la certificazione del sistema di controllo della produzione (FPC) di calcestruzzo e la certificazione del Sistema di Gestione per la Qualità secondo UNI EN 9001 dell'impianto di produzione certificato da un organismo terzo indipendente;
b) i disegni costruttivi redatti sulla base degli elaborati di progetto esecutivo;
c) per gli elementi che non vengono realizzati esattamente con le geometrie e con le armature indicate negli elaborati del progetto esecutivo oltre ai disegni costruttivi è richiesta anche la relativa relazione di calcolo strutturale redatta mantenendo gli stessi principi utilizzati nel progetto esecutivo in termini di valutazione della sicurezza e vita nominale dell'opera e firmata da un ingegnere abilitato all'esercizio della professione. In questo caso la documentazione da sottoporre all'esame della Direzione Lavori, dovrà pervenire almeno 30 giorni prima dell'inizio della produzione e non entro 15 giorni come indicato in testa a questo paragrafo. Qualora gli elementi prefabbricati vengano realizzati con le geometrie e con le armature indicati negli elaborati del progetto esecutivo è sufficiente riportare questa indicazione nella nota di trasmissione alla Direzione Lavori dei documenti componenti il dossier di qualifica;
d) la marcatura CE ove applicabile per l'elemento prefabbricato in questione;
e) la dichiarazione del direttore dello stabilimento di produzione in cui si afferma che per il confezionamento delle miscele saranno utilizzati solo costituenti conformi ai requisiti di cui al § 20.5 del presente capitolato in quanto non tutti questi requisiti sono fissati entro i limiti di legge ma possono anche essere di qualità superiore;
f) una campionatura che costituirà il riferimento per la qualità della facciavista dei manufatti ove applicabile;
g) per i prefabbricati di produzione occasionale (§ 11.8.1 NTC2018) e comunque di particolare rilevanza strutturale, a insindacabile giudizio del Direttore dei Lavori, il Piano Generale di Fabbricazione e Controlli dello stabilimento di produzione con l'indicazione delle tecnologie, metodologie e sistemi di controllo utilizzati in impianto (PCQ riferito alla realizzazione dell'elemento prefabbricato oggetto di qualifica) per garantire la qualità attesa. Tale piano deve essere redatto in conformità alla norma di prodotto eventualmente applicabili e deve altresì contenere i seguenti controlli minimi:
    - controlli di accettazione di tutti i materiali
    - delle caratteristiche dimensionali e geometriche dell'armatura assemblata, di eventuali inserti;
    - della casseratura/stampi;

- dei valori di tesatura/stagionatura/taglio trefoli;
- dei getti;
- della scasseratura.

Il piano dovrà essere corredato da una procedura che identifichi le modalità di qualifica dei fornitori nonché le modalità di identificazione e rintracciabilità dei prodotti e di tenuta sottocontrollo delle strumentazioni di misura.

L'impiego di manufatti totalmente o parzialmente prefabbricati richiede la preventiva autorizzazione della Direzione Lavori che potrà essere rilasciata solo dopo aver esaminato la documentazione, verificato la previsione d'utilizzo del manufatto prefabbricato e del suo organico inserimento nel Progetto.

20.9.6 Documenti di accompagnamento delle forniture in cantiere

Le forniture in cantiere dovranno essere accompagnate, oltre che dalla Dichiarazione di Prestazione, da apposite istruzioni nelle quali vengono indicate le procedure relative alle operazioni di trasporto e montaggio degli elementi prefabbricati ai sensi del § 11.8.5 delle NTC 2018.
Tali istruzioni dovranno almeno comprendere, come previsto dal § 11.8.5 delle NTC 2018:
a) i disegni d'assieme che indichino la posizione e le connessioni degli elementi nel complesso dell'opera, compreso l'elenco degli elementi forniti con relativi contrassegni;
b) apposita relazione sulle caratteristiche dei materiali richiesti per le unioni e le eventuali opere di completamento;
c) le istruzioni di montaggio con i necessari dati per la movimentazione, la posa e la regolazione dei manufatti;
d) elaborati contenenti istruzioni per il corretto impiego e la manutenzione dei manufatti. Tali elaborati dovranno essere consegnati dal Direttore dei Lavori al Committente, a conclusione dell'opera;
e) per elementi di serie qualificati, certificato di origine firmato dal fabbricante, il quale con ciò assume per i manufatti stessi le responsabilità che la legge attribuisce al costruttore, e dal Direttore Tecnico responsabile della produzione. Il certificato, che deve garantire la rispondenza del manufatto alle caratteristiche di cui alla documentazione depositata presso il Servizio Tecnico Centrale, deve riportare il nominativo del progettista e copia dell'attestato di qualificazione rilasciato dal Servizio Tecnico Centrale;
f) documentazione, fornita per i prefabbricati di produzione occasionale (§ 11.8.1 NTC2018) e comunque di particolare rilevanza strutturale, attestante i risultati delle prove a compressione effettuate in stabilimento su cubi di calcestruzzo (estratto del Registro di produzione) e copia dei certificati relativi alle prove effettuate da un laboratorio incaricato ai sensi dell'art. 59 del DPR n. 380/2001; tali documenti devono essere relativi al periodo di produzione dei manufatti;
g) le schede e documenti attestanti l'avvenuta effettuazione e l'esito dei controlli minimi di cui al § 20.9.5 lettera f).
Nello specifico dovrà essere consegnato al Direttore dei Lavori il certificato di origine firmato dal fabbricante, il quale con ciò assume per i manufatti stessi le responsabilità che la legge attribuisce al costruttore e al Direttore Tecnico responsabile della produzione. Il certificato, che deve garantire la rispondenza del manufatto alle caratteristiche di cui alla documentazione depositata presso il Servizio Tecnico Centrale, deve riportare il nominativo del progettista e copia dell'attestato di qualificazione rilasciato dal Servizio Tecnico Centrale.
Copia del certificato d'origine dovrà essere allegato alla relazione del Direttore dei Lavori di cui all'art. 65 del DPR n. 380/2001 (Relazione a struttura ultimata).
h) I disegni as built dell'opera prefabbricata.

20.10 Controlli in corso d'opera sulle miscele

La Direzione Lavori eseguirà controlli di accettazione e prelievi periodici delle miscele al loro ingresso in cantiere secondo le modalità e la frequenza indicate ai §§ 11.2.2, 11.2.4 e 11.2.5 delle NTC 2018, su miscele omogenee di conglomerato come definite al § 11.2.1 del citato Decreto per verificare la corrispondenza tra le caratteristiche dei materiali e degli impasti impiegati e quelle definite in sede di qualifica e l'utilizzo delle miscele previste per le varie parti delle opere.

20.10.1 Controlli di accettazione delle miscele all'arrivo in cantiere

Prima di accettare la fornitura in cantiere e di procedere con i getti e i prelievi, dovranno essere eseguiti, alla presenza di un incaricato della Direzione dei Lavori, i seguenti controlli:

- verificare che le condizioni ambientali (temperatura, vento, pioggia) siano compatibili con le specifiche di accettabilità del presente capitolato e di prequalifica. Si definisce comunque "ordinaria" la maturazione del calcestruzzo che avviene a temperatura ambiente (5÷32°C) con esclusione d'ogni intervento esterno di riscaldamento o raffreddamento. In caso di temperature dell'aria inferiori a 5°C e superiori a 32°C occorre il rispetto delle prescrizioni di cui ai rispettivi paragrafi di questo capitolato. Nel caso ci sia il rischio che pioggia o altra acqua corrente possano dilavare il cemento e i fini del calcestruzzo fresco durante il getto occorre procedere solo in presenza di adeguate protezioni a cura ed onere dell'Appaltatore. Le operazioni di getto possono iniziare e proseguire solo se tale verifica è soddisfatta;
- verificare che gli elementi contenuti nel documento di consegna (Rck, classe di consistenza, classe di esposizione, diametro massimo dell'aggregato, tipo di cemento, ecc.) siano conformi alle specifiche di qualifica per la parte d'opera in costruzione e respingere il carico in caso di loro mancata corrispondenza. Questo controllo deve essere fatto dall'Esecutore su tutte le forniture in ingresso e in contraddittorio con la Direzione Lavori quando è previsto il prelievo per la verifica delle resistenze (ogni 100 mc di miscela omogenea o giorno di getto nel caso di getti inferiori ai 100mc);
- verificare che il tempo intercorrente tra il confezionamento dell'impasto all'impianto (data di inizio carico in betoniera così come riportato nel documento di trasporto) e l'inizio delle operazioni di scarico non sia superiore a quanto accettato in fase di qualifica. Nel caso in cui tale tempistica non sia rispettata occorre sempre eseguire la prova di consistenza nelle modalità di cui al successivo paragrafo.

Le modalità dei controlli di accettazione vengono descritti nel paragrafo 20.10.6

20.10.2 Controlli e prove sul conglomerato cementizio fresco

In corso di lavorazione a suo carico l'Appaltatore deve eseguire, in presenza di personale della Direzione Lavori all'atto dell'esecuzione del prelievo per le prove obbligatorie di legge, i seguenti controlli con le modalità e frequenze riportate.

L'Appaltatore, per lo svolgimento dei controlli e prove del presente paragrafo, potrà avvalersi di un proprio tecnologo qualificato in materia di conglomerati cementizi il cui curriculum sarà stato condiviso anticipatamente con la Direzione Lavori.

Con frequenza giornaliera dovranno essere eseguiti i controlli di:

- *Temperatura della miscela:* quando al momento del getto la temperatura dell'aria è minore di 5°C occorre verificare la temperatura della miscela nel rispetto dei limiti di cui al § 20.12.7.2. Quando invece la temperatura dell'aria supera i 32°C la temperatura della miscela al momento del getto non deve superare il limite di cui al § 20.12.8.
- *Corretta miscelazione:* ispezione visiva per ogni giorno di getto su ogni miscela omogenea.

- *Contenuto d'aria:* la prova del contenuto d'aria secondo la Norma UNI EN 12350-7 è richiesta per tutti i calcestruzzi aerati. Quando il contenuto percentuale d'aria aggiunta non sarà quello preliminarmente stabilito, l'autobetoniera sarà allontanata dal cantiere;
- *Consistenza:* il controllo della consistenza deve essere fatto ogni 100 mc di miscela omogenea o giorno di getto nel caso di getti inferiori ai 100mc o con frequenze maggiori se ritenuto necessario dalla Direzione Lavori, secondo le modalità seguenti;
  - *Per CLS da asciutti a superfluidi*: La prova di consistenza si eseguirà misurando l'abbassamento al cono (slump), come disposto dalla Norma UNI EN 12350-2. Tale prova sarà considerata significativa per abbassamenti compresi 2 e 23 cm;
  - *Per CLS SCC:* La prova di consistenza si eseguirà in riferimento alla norma UNI EN 12350-8 misurando la classe di spandimento SF e la classe di viscosità t_{500} misurando il tempo di spandimento. Deve essere inoltre verificata la resistenza alla segregazione mediante setacciatura in riferimento alla UNI EN 12350-11;
  - *Per CLS a consistenza asciutta (soprattutto se con comportamento tixotropico):* Per abbassamenti inferiori a 2 cm si dovrà eseguire la prova con la tavola a scosse secondo la Norma UNI EN 12350-5 (diametro di spandimento alla tavola a scosse) o con l'apparecchio VEBE secondo la Norma UNI EN 12350-3;

  Se pompato, il conglomerato cementizio dovrà avere alla bocca di uscita della tubazione il valore dello slump di progetto. Se la consistenza non è quella prescritta, con tolleranza di ± 3 cm tra un impasto e l'altro nella stessa giornata di getto per la medesima opera, lo stesso non dovrà essere impiegato per l'opera ma scaricato in luogo appositamente destinato dall'Appaltatore o restituito all'impianto ove è stato prodotto. Si pone assoluto divieto all'aggiunta d'acqua al calcestruzzo fresco fornito in cantiere, a tal fine il serbatoio d'acqua della autobetoniera dovrà risultare sempre pieno all'atto del getto e il relativo rubinetto deve essere dotato di apposito sigillo di sicurezza da applicare sulla maniglia. In assenza di detto sigillo, sarà facoltà del Direttore dei Lavori prescrivere prove aggiuntive sul calcestruzzo per determinare il contenuto d'acqua, i cui oneri saranno a totale carico dell'Esecutore.

- A discrezione della DL e in ogni caso ogni 1000 mc di getto di miscela omogenea e comunque con frequenza minima settimanale la Direzione Lavori dovrà provvedere, in contraddittorio con l'Appaltatore e con laboratorio incaricato dalla Committente, a esegure i seguenti controlli:
- *Omogeneità*: la prova d'omogeneità sarà eseguita vagliando ad umido due campioni di conglomerato, prelevati a 1/5 e 4/5 dello scarico della betoniera, attraverso il vaglio a maglia quadra da 4 mm. La percentuale in peso di aggregato grosso nei due campioni non dovrà differire più del 6%. Inoltre lo slump dei due campioni prima della vagliatura non dovrà differire più di 3 cm. Questo controllo deve essere fatto per ogni giorno di getto su ogni miscela omogenea;
- *Rapporto acqua/cemento-acqua essudata*: il rapporto acqua/cemento del conglomerato cementizio fresco dovrà essere controllato in cantiere, secondo la Norma UNI 11201, e l'acqua essudata (bleeding secondo UNI 7122).

Nel caso di calcestruzzi fibro-rinforzati saranno eseguite altresì le seguenti prove:

- *Contenuto di fibre*. Per fibre metalliche secondo la norma EN 14721. Per fibre polimeriche di classe II secondo EN 14488-7. Per fibre polimeriche di classe Ia e Ib si devono utilizzare i metodi di prova vigenti nel luogo di impiego. In tutti i casi si devono prelevare tre campioni per carico durante lo scarico dal primo, dal centrale e dal terzo e ultimo carico. La miscela sarà ritenuta conforme se sono soddisfatti entrambi i criteri della UNI EN 206 appendice B, prospetto B2:

- Prospetto B2

Applicabile a	Criterio
Ogni campione	≥0,80 del valore minimo specificato
Media di 3 campioni da un carico	≥0,85 del valore minimo specificato

La Direzione Lavori si riserva la facoltà di prelevare quando lo ritenga opportuno, ulteriori campioni di materiali o di conglomerato cementizio da sottoporre ad esami o prove di laboratorio.

20.10.3 Ulteriori prove sul conglomerato cementizio indurito per la verifica della durabilità ed altri requisiti

Nel corso dei lavori, a discrezione della DL, la Direzione Lavori in contraddittorio l'appaltatore deve eseguire i seguenti ulteriori prelievi ottenuti da getti effettuati in cantiere, idonei all'esecuzione delle seguenti prove con le modalità e frequenze riportate:

- Contenuto di cloruri nel calcestruzzo: come definito nella norma UNI EN 14629. I limiti di accettabilità sono riportati nel § 20.4.3.
  Frequenza del controllo: una prova ogni 1.000 mc di miscela omogenea contenente armatura, se ritenuta necessaria dalla DL;
- Gelo e disgelo (solo per miscele con classe di esposizione XF): come definito nella norma UNI 7087. I limiti di accettabilità sono riportati nel § 20.4.4.1.
  Frequenza del controllo: una prova ogni 1000 mc di miscela omogenea con classe di esposizione XFn, se ritenuta necessaria dalla DL;
- Grado di compattazione: qualora la Direzione Lavori abbia dubbi sull'entità del costipamento, o rilevi difetti sulle facce a vista del calcestruzzo (es. vespai) può disporre la verifica della resistenza a compressione in opera del calcestruzzo da valutarsi mediante estrazione e successivo schiacciamento di carote. I limiti di accettabilità sono riportati nel § 20.10.6.4.
- Resistenza alla penetrazione d'acqua: come definito nella norma UNI EN 12390-8. I limiti di accettabilità sono riportati nel § 20.4.4.3.
  Frequenza del controllo: una prova ogni 1000 mc di miscela omogenea, se ritenuta necessaria dalla DL;
- Espansione contrastata (solo per miscele a ritiro compensato): come definito nella norma UNI 8148. I limiti di accettabilità sono riportati nel § 20.4.5.7.
  Frequenza del controllo: una prova ogni 1000 mc di miscela omogenea, se ritenuta necessaria dalla DL;
- Permeabilità delle pavimentazioni in calcestruzzo drenante come definito al §20.12.9, se ritenuta necessaria dalla DL.

20.10.4 Controlli sul calcestruzzo proiettato

20.10.4.1 Controlli sul calcestruzzo fresco

In corso di lavorazione l'Appaltatore deve eseguire, in contraddittorio con la Direzione Lavori, i seguenti controlli sul fresco con le modalità e frequenze di seguito riportate:

- *Consistenza (per miscele umide)*: la prova di consistenza si eseguirà misurando l'abbassamento al cono (slump), come disposto dalla Norma UNI EN 12350-2. Tale prova sarà considerata significativa per abbassamenti compresi 2 e 23 cm.
  Frequenza del controllo: ogni giorno di getto indipendentemente dalle categorie di ispezione di cui al § 20.4.5.3.2.4;

- *Rapporto acqua/cemento (per miscele umide)*: dovrà essere controllato in cantiere, secondo la Norma UNI 11201, se ritenuta necessaria dalla DL
  Frequenza del controllo: ogni giorno di getto indipendentemente dalle categorie di ispezione di cui al § 20.4.5.3.2.4, se ritenuta necessaria dalla DL;
- *Quantità aggiunta di accelerante*: registrazione della quantità aggiunta di accelerante.
  Frequenza del controllo in riferimento alle categorie di ispezione di cui al § 20.4.5.3.2.4:
  - categoria di ispezione 1 e 2 : nessuna registrazione;
  - categoria di ispezione 3: una per ogni giorno di getto;
- *Contenuto di fibre*: dovrà essere controllato in cantiere, secondo la Norma UNI EN 14488-7.
  Frequenza del controllo in riferimento alle categorie di ispezione di cui al § 20.4.5.3.2.4:
  - categoria di ispezione 1: una prova per ogni wbs;
  - categoria di ispezione 2: una prova ogni 100 m^3 di getto;
  - categoria di ispezione 3: una prova ogni 50 m^3 di getto.

20.10.4.2 Controlli sul calcestruzzo indurito

A lavorazione ultimata sulla miscela indurita l'Appaltatore deve eseguire, in contraddittorio con la Direzione Lavori, i seguenti controlli con le modalità e frequenze di seguito riportate:

- *Prova di resistenza del calcestruzzo proiettato giovane*: secondo la Norma UNI EN 14488-2, solo per gli interventi di stabilizzazione delle pareti di scavo.
  Frequenza del controllo in riferimento alle categorie di ispezione di cui al § 20.4.5.3.2.4:
  - categoria di ispezione 1: una prova per ogni 5.000 m^2 o una volta 2 due mesi;
  - categoria di ispezione 2: una prova per ogni 2.500 m^2 o una volta al mese;
  - categoria di ispezione 3: una prova per ogni 250 m^2 o 2 volte al mese.
- *Prova di resistenza a compressione*: secondo la Norma UNI EN 12504-1.
  Frequenza del controllo in riferimento alle categorie di ispezione di cui al § 20.4.5.3.2.4:
  - categoria di ispezione 1: una prova per ogni 500 m^3;
  - categoria di ispezione 2: una prova per ogni 100 m^3;
  - categoria di ispezione 3: una prova per ogni 50 m^3.
- *Massa volumica*: secondo la Norma UNI EN 12390-7.
  Frequenza del controllo in riferimento alle categorie di ispezione di cui al § 20.4.5.3.2.4:
  - categoria di ispezione 1: una prova per ogni 500 m^3;
  - categoria di ispezione 2: una prova per ogni 100 m^3;
  - categoria di ispezione 3: una prova per ogni 50 m^3.
- *Resistenza alla penetrazione d'acqua*: secondo la Norma UNI EN 12390-8, da non eseguire per gli interventi di stabilizzazione dei terreni.
  Frequenza del controllo in riferimento alle categorie di ispezione di cui al § 20.4.5.3.2.4:
  - categoria di ispezione 1: una prova per ogni 1.000 m^2 e minimo una prova;
  - categoria di ispezione 2: una prova per ogni 500 m^2 e minimo 2 prove;
  - categoria di ispezione 3: una prova per ogni 250 m^2 e minimo 3 prove.
- *Resistenza al gelo/disgelo*: secondo la Norma UNI 7087 e solo per classi XF, da non eseguire per gli interventi di stabilizzazione dei terreni.
  Frequenza del controllo in riferimento alle categorie di ispezione di cui al § 20.4.5.3.2.4:
  - categoria di ispezione 1: una prova per ogni 1.000 m^2 e minimo una prova;
  - categoria di ispezione 2: una prova per ogni 500 m^2 e minimo 2 prove;
  - categoria di ispezione 3: una prova per ogni 250 m^2 e minimo 3 prove.
- *Aderenza*: secondo la Norma UNI EN 14488-4 (per la stabilizzazione pareti di scavo) e UNI EN 1542 (per il consolidamento delle opere) e non applicabile alle strutture indipendenti.
  Frequenza del controllo in riferimento alle categorie di ispezione di cui al § 20.4.5.3.2.4:

  - categoria di ispezione 1: una prova per ogni 1.000 m^2 e minimo una prova;
  - categoria di ispezione 2: una prova per ogni 500 m^2 e minimo 2 prove;
  - categoria di ispezione 3: una prova per ogni 250 m^2 e minimo 3 prove.
- *Spessore*: secondo la Norma UNI EN 14488-6.
  Frequenza del controllo in riferimento alle categorie di ispezione di cui al § 20.4.5.3.2.4:
  - categoria di ispezione 1: una prova per ogni 3.000 m^2;
  - categoria di ispezione 2: una prova per ogni 1.000 m^2;
  - categoria di ispezione 3: una prova per ogni 500 m^2.
- *Spessore del rivestimento del consolidamento delle gallerie*: con strumentazione topografica.
  Frequenza del controllo: su tutta la superficie con report topografico a cura dell'Appaltatore da sottoporre all'approvazione della Direzione Lavori.

Specificatamente per i calcestruzzi proiettati fibrorinforzati saranno eseguite le seguenti ulteriori prove:

- *Contenuto di fibre*: dovrà essere controllato in cantiere, secondo la Norma UNI EN 14488-7 quando non è possibile eseguire del contenuto di fibre sul fresco.
  Frequenza del controllo in riferimento alle categorie di ispezione di cui al § 20.4.5.3.2.4:
  - categoria di ispezione 1: una prova per ogni wbs;
  - categoria di ispezione 2: una prova ogni 100 m^3 di getto;
  - categoria di ispezione 3: una prova ogni 50 m^3 di getto.
- *Resistenza residua o capacità di assorbimento dell'energia*: dovrà essere controllato in cantiere, secondo la Norma UNI EN 14488-3 o UNI EN 14488-5.
  Frequenza del controllo in riferimento alle categorie di ispezione di cui al § 20.4.5.3.2.4:
  - categoria di ispezione 1: una prova per ogni 10.000 m^2 e minimo una prova;
  - categoria di ispezione 2: una prova per ogni 2.000 m^2 e minimo 2 prove;
  - categoria di ispezione 3: una prova per ogni 500 m^2 e minimo 3 prove.
- *Resistenza ultima alla flessione*: dovrà essere controllato in cantiere, secondo la Norma UNI EN 14488-3.
  Frequenza del controllo in riferimento alle categorie di ispezione di cui al § 20.4.5.3.2.4:
  - categoria di ispezione 1: una prova per ogni 10.000 m^2 e minimo una prova;
  - categoria di ispezione 2: una prova per ogni 2.000 m^2 e minimo 2 prove;
  - categoria di ispezione 3: una prova per ogni 500 m^2 e minimo 3 prove.
- *Resistenza a flessione di primo picco*: dovrà essere controllato in cantiere, secondo la Norma UNI EN 14488-3.
  Frequenza del controllo in riferimento alle categorie di ispezione di cui al § 20.4.5.3.2.4:
  - categoria di ispezione 1: una prova per ogni 10.000 m^2 e minimo una prova;
  - categoria di ispezione 2: una prova per ogni 2.000 m^2 e minimo 2 prove;
  - categoria di ispezione 3: una prova per ogni 500 m^2 e minimo 3 prove.

Per i limiti di accettabilità delle prove vedere i criteri di conformità § 7.5 UNI EN 14487-1 e i valori di qualifica di cui al § 20.8.2.3.

20.10.4bis Controlli sul calcestruzzo fibrorinforzato FRC indurito

Per ogni miscela omogenea è obbligatorio fare almeno un prelievo di due campioni ogni 100 m^3 di getto, da sottoporre a prova di flessione secondo la EN 14651. Le prove saranno eseguite dopo 28 giorni di maturazione in ambiente controllato con temperatura T = 20 ± 2 °C e UR ≥ 95%, entro 45 giorni dal prelievo.
Per un numero totale di prelievi da miscela omogenea inferiore a 15, il controllo di accettazione è

superato se il valore medio di $f_{R,1}$ e $f_{R,3}$ ($f_{R,1m}$, $f_{R,3m}$) rispetta tutti i requisiti di seguito indicati:

vi. $f_{R,1m}/ f^{f}_{ct,Lm}$ > 0,4
vii. $f_{R,1m}$ > 1,3 $f_{R,1k}$
viii. $f_{R,1min}$ > 0,7 $f_{R,1k}$
ix. $f_{R,3m}$ > 1,3 $f_{R,3k}$
x. $f_{R,3min}$ > 0,7 $f_{R,3k}$

ove i valori caratteristici $f_{R,1k}$ e $f_{R,3k}$ sono i valori nominali e si riferiscono alla classe di appartenenza dichiarata per il FRC.

Per un numero totale di prelievi da miscela omogenea uguale o superiore a 15, il controllo di accettazione è superato se il valore medio di $f_{R,1}$ e $f_{R,3}$ ($f_{R,1m}$, $f_{R,3m}$) rispetta tutti i requisiti di seguito indicati:

xi. $f_{R,1m}/ f^{f}_{ct,Lm}$ > 0,4
xii. $f_{R,1m}$ > $f_{R,1k}$ +1,48s
xiii. $f_{R,1min}$ > 0,7 $f_{R,1k}$
xiv. $f_{R,3m}$ > $f_{R,3k}$ +1,48s
xv. $f_{R,3min}$ > 0,7 $f_{R,3k}$

ove i valori caratteristici $f_{R,1k}$ e $f_{R,3k}$ sono i valori nominali e si riferiscono alla classe di appartenenza dichiarata per il FRC e ove "s" è lo scarto quadratico medio.

20.10.5 Prelievi dei conglomerati cementizi

Il prelievo dei campioni deve essere eseguito in modo tale che non sia possibile un cambiamento sostanziale delle proprietà e della composizione del calcestruzzo tra il momento del campionamento e quello della posa in opera. Pertanto, il prelievo del conglomerato per i controlli di accettazione si deve eseguire all'uscita della betoniera (non prima di aver scaricato almeno 0.3 m^3 di conglomerato e possibilmente a metà del carico), conducendo tutte le operazioni in conformità con le prescrizioni indicate nelle NTC2018 e nella norma UNI-EN 206.
Il numero minimo e la tipologia dei controlli di accettazione relativi alla classe di resistenza sarà conforme a quanto previsto al § 11.2.5 delle NTC2018 e consiste in un prelievo (calcestruzzo necessario a confezionare due/tre coppie di provini cubici lato 150 mm) ogni 100 mc di miscela omogenea o giorno di getto nel caso di getti inferiori ai 100 mc. E' obbligo del Direttore dei Lavori prescrivere ulteriori prelievi rispetto al numero minimo indicato tutte le volte che variazioni delle prestazioni reologiche (lavorabilità, acqua essudata, resistenza alla segregazione, diametro massimo dell'aggregato) dell'impasto possano far presumere una variazione di qualità del calcestruzzo stesso, tale da non poter più essere considerato omogeneo.
In particolare, i campioni di calcestruzzo devono essere preparati con casseforme rispondenti alla norma UNI EN 12390-1, confezionati e stagionati secondo le indicazioni riportate nella norma UNI EN 12390-2 e provati presso un laboratorio Ufficiale secondo la UNI EN 12390-3 determinando altresì la massa volumica secondo la UNI EN 12390-7. Le casseforme devono essere realizzate con materiali rigidi (acciao o PVC rigido escludendo l'impiego di casseforme in polistirolo) e al fine di prevenire deformazioni durante le operazioni di preparazione dei provini, devono essere a tenuta stagna e non assorbenti. La geometria delle casseforme deve essere cubica, di lato pari a 150 mm. Con il calcestruzzo di ciascun prelievo verranno confezionate almeno due coppie di provini per il calcestruzzo armato e almeno tre coppie di provini per il calcestruzzo armato precompresso. Il Direttore dei Lavori o un tecnico di sua fiducia provvederanno ad identificare ciascun provino mediante scritte indelebili su fascette di plastica inserite nella superficie del provino fresco e non rimovibili oppure mediante l'inserimento di microchip contenenti tutte le informazioni relativa al cantire, al giorno di prelievo, all'elemento cui il calcestruzzo è destinato).

I provini verranno lasciati nelle casseforme, protetti per evitare l'evaporazione dell'acqua e riposti in ambienti chiusi a temperatura tra 15 e 25 °C; gli stessi saranno appoggiati al di sopra di una superficie orizzontale piana in posizione non soggetta ad urti e vibrazioni in adeguate strutture predisposte dall'Impresa.
Il calcestruzzo campionato deve essere lasciato all'interno delle casseforme per almeno 16 ore (in ogni caso non oltre i 3 giorni. Trascorso questo termine, a cura dell'Impresa, i provini dovranno essere conservati, una volta rimossi dalle casseforme, in acqua alla temperatura costante di 20±2 °C, oppure in ambiente termostatato posto alla temperatura di 20±2 °C ed umidità relativa superiore al 95%. Nel caso di conservazione in acqua dei provini, il contenitore deve avere dei ripiani realizzati con griglie (è consentito l'impiego di reti elettrosaldate) per fare in modo che tutte le superfici siano a contatto con l'acqua.
L'Impresa sarà responsabile delle operazioni di corretta conservazione dei provini campionati e della loro custodia in cantiere prima dell'invio al Laboratorio Ufficiale incaricato di effettuare le prove di schiacciamento unitamente ad una domanda ufficiale di richiesta prove sottoscritta dalla Direzione Lavori, la quale allegherà a tale richiesta, copia del verbale di prelievo.
Qualora il Progettista e/o la Direzione dei Lavori abbiano necessita di prove complementari (per esigenze legate alla logistica di cantiere, alla rapida messa in servizio di una struttura o di porzioni di essa o alla messa in tensione dei cavi di precompressione) potrà prescrivere l'ottenimento di un determinato valore della resistenza caratteristica in tempi inferiori ai canonici 28 giorni o a temperature di maturazione diverse dai 20 °C. In questi casi, oltre al numero di provini previsti per ciascun controllo di accettazione, sarà confezionata un'ulteriore coppia di provini con le medesime modalità per opere in calcestruzzo armato e due ulteriori coppie per il calcestruzzo armato precompresso. Queste coppie di provini saranno maturate in adiacenza alla struttura o all'elemento strutturale per il quale è stato richiesto un valore della resistenza caratteristica a tempi e/o temperature diversi da quelli standard. Per getti massivi per il quali si richiede un valore minimo della resistenza caratteristica a breve termine (ad es. nel "rampaggio" di pile da ponte di grande spessore), i provini potranno essere maturati secondo un profilo di temperatura che segua quello del calcestruzzo in opera valutato attraverso opportuno termocoppie annegate nel getto.

20.10.5.1 Prelievi del calcestruzzo proiettato

Il riferimento per i prelievi del calcestruzzo proiettato è la norma UNI EN 14488-1.
Il prelievo di un campione fresco della miscela di base deve essere eseguito dal miscelatore o dalla pompa o lancia di proiezione con una paletta, in una serie di porzioni che devono essere combinate in modo da formare un campione omogeneo, in accordo alla EN 12350-1.
I campioni induriti possono essere tagliati dal materiale in sito o da un pannello di prova. Occorre tenere presente che le proprietà possono risultare diverse in ciascuno di questi luoghi di proiezione per cause dovute al processo di proiezione. Il Direttore dei Lavori deve pertanto scegliere il tipo di campione e il luogo di proiezione più appropriati, in base allo scopo del controllo di qualità e ai provini necessari per misurare una o più proprietà.
In sito i campioni devono essere prelevati da materiale proiettato dopo la presa, in accordo alla EN 12504-1.
In caso di utilizzo di pannelli di prova gli stampi devono essere posizionati con inclinazione di 20° rispetto alla verticale (salvo qualora sia specificato un orientamento diverso, per esempio controsoffitto) e il calcestruzzo deve essere proiettato adottando la stessa attrezzatura, tecnica, spessore dello strato per ogni passata e distanza di proiezione utilizzati per l'opera effettiva. Anche l'operatore deve essere lo stesso.
Il pannello deve essere protetto immediatamente dalla perdita di umidità utilizzando lo stesso metodo che si utilizza nella costruzione. I campioni devono essere siglati ai fini della successiva

identificazione (miscela, luogo, data e operatore) con inchiostro o vernice indelebile. Il pannello non deve essere spostato nelle 18 h successive alla proiezione, salvo qualora sia stato concordato un periodo più breve. Dopodiché la maturazione deve continuare alle condizioni in sito per almento 7 giorni o fino al momento del prelievo dei campioni. I campioni devono essere prelevati dai campioni di prova mediante carotaggio o segati dal pannello e non devono includere materiale prelevato da aree difettose.
Il pannello deve essere costituito da uno stampo di acciaio o di altro materiale rigido non assorbente (lamiera di acciaio di almeno 4 mm o compensato di 18 mm di spessore). Le dimensioni minime della parte piana devono essere 500 mm x 500 mm per la proiezione manuale e 1000 mm x 1000 mm per la proiezione automatizzata. Le dimensioni effettive devono essere scelte tenendo in considerazione il tipo, il numero e le dimensioni dei campioni da prelevare. Lo spessore deve essere appropriato rispetto alle dimensioni dei provini da tagliare dal pannello, ma non deve essere minore di 100 mm. Devono essere prese le misure necessarie per evitare l'intrappolamento di materiale che rimbalza nello stampo (per esempio nei lati scanalati o fessurati).
Per le dimensioni delle carote il riferimento è rappresentato dal contenuto del § 20.10.6.4.

20.10.6 Resistenza dei conglomerati cementizi

La resistenza cubica dei conglomerati cementizi verrà controllata mediante i *controlli di accettazione*, che dovranno essere effettuati, per ciascuna opera o parte di opera, su tutte le miscele qualificate impiegate. Le resistenze di prelievo a 28 giorni (o a tempi diversi se richiesto) verranno determinate dal Laboratorio Ufficiale secondo le UNI EN 12390-3 e 4, e verranno utilizzate per verifica della conformità della resistenza del calcestruzzo impiegato a quella di Progetto.
Le prove a compressione vanno eseguite obbligatoriamente tra il 28° e il 30° giorno di maturazione.
La verifica verrà eseguita con il metodo statistico (tipo B) mentre solo per volumi di miscela omogenea minori di 1500 m^3 potrà essere utilizzato il metodo forfetario (tipo A).
In entrambi i casi (controllo Tipo A o B), nulla sarà dovuto all'Appaltatore se la resistenza R_{ck} risulterà maggiore di quella indicata negli elaborati progettuali.

20.10.6.1 Controlli di accettazione con metodo Tipo A

Un controllo di accettazione di tipo A è riferito ad un quantitativo di miscela omogenea non maggiore di 300 m^3 ed è rappresentato da tre prelievi,ciascuno dei quali eseguito su un massimo di 100 m^3 di getto. Per ogni giorno di getto va eseguito almeno un prelievo. Dovrà risultare per ogni gruppo di tre prelievi:

- $R_{c,min} \geq R_{ck} - 3.5$
- $R_{cm28} \geq R_{ck} + 3.5$

Dove:
$R_{c,min}$ = minore valore di resistenza dei prelievi (N/mm²);
R_{cm28} = resistenza media dei prelievi (N/mm²);
R_{ck} è la resistenza caratteristica di Progetto.
Nelle costruzioni con meno di 100 m^3 di getto di miscela omogenea è comunque obbligatorio il prelievo giornaliero.

20.10.6.2 Controlli di accettazione con metodo Tipo B

Il controllo di tipo B, riferito a una definita miscela omogenea, va eseguito con una frequenza non minore di un controllo ogni 1500 m^3 di calcestruzzo. Ogni controllo di accettazione di tipo B è costituito da almeno 15 prelievi, ciascuno dei quali eseguito su 100m^3 di getto di miscela omogenea. Per ogni giorno di getto va comunque effettuato almeno un prelievo.

Devono essere verificate le disuguaglianze:

- $R_{c,min} \geq R_{ck} - 3.5$
- $R_{cm28} \geq R_{ck} + 1.48\ s$

Dove:
s è lo scarto quadratico medio dei valori delle resistenze di prelievo;
$R_{c,min}$ = minore valore di resistenza dei prelievi (N/mm²);
R_{cm28} = resistenza media dei prelievi (N/mm²);
R_{ck} è la resistenza caratteristica di Progetto.
Non possono essere accettati calcestruzzi con coefficiente di variazione (s/Rm) superiore a 0,3, dove s è lo scarto quadratico medio e Rm è la resistenza media dei prelievi (N/mm^2). Inoltre, le NTC 2018 prevedono che con coefficiente di variazione superiore a 0,15 occorrono controlli più accurati, integrati con prove complementari di cui al §11.2.7 delle NTC 2018.

20.10.6.3 Controllo della resistenza per tempi inferiori a 28 giorni

Per il calcestruzzo armato la prima coppia verrà provata a 7 giorni e la seconda a 28 giorni, salvo diverse indicazioni da progetto o della Direzione Lavori. Per il calcestruzzo armato precompresso si eseguiranno le prove a 3, 7 e 28 giorni, salvo diverse indicazioni da progetto o della Direzione Lavori. Il valore medio delle resistenze di ciascuna coppia verrà designato "resistenza di prelievo".
I valori delle resistenze di prelievo a 3 oppure a 3 e 7 giorni, verranno determinati presso il Laboratorio della Direzione dei Lavori e impiegati per confronto con i dati corrispondenti ottenuti in fase di qualifica all'impianto, per una contabilizzazione provvisoria in attesa dei dati a 28 giorni.
Nel caso che la resistenza ricavata dalle prove a 7 giorni risultasse inferiore a quella prevista, la Direzione Lavori, nell'attesa dei risultati ufficiali, potrà a suo insindacabile giudizio ordinare la sospensione dei getti dell'opera interessata senza che l'Appaltatore possa accampare per questo alcun diritto.

20.10.6.4 Stima della resistenza caratteristica del calcestruzzo messo in opera

Se dalle prove eseguite presso il Laboratorio Ufficiale, risultassero Non Conformità nei controlli di accettazione, la Direzione Lavori aprirà corrispondentemente delle Non Conformità che dovranno essere risolte, se possibile d'intesa con il Progettista, come stabilito nel seguito. Tutte le relative prove saranno a totale carico dell'Appaltatore. In particolare, a seguito di un mancato superamento del controllo di accettazione, la DL disporrà l'accertamento della resistenza a compressione in opera (resistenza in sito) sugli elementi strutturali realizzati con il calcestruzzo risultato non conforme al controllo di accettazione.
La resistenza in sito del conglomerato va calcolata secondo quanto previsto nella norma UNI EN 13791 al § 9.2 (per la stima della resistenza a compressione per la valutazione strutturale di un'opera esistente occorre considerare il § 8 non oggetto di questo articolo di capitolato).
Ciascuna zona di prova deve essere suddivisa in volumi di circa 30 m^3 intendendo per zona di prova uno o più elementi strutturali simili o componenti prefabbricati di calcestruzzo noti o che si suppone siano stati ottenuti da calcestruzzo con gli stessi costituenti e la stessa classe di resistenza a compressione o equivalenti al volume definito in associazione a prove di indentità per la resistenza a compressione. Qualora vi siano meno di 30 m^3 si può trattare come un unico volume, a condizione che il calcestruzzo sia stato fornito in un solo giorno e che non vi siano indicazioni che uno dei carichi possa essere diverso dagli altri. Il numero minimo di aree di prova per ogni volume è specificato nel prospetto 8 della norma UNI EN 13791 di seguito riportato per comodità di consultazione intendendo per area di prova un'area limitata selezionata per le misurazioni generalmente utilizzata per stimare un risultato di prova da utilizzare per la valutazione della resistenza a compressione in sito. Il numero di carote da prelevare è a discrezione della DL e dipende dal volume di calcestruzzo da controllare oltre che dal numero di elementi costruttivi realizzati. Si potrà fare utile riferimento in tal senso a quanto riportato nella EN 13791:2019 per una test region o small test region.

Prospetto 8 UNI EN 13791 - Criteri per la valutazione basata sui dati di prove su carote			
N. di volumi di circa 30 m^3 nella zona di prova	N. min di aree di prova per ciascun volume[a)]	Media dei risultati di prova su carote per la zona di prova[b)]	Risultato di prova più basso[b),c)]
1[d)]	3	-	≥ 0,85 ($f_{ck,spec} - M$)
da 2 a 4	2	≥ 0,85 ($f_{ck,spec}$+1)	≥ 0,85 ($f_{ck,spec} - M$)
da 5 a 6	2	≥ 0,85 ($f_{ck,spec}$+2)	≥ 0,85 ($f_{ck,spec} - M$)
a) per carote con diametro ≥ 75 mm il numero minimo di carote per ottenere un risultato di prova per ciascuna area di prova è 1. b) la resistenza delle carote può essere espressa come $f_{c,1:1core}$ o $f_{c,2:1core}$ in base al valore selezionato di $f_{ck,spec}$. c) dove *M* = 4 MPa per la classe di resistenza a compressione C20/25 o superiore. Pr C16/20, C12/15 e C8/10 il margine *M* deve essere ridotto rispettivamente a 3, 2 e 1. d) condizione che sia trattato come un unico volume. Qualora vi siano meno di 30m^3 si può trattare come unico volume a condizione che il calcestruzzo sia stato fornito in un solo giorno e che non vi siano indicazioni che uno dei carichi possa essere diverso dagli altri.			
Legenda: $f_{ck,spec}$: Resistenza caratteristica minimma di provini cilindrici 2:1 associata alla classe di resistenza a compressione specificata. Per esempio $f_{ck,spec}$ è 30 MPa per una classe di resistenza a compressione C30/37 $f_{c,1:1core}$ o $f_{c,2:1core}$: Resistenza a compressione di una carota determinata in conformità alla EN 12504-1. Se il rapporto lunghezza/diametro della carota è 1:1 si utilizza l'abbreviazione $f_{c,1:1core}$ e se il rapporto lunghezza/diametro della carota è 2:1 si utilizza l'abbreviazione $f_{c,2:1core}$.			

Utilizzando le procedure specificate nel § 6 della EN 13791, si preleva una carota in corrispondenza di ciascuna area di prova al fine di ottenere un risultato per ciascuna area di prova. Se entrambi i criteri indicati nel prospetto 8 della EN 13791 sono soddisfatti, la conformità della resistenza a compressione può essere accettata per la zona di prova in esame.

Per limitare al massimo l'impatto sulle strutture è prescritto il prelievo di carote avente il minor diametro possibile nel rispetto delle seguenti condizioni:

- Non minore di 75 mm;
- Maggiore di 3 volte il diametro massimo dell'aggregato in quanto diversamente l'aggregato avrebbe una influenza significativa sulla resistenza misurata.

Con lo stesso principio, di limitare al massimo l'impatto sulle strutture, si prescrive una lunghezza delle carote pari al diametro delle stesse (carote 1:1), con tolleranza ±2mm, e pertanto il risultato di resistenza di confronto, essendo il rapporto lunghezza/diametro pari ad 1, è rappresentato dalla resistenza cubica. Per il calcestruzzo normale e pesante, il coefficiente per convertire una carota 1:1 in una carota 2:1 (in cui il risultato di resistenza è da confrontare alla resistenza cilindrica) è 0,82 a meno che non sia giustificato un valore diverso mediante prove.
Si scarteranno le carote fratturate o con evidenti difetti. Le carote dovranno essere rettificate; non è ammessa cappatura con gesso. La planarità e parallelismo delle facce, conformi alla UNI EN citata, devono essere verificate con strumenti di opportuna sensibilità. Prima della prova di compressione le carote saranno conservate per 24-48 ore nell'ambiente di laboratorio. La determinazione della resistenza in situ della carota avverrà apportando al valore sperimentali opportuni coefficienti di correzione per tener conto dell'effetto di disturbo dovuto al carotaggio, della presenza nella carota di eventuali ferri di armatura, della direzione di carotaggio rispetto a quella del getto, etc. A tal proposito di potrà far utile riferimento alle LG e a norme o testi di letteratura sull'argomento.
Si specifica che le prove su carote non devono essere effettuate con una maturità del calcestruzzo inferiore a 28 giorni e devono essere effettuate in conformità alla norma UNI EN 12504-1. Nello specifico deve essere evitato, ove possibile, il carotaggio attraverso l'armatura. Diversamente

occorre assicurarsi che le carote non contengano alcuna barra di armatura nella direzione dell'asse longitudinale o in prossimità di esso. Se si incontra un'armatura trasversale occorre registrare il suo diametro e la posizione (distanza dalla base della carota più vicina).
Il ripristino dei fori deve avvenire mediante malta fibrorinforzata premiscelata, tixotropica o colabile, leggermente espansiva.
Se il valore caratteristico di una serie di determinazioni di resistenza in sito non è inferiore all'85% di R_{ck} richiesto in progetto, l'elemento costruttivo relativamente alla sola qualità del calcestruzzo può essere ritenuto collaudabile; se invece detto valore caratteristico è inferiore all'85% di R_{ck}, il Direttore dei Lavori, sentito eventualmente il progettista, deve procedere al controllo della sicurezza della struttura in base alla resistenza in sito:

- Se tale controllo è soddisfacente il calcestruzzo può essere accettato e non sono richieste ulteriori azioni, salvo applicazione di una penale proporzionale al 15% (sul valore della lavorazione, per tutte le superfici ed i volumi per ogni 5 MPa del valore caratteristico in meno rispetto alla resistenza caratteristica. Il Direttore dei lavori potrà adottare ulteriori provvedimenti a seguito di una valutazione dell'effetto della resistenza ridotta sulla durabilità, in base alle prescrizioni della norma UNI 11104;
- Se le verifiche della sicurezza non sono soddisfacenti l'Appaltatore sarà tenuto, a sua totale cura e spese, alla demolizione e rifacimento dell'opera oppure all'adozione di quei provvedimenti che, proposti dallo stesso, per diventare operativi dovranno essere formalmente approvati dalla Direzioni Lavori, sentito eventualmente il Progettista.

20.10.6.5 Controlli della resistenza per i calcestruzzi proiettati

La conformità della resistenza a compressione per il calcestruzzo proiettato è valutata secondo il prospetto 14 della UNI EN 14487-1 che si riporta di seguito:

prospetto 14 UNI EN 14487-1 – Criteri di conformità per risultati di prova della resistenza a compressione			
Produzione	N. di risultati di prova "n" per la resistenza a compressione del gruppo	Criterio 1	Criterio 2
		Media f_{cm} di "n" risultanti in MPa	Qualsiasi risultato di prova individuale f_{ci} in MPa
Iniziale	3	$\geq f_{ck} + 4$	$\geq f_{ck} - 4$
Continua	15	$\geq f_{ck} + 1{,}48$	$\geq f_{ck} - 4$

Dove:
f_{ck} è la resistenza a compressione caratteristica;
δ è lo scarto tipo ottenuto da almeno 6 campioni.

Ogni risultato di prova individuale è la resistenza media a compressione di 5 carote prelevate da un singolo pannello di prova o in sito. Se il valore di una o due carote si scosta dalla media ± 20% i risultati non devono essere considerati nel calcolo, purchè la media sia ottenuta da almeno 3 carote.

20.11 Controlli sugli elementi prefabbricati

20.11.1 Controlli in stabilimento

Per i prefabbricati il Direttore dei Lavori deve eseguire visite di controllo presso lo stabilimento di prefabbricazione in contraddittorio e con l'assistenza dell'Appaltatore, in fase di qualifica iniziale e periodiche, con lo scopo di:

- Verificare la presenza di un processo di realizzazione degli elementi prefabbricati idoneo ad una produzione continua grazie all'uso di apparecchiature adeguate;
- Verificare la presenza di un sistema di controllo della produzione;
- Verificare la corretta posa delle armature metalliche (diametro, numero e posizione dei ferri, copriferro);
- Eseguire un prelievo in contraddittorio tra un rappresentante dello stabilimento, dell'Appaltatore e della Direzione Lavori di n. 3 spezzoni di acciaio di armatura o altro ritenuto

significativo dalla direzione lavori;
- Al prelievo in contraddittorio di due coppie di provini di calcestruzzo;
- All'esecuzione in contraddittorio di parte o tutte le prove sul calcestruzzo fresco di cui al § 20.10.2.

Tutti i provini verranno spediti a cura ed onere del prefabbricatore presso il suo laboratorio incaricato ai sensi dell'art 59 del D.P.R. n. 380/2001.

20.11.2 Controlli sulle forniture all'arrivo in cantiere

Come prescritto al § 11.8.3.4 delle NTC2018 è necessario verificare che ogni elemento prefabbricato prodotto in serie arrivato in cantiere, sia accompagnato dal DDT, marcatura CE e DoP e comunque sia stato appositamente contrassegnato da marchiatura fissa, indelebile o comunque non rimovibile, in modo da garantire la rintracciabilità e la visibilità dopo la posa del fabbricante e dello stabilimento di produzione, nonché individuare la serie di origine dell'elemento.
Inoltre, per manufatti di peso superiore ad 8 kN, dovrà essere indicato in modo visibile, per lo meno fino all'eventuale getto di completamento, anche il peso dell'elemento.
Occorre altresì verificare che ogni singolo elemento sia integro da sbeccature, crepe o altro difetto causato da incauto trasporto e movimentazione degli elementi.
Inoltre sul 5% degli elementi si procederà alla verifica delle geometrie degli elementi prefabbricati rispetto ai documenti di progetto e di qualifica.
Per gli elementi facciavista è previsto altresì il controllo del rispetto della finitura accettata in fase di qualifica.
Tali verifiche devono essere eseguite in contraddittorio tra Direzione Lavori ed Appaltatore sia all'arrivo in cantiere delle forniture, sia dopo l'eventuale stoccaggio temporaneo nella aree di deposito dedicate e comunque al termine della movimentazione degli elementi prima della definitiva posa in opera.

20.11.3 Controlli sulla resistenza, sul copriferro e sulle armature degli elementi prefabbricati giunti in cantiere

Ad insindacabile giudizio della Direzione Lavori, potranno essere eseguite a campione prove di resistenza del calcestruzzo nel manufatto, mediante carotaggio, come previsto al § 20.10.6.4, della correttezza del copriferro e dell'armatura dell'elemento prefabbricato. Tali elementi non saranno impiegati nella realizzazione dell'opera e verranno smaltiti. Se tali prove dimostrassero la conformità degli elementi prefabbricati alle specifiche di progetto e di qualifica verranno compensati a parte così come gli eventuali oneri per il trasporto a discarica e lo smaltimento del materiale di risulta.

20.12 Modalità di esecuzione

Per quanto non esplicitamente indicato nella presente sezione e in progetto, in ottemperanza al § 4.1.7 delle NTC2018, si farà riferimento alla norma UNI EN 13670 "Esecuzione di strutture in Calcestruzzo" ed alle "Linee Guida per la messa in opera del calcestruzzo strutturale" pubblicate dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (settembre 2017).
In tutte le fasi esecutive, comprese le fasi di preparazione e di sistemazione finale delle aree, per gli aspetti e le problematiche relative a temi ambientali, quali impatti acustici e vibrazionali, emissioni in atmosfera, impatto sulle acque superficiali, sotterranee e sul suolo, impatti sulla componente fauna e vegetazione, si rimanda integralmente a quanto prescritto dalla Normativa Nazionale e Regionale vigente, alle prescrizioni degli Enti preposti alla tutela ambientale, nonché alle condizioni ambientali contenute nelle autorizzazioni ed alle disposizioni del Capitolato Ambientale e Piano di Gestione Terre/Piano di Utilizzo allegati al progetto esecutivo.

20.12.1 Programma e registro getti

L'Impresa esecutrice è tenuta a presentare, nei modi e nei tempi previsti dal Contratto, un programma dei getti che saranno eseguiti nelle giornate successive. Laddove il Contratto non riporti indicazioni al riguardo il programma getti deve essere consegnato almeno il giorno precedente l'esecuzione dei getti e deve contenere un elenco numerato in funzione delle attività previste con le seguenti indicazioni:

- data e ora di esecuzione del getto;
- ubicazione del getto (WBS opera, parte d'opera, direzione carreggiata, pk, ecc);
- R_{ck}, codice di riferimento del mix e classe di resistenza del conglomerato cementizio in accordo ai documenti di qualifica e di progetto;
- metri cubi di calcestruzzo previsti;
- impianto di betonaggio di provenienza;
- ragione sociale dell'impresa che esegue materialmente le operazioni di getto;
- eventuale utilizzo di pompa;
- durata e modalità di stagionatura.

Ogni variazione al programma deve essere comunicata (salvo casi dovuti a motivi di sicurezza), in forma scritta, con un preavviso minimo di 1 giorno.
Inoltre, l'Impresa esecutrice deve verificare per ogni singola miscela la relativa autorizzazione al getto, la rispondenza alle specifiche di progetto previste per l'opera o parte d'opera ove è previsto il getto, nonché la presenza di una specifica di stagionatura delle opere/parti d'opera da realizzare.
Si prescrive infine l'obbligo di mantenere compilato ed aggiornato un registro di tutti i getti eseguiti che ne consenta la rintracciabilità da consegnare settimanalemte alla Direzione Lavori.

20.12.2 Confezionamento dei conglomerati cementizi

I conglomerati cementizi possono essere confezionati solo in impianti dotati di processo industrializzato ed in possesso della certificazione FPC preventivamente accettati dalla Direzione Lavori. Pertanto, non occorrerà eseguire alcun esame dell'impianto da parte della Direzione Lavori stessa, la quale si limiterà ad acquisire la documentazione di prequalifica e di qualificare in contraddittorio le miscele all'impianto nelle modalità disciplinate dal presente capitolato.

20.12.3 Trasporto e consegna

Il trasporto dei conglomerati cementizi dall'impianto di betonaggio al luogo d'impiego dovrà essere effettuato con mezzi idonei al fine di evitare la possibilità di segregazione dei singoli componenti e comunque tali da evitare ogni possibilità di deterioramento del conglomerato cementizio medesimo. Saranno accettate in funzione della durata e della distanza di trasporto, le autobetoniere e le benne a scarico di fondo ed, eccezionalmente, i nastri trasportatori. L'uso del nastro è, infatti, idoneo solo nel caso di calcestruzzi aventi classe di lavorabilità S1 – S2 (eventualmente anche S3). Il nastro di ritorno, ripulito mediante gli specifici raschia-nastro, deve rimanere liberato dalla malta o pasta cementizia. Per evitare la segregazione allo scarico è necessario predisporre, all'estremità del nastro, una tramoggia che permetta lo scarico verticale. Non sono ammessi gli autocarri a cassone o gli scivoli.
Ciascuna consegna di calcestruzzo, anche prodotto presso impianti interni al cantiere, dovrà essere accompagnata da un DdT (Documento di Trasporto) che dovrà riportare le seguenti informazioni:

- dichiarazione di conformità alle specifiche della UNI EN 206;
- classe di resistenza, di esposizione, del contenuto di cloruri, di consistenza;
- valori limite della composizione del cls (se specificati);
- tipo e classe del cemento, di additivo e di aggiunta (se specificati), tipo e contenuto di fibre (se

specificate);
- D max dell'aggregato;
- dati di ciclo inteso come confronto tra composizione teorico e reale riferiti al carico trasportato;
- nome dell'impianto, n. di serie del DDT, data e ora di carico (cioè ora del primo contatto tra cemento e acqua), identificativo del veicolo, nome dell'acquirente, nome e ubicazione del cantiere precisando WBS e parte d'opera;
- quantità del cls in mc;
- ora di arrivo in cantiere del cls, ora di inizio scarico, ora di fine scarico.

L'appaltatore si impegna ad esibire settimanalmente detta documentazione e a consegnare alla Direzione Lavori copia in pdf dei DDT relativi ai getti eseguiti nel periodo.
L'uso delle pompe sarà consentito a condizione che l'Appaltatore adotti, a sua cura e spese, provvedimenti idonei a mantenere il valore prestabilito del rapporto acqua/cemento del conglomerato cementizio alla bocca d'uscita della pompa.

20.12.4 Operazioni preliminari alla posa dei conglomerati cementizi

Le operazioni di getto potranno essere avviate solo dopo l'esecuzione dei tracciamenti topografici da parte dell'Appaltatore e della verifica degli scavi, delle casseforme e delle armature metalliche da parte della Direzione Lavori.
Prima di effettuare qualsiasi getto di calcestruzzo di fondazione, dovrà essere predisposto sul fondo dello scavo, dopo aver eseguito la pulizia ed il costipamento dello stesso secondo le modalità previste dal presente art. 1 di questo capitolato, uno strato di calcestruzzo "magro" avente classe di consistenza e spessore secondo le previsioni progettuali con funzione di piano di appoggio livellato e di cuscinetto isolante contro l'azione aggressiva del terreno.

20.12.4.1 Stoccaggio e posa in opera delle armature per c.a.

La qualifica, l'accettazione e le prove sulle armature sono disciplinate all'articolo 24 del presente capitolato.

20.12.4.1.1 Stoccaggio delle barre e gabbie per c.a.

Alla consegna in cantiere, l'Impresa avrà cura di depositare l'acciaio in luoghi protetti dagli agenti atmosferici. In particolare, per quei cantieri posti ad una distanza inferiore a 2 km dal mare, le barre di armatura dovranno essere protette, con appositi teli, dall'azione dell'aerosol marino. I ferri d'armatura non devono per alcun motivo essere scaricati direttamente sul terreno per evitare che si sporchino, al riguardo occorre posizionare un adeguato telo di separazione con appositi distanziatori rispetto al piano di appoggio. L'Appaltatore è responsabile della manutenzione delle aree di stoccaggio al fine di manterle in piena efficienza per tutta la durata del cantiere.

20.12.4.1.2 Posa in opera delle barre e gabbie per c.a.

Le gabbie d'armatura dovranno essere, per quanto possibile, composte fuori opera e i ferri sagomati negli stabilimenti.
Nella posa in opera delle armature devono essere rispettate le indicazioni progettuali in merito:
- al posizionamento;
- allo spessore del copriferro nominale;
- all'interferro;
- alle giunzioni.

In corrispondenza di tutti i nodi dovranno essere eseguite legature doppie incrociate in filo di ferro ricotto di diametro non inferiore a 0,6 mm, in modo da garantire l'invariabilità della geometria della

gabbia durante il getto. In presenza di ferri d'armatura zincati od in acciaio inox, il filo utilizzato per le legature dovrà avere le stesse caratteristiche dell'acciaio da sottoporre a legatura. La legatura con punti di saldatura non è ammessa in cantiere ma solo negli stabilimenti di presagomatura.
Nella posa in opera delle armature metalliche entro i casseri è prescritto tassativamente l'impiego di opportuni distanziatori:

- al fondo delle cassaforme si useranno elementi prefabbricati in fibrocemento di sezione quadrata o triangolare, scegliendo prodotti di resistenza prossima a quella del conglomerato;
- lungo le pareti verticali si dovranno impiegare distanziatori ad anello in materiale plastico.

L'uso dei distanziatori dovrà essere esteso anche alle strutture di fondazione armate. I distanziatori utilizzati per garantire i copriferri ed eventualmente le reciproche distanze tra le barre di armatura, dovranno essere in plastica o a base di malta cementizia di forma e geometria tali da minimizzare la superficie di contatto con il cassero. In assenza di tali distanziatori la Direzione Lavori non darà il proprio assenso all'inizio delle operazioni di getto.
Per le barre in acciaio zincato il trattamento di zincatura a caldo potrà essere effettuato prima o dopo la lavorazione e piegatura delle barre, salvo diversa prescrizione che la Direzione Lavori si riserva d'impartire in corso d'opera. Quando risulti proprio indispensabile procedere in cantiere al taglio o alla piegatura di barre zincate, eventuali scagliature del rivestimento di zinco nella zona di piegatura ed i tagli dovranno essere trattati con ritocchi di primer zincante organico bi-componente, dello spessore di 80-100 µm.
Le giunzioni possono essere effettuate mediante:

- saldature ma solo presso gli stabilimenti di presagomatura e non in cantiere previo accertamento della saldabilità dell'acciaio in uso e della sua compatibilità con il metallo d'apporto, nelle posizioni o condizioni operative previste nel progetto esecutivo. Le saldature non devono essere eseguite in una parte curva o in prossimità di una curva dell'armatura. La saldatura per punti è ammessa solo per l'assemblaggio delle armature. Non deve essere permessa la saldatura delle armature di acciaio galvanizzato a meno di diverse specifiche prescrizioni, che indichino il procedimento da seguire per il ripristino della protezione;
- manicotto filettato;
- sovrapposizione.

La sovrapposizione deve essere calcolata in modo da assicurare l'ancoraggio di ciascuna barra; in ogni caso la lunghezza di sovrapposizione, per le barre rette, non deve essere minore di 20 volte il diametro e la prosecuzione di ciascuna barra deve essere deviata verso la zona compressa. La distanza mutua (intraferro) nella sovrapposizione non deve superare 4 volte il diametro.
L'Appaltatore, con riferimento alla UNI EN 13670, dovrà adottare inoltre tutti gli accorgimenti necessari affinché le gabbie mantengano la posizione di Progetto all'interno delle casseforme durante le operazioni di getto.
È a carico dell'Appaltatore l'onere della posa in opera delle armature metalliche, anche in presenza d'acqua o fanghi bentonitici, nonché i collegamenti equipotenziali.
In tutte le fasi esecutive, comprese le fasi di preparazione e di sistemazione finale delle aree, per gli aspetti e le problematiche relative a temi ambientali, quali impatti acustici e vibrazionali, emissioni in atmosfera, impatto sulle acque superficiali, sotterranee e sul suolo, impatti sulla componente fauna e vegetazione, si rimanda integralmente a quanto prescritto dalla Normativa Nazionale e Regionale vigente, alle prescrizioni degli Enti preposti alla tutela ambientale, nonché alle condizioni ambientali contenute nelle autorizzazioni ed alle disposizioni del Capitolato Ambientale allegato al progetto esecutivo.

20.12.4.2 Armatura di precompressione

L'Appaltatore dovrà attenersi rigorosamente alle prescrizioni contenute nei calcoli statici e nei

disegni esecutivi per tutte le disposizioni costruttive, ed in particolare per quanto riguarda:
- il tipo, il tracciato, la sezione dei singoli cavi;
- le fasi d'applicazione della precompressione;
- la messa in tensione da uno o da entrambi gli estremi;
- le eventuali operazioni di ritaratura delle tensioni;
- i dispositivi speciali come ancoraggi fissi, mobili, intermedi, manicotti di ripresa, ecc.

Oltre a quanto prescritto dalle vigenti norme di legge si precisa che, nella posa in opera delle armature di precompressione, l'Appaltatore dovrà assicurarne l'esatto posizionamento mediante l'impiego d'appositi supporti, realizzati per esempio con pettini in tondini d'acciaio. Per quanto riguarda l'iniezione nei cavi di precompressione e la tesatura in cantiere, si rimanda all'articolo specifico del presente capitolato.

20.12.4.3 Casseforme e posa in opera

L'Impresa comunicherà preventivamente alla Direzione Lavori il sistema e le modalità esecutive che intende adottare per realizzare i casseri e le relative opere di sostegno, ferma restando l'esclusiva responsabilità dell'Impresa stessa per quanto riguarda la progettazione e l'esecuzione di tali opere provvisionali e la loro rispondenza a tutte le norme di legge ed ai criteri di sicurezza che comunque possono riguardarle. Il sistema prescelto dovrà comunque essere atto a consentire la realizzazione delle opere in conformità alle disposizioni contenute nel progetto esecutivo.
L'Appaltatore dovrà progettare le cassaforme e le relative strutture di contrasto in modo da resistere alla spinta idrostatica di un battente di calcestruzzo fluido (in particolare per manufatti di altezza rilevante gettati velocemente e con conglomerato di consistenza S5 o SCC) pari alla parete della cassaforma.
Nel caso di casseratura a perdere, inglobata nell'opera occorre verificare la sua funzionalità, se è elemento portante, e che non sia dannosa, se è elemento accessorio.
Le casseforme dovranno essere atte a garantire superfici di getto regolari ed a perfetta regola d'arte; in tal senso l'Appaltatore provvederà, quando necessario alla posa di opportuni ponteggi ed impalcature, previa presentazione ed approvazione da parte della Direzione Lavori dei relativi progetti. Le parti componenti i casseri debbono essere a perfetto contatto e sigillate con idoneo materiale per evitare la fuoriuscita di boiacca cementizia.
Il Direttore dei Lavori, a suo insindacabile giudizio, può richiedere l'allontanamento immediato di quei casseri ritenuti rovinati o non più idonei all'uso e la sostituzione con altri nuovi senza che ciò possa costituire diritto per richieste di indennizzo di alcuna natura, né diretto sul costo dei casseri, né indiretto per eventuali ritardi nell'esecuzione dei getti.
Dovranno essere impiegati prodotti disarmanti aventi i requisiti di cui alle specifiche della Norma UNI 8866; le modalità d'applicazione dovranno essere quelle indicate dal produttore evitando accuratamente aggiunte eccessive e ristagni di prodotto sul fondo delle casseforme.
Il disarmante impiegato non deve macchiare o danneggiare la superficie del conglomerato. A tale scopo saranno usati prodotti efficaci per la loro azione specifica escludendo i lubrificanti di varia natura. Nel caso di utilizzo di casseforme impermeabili, per ridurre il numero delle bolle d'aria sulla superficie del getto, si dovrà fare uso di disarmante con agente tensioattivo in quantità controllata e la vibrazione dovrà avvenire contemporaneamente al getto.
In generale, a parità di caratteristiche tecniche, si dovrà preferire prodotti più sostenibili dal punto di vista ambientale.

Si dovranno rimuovere dall'interno dei casseri e della superficie dei ferri d'armatura eventuali residui polvere, terriccio o di ghiaccio o di brina eventualmente venutasi a formare durante le ore notturne.
Dovunque sia possibile, gli elementi dei casseri saranno fissati nell'esatta posizione prevista

utilizzando fili metallici liberi di scorrere entro tubetti di materiale PVC o simile, di colore grigio, destinati a rimanere incorporati nel getto di conglomerato cementizio, armato o non armato.

20.12.4.4 Predisposizione di fori, tracce, cavità, ammorsature, oneri vari

L'Appaltatore avrà a suo carico il preciso obbligo di predisporre in corso d'esecuzione quanto è previsto nei disegni costruttivi o sarà successivamente prescritto di volta in volta in tempo utile dalla Direzione Lavori, circa fori, tracce, tirafondi, piastre, cavità, incassature ecc. nelle solette, nervature, pilastri, murature, ecc., per la posa in opera d'apparecchi accessori quali giunti, appoggi smorzatori sismici, pluviali, passi d'uomo, passerelle d'ispezione, sedi di tubi e di cavi, opere d'interdizione, sicurvia, barriere antirumore, parapetti, mensole, segnalazioni, parti d'impianti.
Nell'esecuzione dei manufatti contro terra il progetto dovrà tenere conto, in numero sufficiente ed in posizione opportuna, dell'esecuzione di appositi fori per l'evacuazione delle acque di infiltrazione. I fori dovranno essere ottenuti mediante preventiva posa in opera nella massa del conglomerato cementizio di tubi a sezione circolare o di profilati di altre sezioni di PVC o simili.
Tutte le conseguenze per la mancata esecuzione delle predisposizioni così prescritte dalla Direzione Lavori, saranno a totale carico dell'Appaltatore, sia per quanto riguarda le rotture, i rifacimenti, le demolizioni d'opere di spettanza dell'Appaltatore stesso, sia per quanto riguarda le eventuali opere d'adattamento d'infissi o impianti, i ritardi, le forniture aggiuntive di materiali e la maggiore mano d'opera occorrente da parte dei fornitori.

20.12.5 Getto del calcestruzzo

L'Appaltatore deve verificare la conformità dell'armatura al progetto nonché la geometria plano-altimetrica dei casseri con rilevo topografico da trasmettere alla Direzione Lavori prima di avviare le operazioni di getto.
Solo a seguito della verifica con esito positivo degli scavi, delle casseforme, delle armature metalliche e di tutte le predisposizioni di cui al punto 20.12.4.4 da parte della Direzione Lavori, e dei controlli di cui al § 20.10.1, l'Impresa potrà avviare le operazioni di getto.
Nel caso di getti contro terra, roccia, ecc., si deve controllare che la pulizia del sottofondo, il posizionamento d'eventuali drenaggi, la stesura di materiale isolante o di collegamento, siano eseguiti in conformità alle disposizioni di Progetto e delle presenti Norme.
Lo scarico del conglomerato dal mezzo di trasporto dovrà avvenire con tutti gli accorgimenti atti ad evitare la segregazione e favorire il flusso attraverso le armature e le parti più difficili da raggiungere nelle casseforme. A questo scopo il conglomerato dovrà scendere verticalmente al centro della cassaforma con un'altezza di caduta libera che, indipendentemente dal sistema di movimentazione e getto, non deve essere superiore ad 80 cm e sarà steso, mediante rastrelli o stagge, in strati orizzontali di spessore limitato e comunque non superiore a 50 cm misurati dopo la vibrazione. Nel caso di getti di notevole estensione i punti di getto non dovranno distare più di cinque metri uno dall'altro (salvo l'impiego di calcestruzzo autocompattante).
È vietato scaricare il conglomerato in un unico cumulo e distenderlo con l'impiego del vibratore; se necessario si farà uso di tubi getto o si getterà mediante pompaggio però solo in presenza di calcestruzzi aventi classe di lavorabilità S4 – S5, o autocompattanti (SCC). Affinché l'operazione di pompaggio possa procedere in modo soddisfacente, è necessario che l'impasto sia alimentato in modo continuo, risulti uniforme, di buona qualità, omogeneamente mescolato e correttamente dosato, con aggregati di adeguato assortimento granulometrico.
Nel caso di getti verticali ed impiego di pompa, qualora le condizioni operative lo permettano e soprattutto con i calcestruzzi autocompattanti, si suggerisce di immettere il calcestruzzo dal fondo. Questo accorgimento favorisce la fuoriuscita dell'aria e limita la presenza di bolle d'aria sulla superficie. L'obiettivo è raggiunto fissando al fondo della cassaforma un raccordo di tubazione per

pompa, munito di saracinesca, collegato al terminale della tubazione della pompa.
Il conglomerato cementizio sarà posto in opera e assestato con ogni cura in modo che le superfici esterne si presentino lisce e compatte, omogenee e perfettamente regolari ed esenti anche da macchie o chiazze. Per la finitura superficiale delle solette è prescritto l'uso di stagge vibranti o attrezzature equivalenti.
Eventuali ferri (filo, chiodi, reggette) che con funzione di legatura di collegamento casseri od altro, dovessero sporgere da getti finiti, dovranno essere tagliati almeno 1,5 cm sotto la superficie finita e le cavità risultanti saranno accuratamente sigillati con malta fine di cemento espansivo.
Quando previsto in Progetto, le murature in conglomerato cementizio saranno rivestite sulla superficie esterna con paramenti speciali in pietra, laterizi od altri materiali da costruzione; in tal caso i getti dovranno procedere contemporaneamente al rivestimento ed essere eseguiti in modo da consentire l'adattamento e l'ammorsamento.
Qualora la Società dovesse affidare i lavori di protezione superficiale dei conglomerati cementizi a ditte specializzate, nulla è dovuto all'Appaltatore per gli eventuali oneri che dovessero derivarle dalla necessità di coordinare le rispettive attività.
Quando il conglomerato cementizio deve essere gettato in presenza d'acqua, si dovranno adottare gli accorgimenti approvati dalla Direzione Lavori, necessari per impedire che l'acqua lo dilavi. Si farà uso a tale scopo di tubo getto, adottando gli accorgimenti necessari affinché venga realizzata una separazione all'interno del tubo tra l'acqua e il calcestruzzo in fase di getto iniziale. A regime il tubo getto dovrà essere pieno di calcestruzzo ed inserito per almeno 50 cm nel calcestruzzo già gettato. La Direzione Lavori dovrà vietare che il tubo getto venga sollevato ed abbassato per facilitare il flusso del conglomerato.

20.12.6 Getti massivi e di lunghezza elevata

Qualora debbano realizzarsi getti massivi non dovrà essere superata all'interno dei getti la temperatura di 70°C e la massima differenza di temperatura nella sezione del manufatto dopo la rimozione delle casseforme non dovrà essere superiore a 35°C. La Direzione Lavori può richiedere a suo insindacabile giudizio, la misura in continuo della temperatura nel nucleo del getto e all'estradosso della gabbia di armatura o, in assenza di essa, a 3 cm dalla superficie libera da casseri. Tale misurazione sarà un onere a carico dell'Appaltatore. Qualora il gradiente di temperatura tra il nucleo e la superficie libera da casseri del getto sia superiore a 35°C occorre monitorare accuratamente l'eventuale presenza di fessurazioni e nel caso procedere all'apertura di una non conformità. La formazioni di fessure deve essere trattata nelle modalità di cui al § 20.13.2.
Il getto dovrà rimanere, per almeno 4 giorni consecutivi (preferibilmente 7 giorni), entro casseri ricoperti dall'esterno con materassini termoisolanti che riducano il gradiente termico tra nucleo e periferia del getto. Quando le superfici non casserate avranno terminato la fase di presa, occorrerà procedere alla stesa dei materassini anche in queste zone. Sarà obbligatorio procedere alla maturazione dei getti (con le modalità di cui al § 20.12.14) per ulteriori 3 giorni consecutivi alla rimozione dei casseri. Dovranno inoltre evitarsi metodi di stagionatura che favoriscono un rapido raffreddamento della superficie esterna dei manufatti (come ad esempio la bagnatura in contiunuo delle superfici con acqua); al contrario sarà utile il mantenimento prolungato dei casseri (se isolanti).
Qualora, per particolari esigenze costruttive, si debba procedere con una rapida rimozione delle casseforme (sempre su esplicita autorizzazione della Direzione Lavori), la superficie dei getti dovrà essere prontamente ricoperta con fogli di polietilene e materassini coibenti per almeno 4 giorni (preferibilmente 7 giorni).
Nei casi di getti di lunghezza elevata allorché per le necessità operative i casseri devono essere rimossi in tempi brevi (1 o 2 giorni), si può prendere in considerazione l'impiego di falsi casseri coibentati che devono rimpiazzare in tempi molto brevi (poche ore) i casseri veri a cura ed onere

dell'Appaltatore.

20.12.7 Getti in clima freddo

Una temperatura particolarmente rigida può produrre, sulla superficie del calcestruzzo non opportunamente protetta, effetti di sfarinamento o di scagliatura. Inoltre il calcestruzzo rimane comunque esposto al rischio di gelate e quindi a danni irreversibili, fino a quando non abbia raggiunto una resistenza meccanica alla compressione, pari ad almeno 5 N/mm^2.
Per evitare danni ai conglomerati cementizi in condizioni di clima freddo, occorre quindi rispettare le seguenti prescrizioni in merito a:

- Limitazioni all'esecuzione dei getti quando la temperatura dell'aria è minore di 5°C;
- Limitazioni della temperatura del calcestruzzo al momento della messa in opera;
- Mantenimento della temperatura del calcestruzzo dopo il getto.

Al fine di poter mettere in atto correttamente e verificare le prescrizioni riguardanti le temperature di getto, l'Appaltatore deve esporre in cantiere un termometro in grado di indicare le temperature minime e massime giornaliere.

20.12.7.1 Limitazioni all'esecuzione dei getti quando la temperatura dell'aria è minore di 5°C

In condizioni di temperatura ambientale inferiore a 5 °C il getto potrà essere eseguito solo nel caso vengano rispettate le seguenti prescrizioni:

- nel caso in cui la temperatura dell'aria sia compresa fra 0°C e 5°C, la produzione e la posa in opera del conglomerato cementizio devono essere sospese a meno che non sia garantita una temperatura dell'impasto, durante la fase di getto, entro i limiti indicati nel successivo paragrafo;
- per temperature comprese fra -4°C e 0°C, potranno essere eseguiti esclusivamente getti relativi a fondazioni, pali e diaframmi, a condizione che sia garantita una temperatura dell'impasto, durante la fase di getto, entro i limiti indicati nel successivo paragrafo;
- salvo situazioni eccezionali, da sottoporre comunque a preventiva approvazione del Direttore dei Lavori, non si deve procedere all'esecuzione di alcun getto quando la temperatura dell'aria esterna è inferiore a –4°C.

In ogni caso l'Appaltatore deve scegliere per il getto le ore più calde della giornata.

20.12.7.2 Limitazioni della temperatura del calcestruzzo al momento della messa in opera

Quando al momento del getto la temperatura dell'aria è minore di 5 °C, allo scopo di impedire danni per effetto del congelamento del calcestruzzo, la temperatura minima della miscela al momento della messa in opera è in funzione della sezione minima del manufatto da realizzare e deve rispettare i limite della seguente tabella:

Minima dimensione della sezione, mm			
300 (solette)	300-900 (muri)	900-1800	> 1800 (pile e plinti)
Minima temperatura ammessa del calcestruzzo al momento della messa in opera, °C			
13	10	7	5

Le temperature minime delle miscele indicate possono essere raggiunte ad esempio mediante un adeguato sistema di preriscaldamento degli inerti e/o dell'acqua di impasto all'impianto di

betonaggio, con l'avvertenza che la temperatura raggiunta dall'impasto non sia superiore a 25°C. In alternativa, è possibile utilizzare, sotto la responsabilità dell'Impresa, additivi acceleranti di indurimento (confrome alla UNI EN 934-2) e dovranno essere utilizzati cementi di classe non inferiori alla 42.5R. Il ricorso ad additivi acceleranti di indurimento (conformi alla UNI EN 934-2), deve essere autorizzato dalla D.L., e il loro impiego è a cura ed onere dell'Appaltatore.

20.12.7.3 Coibentazione

Quando la maturazione del calcestruzzo avviene in presenza di climi freddi o in condizioni climatiche particolarmente sfavorevoli (forte vento, variazioni repentine di umidità ecc.) fino a quando la resistenza a compressione del calcestruzzo abbia raggiunto 5 MPa, occorre, a cura ed onere dell'Appaltatore, coibentare le superfici.
La coibentazione dei manufatti deve essere realizzata con le modalità seguenti:
- per i getti con ampie superfici orizzontali (solette) si deve ricorrere a materassini isolanti di lana di vetro o di roccia oppure in polistirolo (polistirene, ecc.) da applicare subito dopo la rifinitura delle superfici;
- per i getti in cassero (plinti, pile e pulvini) si devono usare cassaforme coibentate.

In funzione del tipo di manufatto e della temperatura minima prevedibile, la seguente tabella indica la Resistenza termica minima (R = m².°C/W) della cassaforma coibentata o del materassino da utilizzare.

<table>
<tr><th>Spessore minimo, mm</th><th>Temp. Minima prevista, °C</th><th>Solette</th><th>Pile, muri</th><th>Pulvini</th></tr>
<tr><td rowspan="2">< 300</td><td>Fino a –5</td><td>0.8</td><td colspan="2" rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>Fino a –15</td><td>1.41</td></tr>
<tr><td rowspan="2">500-1200</td><td>Fino a –5</td><td rowspan="3"></td><td>0.5</td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>Fino a –15</td><td>0.7</td></tr>
<tr><td>> 1800</td><td>Fino a –15</td><td></td><td>.35</td></tr>
</table>

Per valutare l'efficacia delle misure adottate dall'Appaltatore, la Direzione dei Lavori può richiedere l'installazione di termocoppie, a cura ed onere dell'Appaltatore, in corrispondenza delle superfici, vertici e spigoli allo scopo di verificare, ogni ora, la temperatura del calcestruzzo. Sono da preferire sistemi automatici muniti di data-logger.
Al termine del periodo di protezione necessario alla maturazione, il calcestruzzo deve essere raffreddato gradatamente per evitare il rischio di fessure provocate dalla differenza di temperatura tra parte interna ed esterna. Si consiglia di allontanare gradatamente le protezioni facendo in modo che il calcestruzzo raggiunga gradatamente l'equilibrio termico con l'ambiente.

20.12.8 Getti in clima caldo

Temperature elevate influenzano la qualità sia del calcestruzzo fresco che di quello indurito provocando una troppo rapida evaporazione dell'acqua di impasto ed una velocità di idratazione del cemento eccessivamente elevata.
I principali potenziali problemi per il calcestruzzo fresco riguardano:
- gli effetti di una più rapida perdita della lavorabilità del conglomerato,
- riduzione del tempo di presa
- i rischi della fessurazione da ritiro plastico,
- disidratazione rapida della superficie libera dei manufatti dopo la presa,

I principali potenziali problemi per il calcestruzzo indurito riguardano:
- riduzione della resistenza a 28 giorni,
- maggior ritiro per perdita di acqua,
- probabile insorgenza di fessure per effetto dei gradienti termici, specialmente se con miscele con classe di resistenza elevata e con spessore minimo superiore 0,5 m (si veda anche paragrafo sui getti massivi);
- forte variabilità nella qualità dell'aspetto della superficie dovuta alle differenti velocità di idratazione.

Per ovviare a tali potenziali problemi, durante la stagione calda, se la prevedibile temperatura ambiente supera i 32 °C, la temperatura del calcestruzzo fresco non dovrà essere superiore a 30 °C. A tale scopo si dovranno adottare opportuni accorgimenti, a cura ed onere dell'Appaltatore, quali:
- il raffreddamento dell'acqua se sufficiente e degli aggregati se necessario mediante innaffiamento con acqua fredda; in questo caso il sistema per la misura del contenuto d'acqua dell'aggregato dell'impianto di confezionamento del calcestruzzo dovrà essere verificato quotidianamente mediante la misura del rapporto acqua/cemento secondo UNI 11201;
- l'uso di ghiaccio in sostituzione di parte dell'acqua di impasto, avendo cura di computarne l'esatta quantità nel calcolo del rapporto a/c affinché il valore prescritto non subisca alcuna variazione;
- l'impiego di additivi ritardanti di presa e/o superfluidificanti con caratteristiche collaterali ritardanti per il mantenimento della lavorabilità conformemente alle indicazioni riportate nel presente capitolato e alle specifiche di qualifica preventivamente autorizzati dalla Direzione Lavori;
- raffreddamento delle casseforme metalliche mediante preventivi getti esterni di acqua fredda entro la temperatura massima di 32° C con tolleranza di 5°C;- adeguata protezione delle superfici del getto per evitare eccessive variazioni termiche tra l'interno e la parte corticale dei getti;
- esecuzione dei getti al mattino, alla sera o di notte.

La Direzione Lavori procederà a misure della temperatura del calcestruzzo fresco che verrà rifiutato qualora questa risulti superiore al limite suddetto.

20.12.9 Getti di calcestruzzi drenanti di pavimentazioni stradali

La stesa verrà eseguita negli spessori prescritti, impiegando macchine vibrofinitrici in perfetto stato di efficienza e dotate di automatismo di autolivellamento. È consigliabile la presenza di una squadra di supporto per le lavorazioni di finitura.
Nel caso di interventi in spazi ridotti, si consiglia l'impiego di stagge vibranti o "roller screed", unitamente a frattazzo meccanico dotato di disco in teflon.
Nessuna operazione di rullatura è necessaria dopo la stesa con finitrice stradale, pertanto le caratteristiche di finitura e regolarità superficiale richieste dovranno essere ottenute immediatamente dopo la posa in opera. Dopo l'inizio del fenomeno di presa del calcestruzzo non dovranno essere eseguite ulteriori operazioni di finitura e regolarizzazione dell'estradosso.
Il giunto di ripresa sarà ottenuto terminando la stesa dello strato a ridosso di una tavola, e togliendo la tavola stessa al momento della ripresa del getto. In caso di mancato uso della tavola, sarà necessario, prima della ripresa del getto, provvedere a tagliare l'ultima parte del getto precedente, in modo che si ottenga una parete verticale per tutto lo spessore dello strato.
La realizzazione di giunti di contrazione non risulta indispensabile, fatto salvo eventuali necessità tecniche legate agli spessori e/o alla conformazione geometrica della pavimentazione. Qualora la realizzazione di giunti di contrazione si ritenesse necessaria, i tagli dovranno essere di norma eseguiti su materiale fresco, mediante l'impiego di apposita attrezzatura, secondo indicazioni della D.L..
Il transito di cantiere sarà ammesso sullo strato, non prima del terzo giorno dopo quello in cui è stata

effettuata la stesa, e limitatamente ai mezzi gommati.
La Direzione Lavori provvederà ad eseguire prove di permeabilità misurata in sito mediante un contenitore cilindrico (permeabilimetro conforme alla normativa belga) del diametro interno pari a 75 mm ed altezza pari a 390 mm dotato di scala graduata. Il tempo necessario per lo svuotamento di un dato volume d'acqua contenuta dal recipiente permette di misurare la permeabilità della pavimentazione che dovrà essere pari ad almeno 20 l/s calcolato su una media di cinque misurazioni la cui localizzazione sarà a discrezione della D.L.. Le misure di permeabilità dovranno essere eseguite ogni 5.000 m^2 di superficie pavimentata. Se la superficie complessiva della pavimentazione è inferiore a 5.000 m^2 la misura di permeabilità sarà comunque da eseguire su cinque misurazioni.

20.12.10 Calcestruzzo proiettato

Le istruzioni di esecuzione sono tratte dalla UNI EN 14487-2 a cui si rimanda per tutto quanto di seguito non specificato.

20.12.10.1 Lavori preparatori per il rinforzo del terreno

Tutte le rocce staccate o di qualità mediocre devono essere rimosse. Le perdite di acquiferi devono essere convogliate in tubi, tubi flessibili o altri sistemi di drenaggio onde evitare danni a scapito della qualità del calcestruzzo proiettato. Deve essere installata tutta la strumentazione di rilevamento geomeccanico specificata nel progetto.
Polvere, detriti e altri depositi devono essere rimossi mediante getto d'acqua pressurizzato prima della proiezione.
La necessità di ulteriore bagnamento preliminare prima di procedere alla proiezione deve essere considerata tenendo presente l'assorbimento del supporto e il conseguente rischio di pregiudicare il calcestruzzo proiettato.
Per la corretta gestione delle acque refluee derivanti dalla lavorazione, si rimanda alle disposizioni del Capitolato Ambientale.

20.12.10.2 Lavori preparatori per la riparazione, il consolidamento e per strutture indipendenti

È essenziale che il calcestruzzo proiettato sia applicato a una superficie perfettamente pulita, ruvida e priva di difetti. I metodi raccomandati sono l'idropulitura ad alta pressione o sabbiatura in grado di incidere la superficie del supporto.

20.12.10.3 Armatura

L'armatura di acciaio può essere a rete, a barre o fibre. Per il rinforzo del terreno è possibile incorporare nel calcestruzzo proiettato tralicci e nervature di acciaio, con specifica materiali separata. Inoltre:

- L'armatura deve essere fissata in modo tale da restare in posizione e non vibrare durante il processo di proiezione;
- Ove siano incorporati due o più strati di armatura a rete, lo strato sottostante dovrebbe essere incassato nel calcestruzzo proiettato prima del fissaggio del successivo strato soprastante (non applicabile a sovrapposizioni necessarie tra uno strato e l'altro) che deve essere fissato a una distanza dal precedente strato di calcestruzzo proiettato pari ad almeno 2 volte la dimensione massima dell'aggregato.

20.12.10.4 Proiezione

Di norma dovrà essere utilizzata la proiezione per via umida. Quella per via secca potrà essere impiegata solo dietro esplicita autorizzazione della DL per opere all'esterno e nel rispetto delle norme sulla sicurezza del lavoro eventualmente anche con l'impiego di prodotti antipolvere.
La proiezione ottimale, e quindi la velocità di uscita della miscela, dipende dalla distanza tra lancia e superficie che deve essere determinata in base alle condizioni in sito per assicurare: la massima compattazione ed adesione al supporto, l'incapsulamento completo dell'armatura e il minimo rimbalzo. Non devono verificarsi spinte o scivolamenti del calcestruzzo proiettato. Lo scostamento dalla distanza e angolazione ottimali della lancia può produrre aumento di rimbalzo e riduzione qualitativa del calcestruzzo proiettato.
Per supporto roccioso in genere la distanza raccomandata è di 1 -2 m. Lo spessore specificato del calcestruzzo proiettato può necessitare dell'applicazione di due o più strati al fine di evitare avvallamenti e ammassi. Ciò vale in particolare per lavori in elevazione. Lo spessore di ciascuno strato di calcestruzzo dipende da numerosi parametri e deve essere basato sulle condizioni in sito e sulla composizione della miscela. Lo spessore dello strato può essere aumentato mediante l'impiego di additivi (per esempio acceleranti), aggiunte (per esempio fumi di silice) o l'impiego di cementi a presa rapida.
Se trascorre un tempo considerevole tra la messa in opera di strati diversi al fine di ottenere lo spessore totale specificato, occorre pulire la superficie dello strato precedentemente proiettato mediante aria compressa, idrolavaggio ad alta pressione, spazzolamento o sabbiatura e bagnamento preliminare. Per la corretta gestione delle acque refluee derivanti dalla lavorazione, si rimanda alle disposizioni del Capitolato Ambientale.

Per l'applicazione su contorni rocciosi irregolari e aspri (per esempio avanzamento utilizzando esplosivo) può essere specificata la necessità di uno strato supplementare di pareggiamento. In tal caso occorre eseguire quest'ultimo prima di tutto.
Il calcestruzzo proiettato sul posto deve essere di composizione omogenea senza iclusione di rimbalzo. Il materiale di rimbalzo sciolto e da sovraproiezione deve essere rimosso dalle aree circostanti e dal supporto prima di applicare il calcestruzzo proiettato.
Durante la proiezione su o attraverso armature occorre considerare attentamente le conseguenze di rimbalzo e di effetti ombra. Sebbene l'effetto ombra sia inevitabile, devono essere fatti tutti gli sforzi necessari per minimizzare i possibili effetti negativi prestando particolare attenzione a quanto segue:

- Garantire una sufficiente velocità di flusso d'aria attorno alla barra. Per soddisfare questa condizione occorre mantenere la distanza appropriata tra lancia e barre di armatura oppure utilizzare una corrente d'aria più forte per il trasporto della miscela;
- Completare l'incapsulamento dell'armatura appena possibile assicurandosi di aver ottenuto il copriferro richiesto. Si noti che i requisiti di copriferro sono gli stessi applicabili sia a superfici proiettate grezze sia a superfici gettate lisce;
- Evitare scarsità di compattazione se si proietta calcestruzzo con fibre di acciaio su altri tipi di armatura;
- I supporti precedentemente bagnati devono essere privi di acqua corrente.

20.12.10.5 Finitura della superficie

Siccome la finitura a mano del calcestruzzo proiettato fresco può essere dannosa per l'adesione e la resistenza, in generale il calcestruzzo proiettato deve essere lasciato così come si presenta appena proiettato a meno che le proprietà del materiale proiettato non consentano altrimenti e siano documentate.

Se è richiesta una rugosità superficiale particolare, è possibile utilizzare un trattamento aggiuntivo, per esempio applicando uno strato di finitura trattabile fino al raggiungimento della rugosità desiderata.

20.12.10.6 Stagionatura e protezione

La maturazione è necessaria al fine di ridurre al minimo il ritiro e garantire adeguata durabilità e forza di aderenza inerstrato. Al completamento della proiezione, la superficie deve essere subito messa a maturazione.
Per calcestruzzo che deve essere esposto solo alle condizioni delle classi di esposizione X0 o XC1. La maturazione può essere ottenuta mediante l'impiego di un agente di curing (agente stagionante applicato a spruzzo) sulla superficie del calcestruzzo oppure mediante un additivo ritentore d'acqua aggiunto al calcestruzzo durante la miscelazione. Qualore si preveda l'applicazione di un sussessivo strato di calcestruzzo proiettato su quello protetto con l'agente di curing sarà necessario effettuare una operazione di lavaggio a bassa pressione trascorse almeno 24 ore dall'applicazione dello stagionante. L'effetto del prodotto di maturazione utilizzato deve essere verificato mediante la qualfica di cui al § 20.8.2.3.

20.12.11 Compattazione

Per la compattazione del getto verranno adoperati vibratori a parete o ad immersione allo scopo di minimizzare il contenuto d'aria intrappolata (e garantire il volume di aria aggiunta tramite additivo aerante per rendere il calcestruzzo resistente al gelo) fino al contenuto fisiologico in relazione al diametro massimo. Durante l'uso, si dovrà inserire ed estrarre lentamente il vibratore nel calcestruzzo fresco allo scopo di evitare difetti localizzati. Nel caso si adoperi il sistema di vibrazione ad immersione, l'ago vibrante deve essere introdotto verticalmente per l'intero spessore del getto fresco, per 5-10 cm in quello sottostante che deve essere ancora lavorabile e non aver iniziato la presa, da punto a punto nel calcestruzzo, ogni 50 cm circa. La durata della vibrazione dovrà essere adeguata alla classe di consistenza del calcestruzzo e protratta per il tempo necessario a garantire, in opera, una resistenza a compressione caratteristica pari ad almeno l'85% di quella prevista in progetto. Indicativamente, la permanenza dell'ago in ogni punto deve essere protratta per un tempo pari a quello riportato nella Tabella che segue.

Classe di consistenza	Tempo minimo di immersione dell'ago nel calcestruzzo – (s)
S1	25 – 30
S2	20 – 25
S3	15 – 20
S4	10 – 15
S5	5 – 10
F6	0 – 5
SCC	non necessita compattazione (salvo indicazioni specifiche della D.L.)

L'Appaltatore è sempre tenuto a verificare, prima di iniziare le operazioni di getto, che l'armatura presente nelle opere in c.a. consenta la possibilità di un utilizzo idoneo di vibratori. Nel caso non si riesca a garantire una corretta modalità di compattazione l'Appaltatore è tenuto ad adoperare un calcestruzzo autocompattante.
Nel caso di un calcestruzzo autocompattante senza vibrazione, è possibile raggiungere una distanza

di scorrimento orizzontale di circa 10 metri; tale distanza, comunque, dipende anche dalla densità delle armature. È vietato l'impiego dei vibratori per distribuire l'eventuale calcestruzzo a bassa consistenza scaricato sulle casseforme.
La Direzione Lavori potrà disporre la verifica dell'efficacia della compattazione nelle modalità indicate al § 20.10.3. Qualora la compattazione non sia entro i limiti definiti la Direzione Lavori potrà ricorrere a misure adeguate, fino alla sospensione dei lavori.
Informazioni estese per la compattazione del calcestruzzo sono contenute nella ACI 309 "Guide for Consolidation of Concrete" dell'American Concrete Institute.
Deve essere garantita la continuità del funzionamento delle attrezzature, possibilmente anche mediante apparecchiature di riserva, allo scopo di evitare rallentamenti e/o interruzioni delle operazioni di costipamento.
Per la gestione degli eventuali impatti acustici e vibrazionali, si rimanda alle disposizioni contenute nel Capitolato Ambientale.

20.12.12 Riprese di getto

La Direzione Lavori avrà la facoltà di prescrivere, ove e quando lo ritenga necessario, che i getti siano eseguiti senza soluzione di continuità così da evitare ogni ripresa, anche se ciò comporta che il lavoro debba essere condotto a turni, durante le ore notturne ed anche in giornate festive, senza che all'Appaltatore non spetti nulla di più di quanto previsto contrattualmente.Tra le successive riprese di getto non dovranno aversi distacchi o discontinuità o differenze d'aspetto e colore.

20.12.12.1 Getto di calcestruzzo fresco su calcestruzzo fresco

L'Impresa dovrà aver verificato, in fase di qualifica, che le caratteristiche della miscela possiedano requisiti tali da rendere compatibili i due getti, tenendo presente il tempo necessario per il ricoprimento del primo getto, il mantenimento della lavorabilità nel tempo, il tempo di presa del calcestruzzo già gettato. All'atto del getto dello strato successivo, la consistenza dello strato di primo getto deve essere almeno tale da permettere la penetrazione della vibrazione per uno spessore di qualche centimetro e non deve aver iniziato la presa. A tal fine, l'Impresa potrà fare uso di additivi ritardanti, in modo da garantire tempi massimi per le interruzioni, senza compromettere le caratteristiche di monoliticità. In ogni circostanza, l'appaltatore è tenuto a mettere in atto tutte le precauzioni opportune affinchè non si generino giunti freddi e/o si manifestino fessurazioni tra i due strati di getto.

20.12.12.2 Getto di calcestruzzo fresco su calcestruzzo indurito

L'impresa deve predisporre una superficie di ripresa, realizzando una scarifica meccanica del calcestruzzo indurito, procedendo, prima del nuovo getto, al lavaggio della superficie di ripresa con acqua in pressione, in modo da eliminare la malta e lasciare esposto l'aggregato grosso ed ottenere una elevata rugosità (asperità di circa 5 mm). In questo modo si effettua anche la saturazione del calcestruzzo indurito. Per la corretta gestione delle acque reflue derivanti dalla lavorazione, si rimanda alle disposizioni del Capitolato Ambientale.
E' possibile in alternativa spruzzare additivo ritardante sulla superficie del conglomerato cementizio fresco subito prima della sospensione del getto; dopo che la massa del conglomerato sarà indurita si provvederà (entro 24 ore) all'eliminazione della malta superficiale non ancora rappresa, mediante getto d'acqua, ottenendo una superficie di ripresa scabra.
Se l'interruzione dei getti si protrae per tempi non superiori a 20 ore, è ammessa la realizzazione di manufatti monolitici mediante posa in opera di un ultimo strato contenente additivo ritardante, dosato in modo tale da prolungare la presa per il periodo necessario. Su questo, ancora capace di

accogliere un vibratore, potrà essere gettato lo strato successivo e i due strati potranno essere vibrati simultaneamente. Impiegando questa tecnologia, si dovrà impedire l'essiccamento del calcestruzzo dello strato di attesa, mediante coperture impermeabili o teli mantenuti bagnati.
L'Appaltatore dovrà sottoporre all'approvazione della Direzione Lavori la miscela ritardata, eseguendo anche prove di presa in calcestruzzo.
In ogni circostanza, l'appaltatore è tenuto a mettere in atto tutte le precauzioni opportune affinchè non si generino giunti freddi e/o si manifestino fessurazioni tra i due strati di getto.

20.12.13 Giunti

I giunti di discontinuità sia in elevazione che in fondazione sono necessari per evitare irregolari e imprevedibili fessurazioni delle strutture stesse, per effetto di escursioni termiche, di fenomeni di ritiro e di eventuali assestamenti.
I giunti dovranno essere conformi alle indicazioni di progetto e saranno ottenuti ponendo in opera, con un certo anticipo rispetto al getto, appositi setti di materiale idoneo, da lasciare in posto, in modo da realizzare superfici di discontinuità (piane, a battente, a maschio e femmina, ecc.) affioranti faccia a vista, secondo linee rette continue o spezzate.
E' tassativamente vietata l'esecuzione di giunti obliqui formanti angolo diedro acuto (muro andatore, spalla, ponte obliquo, ecc.). In tali casi, occorre sempre modificare l'angolo diedro acuto, in modo tale da formare con le superfici esterne delle opere da giuntare angoli diedri non inferiori ad un angolo retto, con facce piane di conveniente larghezza in relazione al diametro massimo degli inerti impiegati nel confezionamento del conglomerato cementizio di ogni singola opera.
Nel caso sia prevista la tenuta idraulica e quindi l'installazione di giunti tipo "water stop" in materiale bentonitico idroespansivo (o di altra natura purchè di equivalenti caratteristiche espandenti), oppure la formazione di giunti di dilatazione o contrazione questi saranno opportunamente fissati in maniera tale da non interagire con le armature.

20.12.14 Stagionatura (maturazione) dei conglomerati cementizi

A getto ultimato dovrà essere curata la stagionatura dei conglomerati cementizi in modo da evitare un rapido asciugamento delle superfici esposte all'aria dei medesimi (favorito dal clima asciutto e ventilato) e la conseguente formazione di fessure da ritiro plastico, usando tutte le cautele ed impiegando i mezzi più idonei allo scopo, fermo restando che il sistema proposto dall'Appaltatore dovrà essere approvato dalla Direzione Lavori in fase di qualifica di cui al § 20.8.1.
Le superfici del conglomerato cementizio non casserate dovranno essere protette dalla rapida evaporazione dell'acqua di impasto e dall'essiccamento degli strati superficiali. Questi fenomeni si manifestano in maniera più intensa in presenza di grandi superfici piane (solette), in caso di temperature elevate, bassa umidità e forte vento. Per consentire una corretta stagionatura è necessario immediatamente dopo il getto, soprattutto nel periodo invernale, mantenere costantemente umide le superfici non casserate mediante:

- l'applicazione, di specifici film di protezione mediante la distribuzione nebulizzata di additivi stagionanti (agenti di curing) conformi a quanto indicato nella Norma UNI 8656;
- l'irrorazione continua del getto con acqua nebulizzata, con temperature della stessa non inferiori di oltre 10°C rispetto a quelle della superficie del getto;
- la copertura delle superfici del getto con fogli di polietilene, sacchi di iuta o tessuto non tessuto mantenuto umido, in modo che si eviti la perdita dell'acqua di idratazione;
- la creazione attorno al getto, con fogli di polietilene od altro, di un ambiente mantenuto saturo di umidità;
- la creazione, nel caso di solette e getti a sviluppo orizzontale, di un cordolo perimetrale (in sabbia od altro materiale rimovibile) che permetta di mantenere la superficie completamente ricoperta

da un costante velo d'acqua.

Per la valutazione del tempo necessario al mantenimento delle misure adottate per consentire la corretta stagionatura, a cura ed onere dell'Appaltatore, occorre rispettare i tempi di cui al prospetto F.2 della UNI EN 13670 che si riporta sotto per comodità.

Temperatura calcestruzzo superficiale (t), °C	Periodo di maturazione minimo, espresso in giorni [a]		
	Sviluppo di resistenza del calcestruzzo [c] [d]		
	$(f_{cm2} / f_{cm28}) = r$		
	Rapido $r \geq 0{,}50$	Medio $0{,}50 > r \geq 0{,}30$	Lento $0{,}30 > r \geq 0{,}15$
$t \geq 25$	1,5	2,5	3,5
$25 > t \geq 15$	2,0	4	7
$15 > t \geq 10$	2,5	7	12
$10 > t \geq 5$ [b]	3,5	9	18

a) Più l'eventuale periodo di presa maggiore di 5 h.
b) Per temperature minori di 5 °C, la durata dovrebbe essere estesa per un periodo uguale al tempo trascorso al di sotto di 5 °C.
c) Lo sviluppo della resistenza del calcestruzzo è il rapporto della resistenza a compressione media a 2 giorni rispetto alla resistenza a compressione media a 28 giorni, determinata dalle prove iniziali o basata su prestazioni note di calcestruzzo di composizione paragonabile (vedere EN 206-1).
d) Per uno sviluppo di resistenza del calcestruzzo molto lento, si dovrebbero indicare particolari requisiti nella specifica di esecuzione.

Al fine di disporre indicazioni più chiare ed di immediata applicazione rispetto a quanto previsto dalla norma UNI EN 13670, si può fare utile riferimento alla seguente tabella per individuare il numero minimo di giorni necessari alla maturazione umida del calcestruzzo.

Classe di resistenza del calcestruzzo	≤ C25/30		>C25/30	
Esposizione della struttura	All'interno	All'esterno	All'interno	All'esterno
Periodo di esecuzione del getto	Aprile - Ottobre		Aprile - Ottobre	
	3	7	3	5
Periodo di esecuzione del getto	Novembre - Marzo		Novembre - Marzo	
	7	10	5	7

20.12.15Maturazione accelerata con trattamenti termici (es. a vapore)

La maturazione accelerata dei conglomerati cementizi con trattamenti termici sarà permessa qualora siano state condotte indagini sperimentali sul trattamento che si intende adottare che dimostrino il raggiungimento della resistenza meccanica e i requisiti di qualifica e salvo deroga del Direttore dei Lavori viene esclusa per i conglomerati gettati in opera.
La maturazione accelerata a vapore deve essere eseguita osservando le prescrizioni che seguono:

- la temperatura del conglomerato cementizio, durante le prime 3 h dall'impasto non deve superare 30°C; dopo le prime 4 h dall'impasto non deve superare 40°C;
- la velocità di riscaldamento non deve superare 15 °C/h;
- la temperatura massima del calcestruzzo non deve in media superare 65°C;
- il calcestruzzo deve essere lasciato raffreddare con una velocità di raffreddamento non maggiore di 10 °C/h;
- la differenza di temperatura tra quella massima all'interno del conglomerato cementizio e ambiente a contatto con il manufatto non dovrà superare i 10 °C;
- durante il raffreddamento e la stagionatura occorre ridurre al minimo la perdita d'umidità per evaporazione facendo uso di teli protettivi o applicando antievaporanti;
- il controllo, durante la maturazione, dei limiti e dei gradienti di temperatura, dovrà avvenire con

apposita apparecchiatura che registri l'andamento delle temperature nel tempo, sia all'interno che sulla superficie esterna dei manufatti.

20.12.16 Disarmo e scasseratura

Durante il periodo della stagionatura, i getti dovranno essere riparati da urti, vibrazioni e sollecitazioni d'ogni genere. La rimozione delle armature di sostegno dei getti dovrà essere effettuata quando siano state sicuramente raggiunte le prescritte resistenze negli elaborati di progetto e comunque mai prima di 24 ore. In assenza di specifici accertamenti, l'Appaltatore dovrà attenersi a quanto stabilito nel prospetto F.1 della UNI EN 13670 (corrispondente ad una resistenza del calcestruzzo superficiale uguale al 35% della resistenza caratteristica specificata) che si riporta sotto per comodità.

Temperatura calcestruzzo superficiale (t), °C	Periodo di maturazione minimo, espresso in giorni [a]		
	Sviluppo di resistenza del calcestruzzo[c) d)]		
	$(f_{cm2} / f_{cm28}) = r$		
	Rapido $r \geq 0{,}50$	Medio $0{,}50 > r \geq 0{,}30$	Lento $0{,}30 > r \geq 0{,}15$
$t \geq 25$	1,0	1,5	2,5
$25 > t \geq 15$	1,0	2,5	5
$15 > t \geq 10$	1,5	4	8
$10 > t \geq 5$ [b]	2,0	5	11

a) Più l'eventuale periodo di presa maggiore di 5 h.
b) Per temperature minori di 5 °C, la durata dovrebbe essere estesa per un periodo uguale al tempo trascorso al disotto di 5 °C.
c) Lo sviluppo della resistenza del calcestruzzo è il rapporto della resistenza a compressione media a 2 giorni rispetto alla resistenza a compressione media a 28 giorni, determinata dalle prove iniziali o basata su prestazioni note di calcestruzzo di composizione paragonabile (vedere EN 206-1).
d) Per uno sviluppo di resistenza del calcestruzzo molto lento, si dovrebbero indicare particolari requisiti nella specifica di esecuzione.

Qualora sia assolutamente necessario rimuovere i casseri prima che sia trascorso il tempo minimo di stagionatura definito nel prospetto F.1 della UNI EN 13670, ciò deve essere fatto previa autorizzazione della Direzione Lavori e dovranno essere predisposte azioni atte a garantire il completamento della stagionatura umida, utilizzando una o più precauzioni tra quelle di seguito elencate:

- l'applicazione, sulle superfici scasserate, di specifici film di protezione mediante la distribuzione nebulizzata di additivi stagionanti (agenti di curing);
- l'irrorazione continua del getto con acqua nebulizzata, assicurandosi che la temperatura della stessa non si discosti di oltre 10°C rispetto a quella della superficie del calcestruzzo;
- la copertura delle superfici del getto con fogli di polietilene, sacchi di iuta o tessuto non tessuto mantenuto umido, in modo che si eviti la perdita dell'acqua di idratazione;
- la creazione attorno al getto, con fogli di polietilene od altro, di un ambiente mantenuto saturo di umidità.

Le eventuali irregolarità o sbavature, qualora ritenute tollerabili dalla Direzione Lavori, dovranno essere asportate mediante bocciardatura ed i punti difettosi dovranno essere ripresi accuratamente con malta cementizia a ritiro compensato immediatamente dopo il disarmo.
Eventuali elementi metallici, quali chiodi o reggette che dovessero sporgere dai getti, dovranno essere tagliati almeno 1,0 cm sotto la superficie finita e gli incavi risultanti verranno accuratamente sigillati con malta fine di cemento ad alta adesione a cura ed onere dell'Appaltatore.
Per la gestione dei rifiuti derivanti dalla lavorazione, si rimanda alla normativa vigente e alle disposizioni contenute nel Capitolato Ambientale.

20.12.17 Montaggio degli elementi prefabbricati

Gli elementi prefabbricati dovranno essere movimentati, posati in cantiere e collegati tra loro nelle modalità fornite dal produttore e riportate nelle relative istruzioni di montaggio e/o nelle norme UNI di riferimento.
Nel caso in cui gli elementi prefabbricati siano destinati alla realizzazione di impalcati stradali in linea, per scavalchi e per gallerie artificiali e comunque ad insindacabile giudizio del Direttore dei Lavori, occorre che le operazioni di varo siano qualificate secondo la procedurea Q3 di cui al § 25.11 a cui si rimanda.

20.12.18 Protezione catodica delle solette d'impalcato di ponti e viadotti

Di norma la Società provvede direttamente, tramite Appaltatore specializzato, alla fornitura e posa in opera degli impianti per la protezione catodica delle solette d'impalcato di ponti e viadotti.
Qualunque sia la tipologia dell'impianto l'Appaltatore dovrà tenere conto, nei propri programmi di lavoro, dei tempi occorrenti per la loro fornitura e posa in opera e dovrà coordinarsi in tal senso con l'Appaltatore specializzato.
L'Appaltatore, quando espressamente previsto, resta obbligato inoltre a prestare assistenza alla posa in opera degli impianti.

20.13 Tolleranze di esecuzione e non conformità

La Direzione Lavori procederà sistematicamente, sia in corso d'opera che a struttura ultimata di prefabbricati e di getti eseguiti in cantiere, alla verifica delle quote, delle dimensioni indicate nel progetto esecutivo e alla qualità dei getti. Fermo restando quanto già disciplinato per i controlli e le prove sul conglomerato cementizio fresco si riportano i seguenti limiti di accettabilità oltre i quali la Direzione Lavori provvederà ad aprire un rapporto di non conformità.

20.13.1 Prefabbricati - Tolleranze di produzione

Per i manufatti prefabbricati, se non diversamente specificato dagli elaborati di progetto, sono ammessi scostamenti (tolleranze) "ΔL" rispetto alle principali dimensioni dei manufatti pari a (espresse in mm):

- $\Delta L = \pm(9+L/1000) \geq 10$ mm

dove L è la dimensione considerata (lunghezza, larghezza, profondità, spessore, etc). I valori dati si riferiscono a misure rilevate a 20°C di temperatura dopo una sufficiente maturazione del getto. Essi non comprendono gli effetti deformativi dei carichi applicati e della precompressione.
Per il posizionamento delle armature, sempre a meno di specifiche da elaborati di progetto o successive, si adotterà per la tolleranza il seguente valore

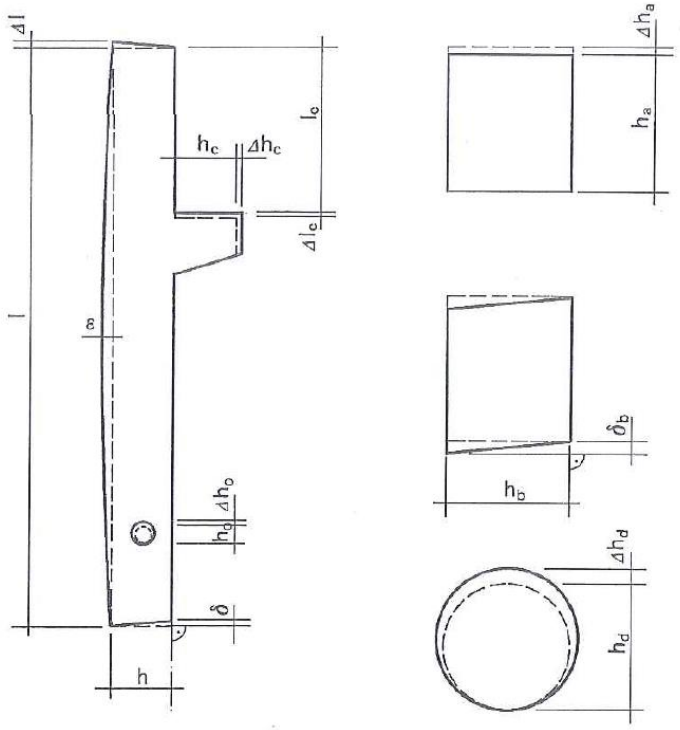
- $\delta = \pm 10$ mm

eccetto che per il ricoprimento controcassero per il quale si assume

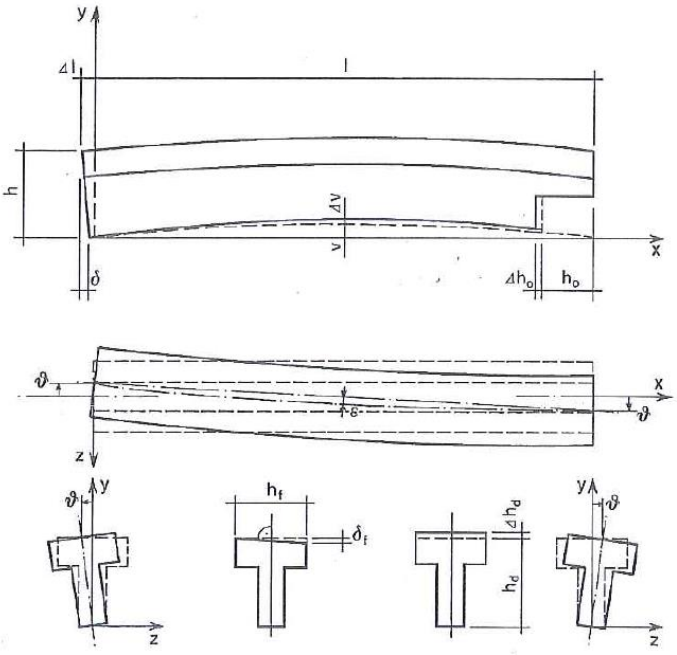
- $\delta = -5$ mm $\delta = +10$ mm.

20.13.1.1 Elementi monodimensionali

Oltre a quelle generali riportate precedentemente, per gli elementi monodimensionali (travi, piedritti pile, piedritti spalle, pulvini) vengono date di seguito le tolleranze di produzione descritte nelle figure successive.



Tolleranze di produzione – Piedritti o simili



Tolleranze di produzione – Travi o simili

I valori limite delle tolleranze dati di seguito si riferiscono a misure rilevate a 20°C di temperatura dopo una sufficiente maturazione del getto. Essi non comprendono gli effetti deformativi dei carichi applicati e della precompressione o altri sistemi permanenti di coazione.
Rispetto a quelli dati nel seguito, si potranno adottare valore diversi, purchè specificati nella documentazione di progetto e compatibili con la corretta esecuzione delle opere.
Qui di seguito sono indicate le tolleranze; tutti i valori sono espressi in mm.

- lunghezza "l" e misure lunghe (l>100cm) $\Delta l = \pm(9+L/1000)$;
- spessori "h" e misure corte (l<100cm) $\Delta h = \pm 10$;

- squadratura "δ" e misure angolari $\delta = \pm h/1000$;
- rettilineità "ε" in ogni piano principale $\varepsilon = \pm l/700$;
- svergolamento "θ"dei piani principali $\theta = \pm l/700$;
- inflessioni "v" nel piano verticale $\Delta v = \pm l/700$.

Per le dimensioni di fori ed aperture si possono assumere valori 1,5 volte quelli delle tolleranze "Δh" e "δ" sopra indicati.
Per il posizionamento di detti fori si possono assumere valori 1,5 volte quelli delle tolleranze "Δl" e "Δh" sopra indicati.
Per le inflessioni delle travi in precompresso si può assumere un valore 1,5 volte quello della tolleranza "Δv" sopra indicato; ciò include gli effetti delle tolleranze di precompressione.
Per la valutazione delle tolleranze di costruzione di un accoppiamento in opera si applicano i criteri del successivo paragrafo 20.13.3.

20.13.2 Prefabbricati - Tolleranze di montaggio

Le tolleranze di montaggio riguardano il posizionamento di ciascun componente rispetto alle fondazioni ed ai restanti componenti, con particolare riguardo a quelli adiacenti.
Le seguenti tolleranze sono espresse in mm:

- tracciamento al piano fondazioni $\Delta L = \pm(9+l/1000) \leq 30$;
- quota al piano fondazioni $\delta = \pm 20$;
- posizionamento locale sulla base di appoggio $\delta = \pm 10$;
- verticalità (o "fuori piombo") $\delta = \pm(9+h/1000)$;

con "l" lato della maglia strutturale e "h" altezza dell'elemento.

20.13.3 Prefabbricati - Tolleranze di costruzione

Le tolleranze di costruzione, che derivano da una catena di deviazioni elementari di tracciamento, di produzione e montaggio, possono valutarsi combinando secondo criteri probabilistici le singole tolleranze della catena stessa. Il metodo seguente può essere considerato normalmente soddisfacente:

- $\delta = \delta_{max} + [\Sigma(\delta_i)^2]^{1/2}$;

dove δ è il valore della tolleranza dell'accoppiamento considerato;
δ_{max} è il valore massimo della catena di tolleranze;
δ_i sono gli altri valori della catena di tolleranze.

20.13.4 Dimensioni e quote

Quanto riportato di seguito e riferito alle sole coponenti finite gettate in opera.
Gli scostamenti ammissibili (tolleranze) "S" rispetto alle dimensioni e/o quote dei progetti sono riportate di seguito per i vari elementi strutturali:

- Fondazioni: plinti, platee, solettoni, ecc.:
  - posizionamento rispetto alle coordinate di progetto: S = ± 3,0cm
  - dimensioni in pianta: S = - 3,0 cm o + 5,0 cm
  - dimensioni in altezza (superiore): S = - 0,5 cm o + 3,0 cm
  - quota altimetrica estradosso: S = - 0,5 cm o + 2,0 cm
- Strutture in elevazione: pile, spalle, muri, ecc.:
  - posizionamento rispetto alle coordinate degli allineamenti di progetto: S = ±2,0 cm
  - dimensione in pianta (anche per pila piena): S = - 0,5 cm o + 2,0 cm
  - spessore muri, pareti, pile cave o spalle: S = - 0,5 cm o + 2,0 cm

- quota altimetrica sommità: S = ± 1,5 cm
- verticalità per H ≤600 cm: S = ± 2,0 cm
- verticalità per H > 600 cm: S = ± 2,0 cm ± H(cm)/1200

- Solette e solettoni per impalcati, solai in genere:
  - spessore: S = -0,5 cm o + 1,0 cm
  - quota altimetrica estradosso: S = ± 1,0 cm
- Vani, cassette, inserterie:
  - posizionamento e dimensione vani e cassette: S = ± 1,5 cm
  - posizionamenti inserti (piastre, boccole): S = ± 1,0 cm

In ogni caso, gli scostamenti dimensionali negativi non devono ridurre i copriferri minimi prescritti dal progetto. Per le tolleranze sopra riportate sono possibili variazioni qualora:

- nel progetto esecutivo siano stati indicati valori differenti per gli scostamenti ammessi;
- la Direzione dei Lavori, per motivate necessità, faccia esplicita richiesta di variazione dei valori senza che ciò possa dare diritto all'Appaltatore ad alcuna pretesa.

Qualora si evidenziassero dei superamenti delle tolleranze di cui sopra, oltre ai necessari ripristini a cura ed onere dell'Appaltatore che dovranno essere approvati dal Direttore dei Lavori, verrà applicata la penale a titolo definitivo del 10% sull'intera parte d'opera interessata.

20.13.5 Fessure

In caso di formazioni di fessure nel copriferro, la massima apertura superficiale ammessa senza dover ricorrere alle operazioni di ripristino, sarà funzione della classe di esposizione della struttura.
Salvo diversa indicazione del progettista, potranno prendersi come riferimento i limiti riportati al §4.1.2.2.4 delle NTC2018, incrementati di 0,1 mm per tener conto che essi si riferiscono al valore dell'apertura della fessura in corrispondenza dell'armatura e non in superficie:

- per armature poco sensibili (acciai per c.a. non precompresso, inossidabili, zincati o rivestiti con specifici prodotti tipo UNI EN 1504-7):
  < 0,4 + 0,1 mm: per classi di esposizione X0, XC1, XC2, XC3, XF1;
  < 0,3 + 0,1 mm: per classi di esposizione XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3;
  < 0,2 + 0,1 mm per classi di esposizione XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4;
- per armature sensibili, ovvero acciai per c.a.p.:
  < 0,3 + 0,1mm: per classi di esposizione X0, XC1, XC2, XC3, XF1;
  < 0,2 + 0,1 mm: per classi di esposizione XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3;
  < 0 + 0,1 mm: per classi di esposizione XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4.

Qualora si rilevino in superficie fessure di apertura superiori ai limiti sopra indicati, l'Impresa dovrà provvedere a sua cura a:

- per aperture < 0,1mm: nessun intervento;
- per aperture superiori a 0,1 mm ma < 0,4 mm: applicazione di protettivi superficiali filmogeni conformi alla UNI EN 1504-2 da scegliere in funzione dell'esposizione delle strutture agli agenti atmosferici con l'obiettivo di eliminare il pericolo della carbonatazione previa approvazione della Direzione Lavori;
- per aperture > 0,4 mm: sigillatura delle fessure mediante prodotti da iniezione conformi a UNI EN 1504-5 ed applicazione di protettivi superficiali filmogeni conformi alla UNI EN 1504-2 da scegliere in funzione dell'esposizione agli agenti atmosferici delle strutture con l'obiettivo di eliminare il pericolo della carbonatazione previa approvazione della Direzione Lavori.

Qualora si evidenziassero fessure, oltre ai ripristini di cui sopra, se l'incidenza dell'area fessurata risulterà superiore al 10% dell'area totale della parte d'opera di riferimento, su tali superfici (o volumi) verrà applicata la penale del 25% per tutti i prezzi ed i sovraprezzi con i quali è stato compensato il lavoro non idoneo.

Nei casi di danni più severi o per particolari criticità della struttura, eventuali interventi di demolizione e rifacimento delle strutture danneggiate potranno essere disposti dalla Direzione Lavori dopo opportuno approfondimento di indagini sullo stato fessurativo della struttura a cura ed onere dell'Appaltatore.
e/o precompressi.

20.13.6 Regolarità dei getti

La regolarità dei getti, verificata con un'asta rettilinea della lunghezza di 2,00 m che in ogni punto dovrà aderirvi uniformemente nelle due direzioni longitudinale e trasversale, è ammessa soltanto per scostamenti inferiori a 10 mm.
Eventuali irregolarità o sbavature dovranno essere asportate mediante bocciardatura e i punti incidentalmente difettosi dovranno essere ripresi accuratamente con malta cementizia a ritiro compensato immediatamente dopo il disarmo; ciò qualora tali difetti o irregolarità siano contenuti nei limiti che la Direzione Lavori, a suo insindacabile giudizio, riterrà tollerabili fermo restando in ogni caso che le suddette operazioni ricadranno esclusivamente e totalmente a carico dell'Appaltatore.
Quando le irregolarità siano mediamente superiori a 10 mm, la Direzione Lavori ne imporrà la regolarizzazione a totale cura e spese dell'Appaltatore mediante uno strato di materiali idonei che, secondo i casi e ad insindacabile giudizio della Direzione Lavori potrà essere costituito da:

- malte o betoncini reoplastici a base cementizia a ritiro compensato;
- conglomerato bituminoso del tipo usura fine, per spessori non inferiori a 15 mm.

Qualora l'irregolarità riguardi superfici di calcestruzzo destinate al traffico veicolare tipo le piste di esazione, la malta di ripristino deve essere fibrorinforzata con fibre metalliche rigide.
Qualora si evidenziassero superfici irregolari, oltre ai ripristini di cui sopra, se l'incidenza dell'area irregolare risulterà superiore al 10% dell'aera totale della parte d'opera di riferimento, su tali superfici (o volumi) verrà applicata la penale del 25% per tutti i prezzi ed i sovraprezzi con i quali è stato compensato il lavoro non idoneo.

20.13.7 Calcestruzzo proiettato

20.13.7.1 Spessore

Nel caso di spessori minori a quelli minimi previsti nel Progetto, verificati nelle modalità indicate nel § 20.10.4.2, si dovrà provvedere al ripristino con un ulteriore strato di calcestruzzo proiettato e, nel caso di mancanza di spessore fino al 20% del minimo previsto, verrà applicata una penale sia al prezzo del calcestruzzo proiettato che delle eventuali armature metalliche pari al 10%, ogni 5% o frazione di sottospessore.

20.13.7.2 Regolarità della superficie

Il controllo della finitura è indispensabile per garantire il necessario copriferro, l'uniformità dello spessore e un regolare supporto all'eventuale impermeabilizzazione.
La finitura della superficie del calcestruzzo proiettato, nel caso di superficie a vista o di supporto all'impermeabilizzazione, dovrà essere tale che il rapporto tra il diametro (anche equivalente) della singola irregolarità e la sua profondità/sporgenza non sia maggiore di 0.10. Tutte le irregolarità che non rientrano in questa tolleranza dovranno essere ripristinate con aggiunta di calcestruzzo proiettato garantendone l'aderenza con le stesse modalità operative attuate per l'esecuzione di uno strato successivo indicate al § 20.12.10.4. Tutti gli eventuali spigoli dovranno essere arrotondati con raggio maggiore di 0.30 m.

20.13.8 Resistenza caratteristica

Qualora la resistenza caratteristica riscontrata a seguito dei controlli di accettazione di tipo A o B e per i controlli di accettazione del calcestruzzo proiettato risultasse minore di non più del 10% rispetto a quella della classe indicata nei calcoli statici e nei disegni di progetto, la Direzione Lavori, d'intesa con il Progettista, effettuerà una determinazione sperimentale della resistenza meccanica del conglomerato in opera e, successivamente, una verifica della sicurezza.
Qualora tale verifica confermi una resistenza caratteristica in opera minore di non più del 15% rispetto alla resistenza caratteristica di progetto, l'elemento strutturale è da ritenersi collaudabile.
Nel caso in cui la resistenza caratteristica riscontrata risulti minore di quella richiesta di oltre il 15%, l'Impresa sarà tenuta, a sua totale cura e spesa, alla demolizione ed al rifacimento dell'opera, oppure all'adozione di quei provvedimenti che, proposti dalla stessa, dovranno essere formalmente approvati dalla Direzione Lavori, d'intesa con il Progettista, per diventare operativi. Nel caso la Direzione Lavori accetti di adottare i provvedimenti proposti dall'Appaltatore l'importo afferente il volume di conglomerato che non soddisfa i requisiti di progetto verrà decurtato in misura pari al 50% del suo valore.
Nessun indennizzo sarà dovuto all'Impresa se la classe di resistenza risulterà maggiore di quella indicata nei calcoli statici e nei disegni di progetto.
Le stesse modalità verranno applicate ai manufatti prefabbricati.

20.13.9 Altre prove e durabilità

Qualora le prove di cui al § 20.10.3 non rientrino nei limiti prefissati nel presente capitolato o nel progetto, non sono previste penali a titolo definitivo. Tuttavia, l'Appaltatore sarà tenuto a sua cura e spese a proporre e mettere in opera tutti gli accorgimenti ritenuti necessari ed approvati dalla Direzione Lavori per mitigare le carenze riscontrate con le seguenti precisazioni:

- *Resistenza alla penetrazione d'acqua (ove richiesto)*: in attesa di acquisire dati che permettano la definizione di requisiti rigorosi e definitivi gli eventuali accorgimenti ritenuti necessari saranno a carico del Committente. Tali accorgimenti ritenuti necessari saranno invece a carico dell'Appaltatore qualora sugli stessi getti non insistano altre non conformità o se i valori di resistenza alla penetrazione d'acqua non conformi siano ritenuti, ad insindacabile giudizio della Direzione Lavori, frutto di una esecuzione non a regola d'arte del confezionamento, trasporto, getto o maturazione delle miscele cementizie.
- *Permeabilità delle pavimentazioni in calcestruzzo drenante*: qualora il valore richiesto in capitolato o progetto non venga rispettato con una tolleranza del 10% verrà applicata la penale del 25% per tutti i prezzi ed i sovraprezzi con i quali è stato compensato il lavoro non idoneo. Qualora il valore della permeabilità sia inferiore al 25% di quello atteso il Direttore dei Lavori potrà ordinare, a totale cura e spese dell'Appaltatore, la demolizione e il rifacimento del tratto di pavimentazione drenante.

20.13.10 Stoccaggio ferri e gabbie di armatura

Dalla 3° non conformità rilevata dalla Direzione Lavori in merito ad uno stoccaggio non conforme dei ferri e gabbie di armatura rispetto ai contenuti del § 20.12.4.1, verrà applicata una penale a titolo definitivo pari alla 10% della fornitura non conforme.

20.14 Realizzazione di superfici in calcestruzzo faccia a vista

Per le opere con specifica funzione architettonica, l'Appaltatore deve garantire una finitura superficiale a perfetta regola d'arte, priva di discontinuità cromatiche e difetti di getto. La conformità di tali superfici sarà valutata in base ai requisiti di tolleranza e qualità definiti negli articoli:

- 20.12.4.3 Casseforme e posa in opere
- 20.12.5 Getto del calcestruzzo
- 20.13.6 Regolarità dei getti

L'obiettivo è l'ottenimento di superfici che non necessitino di alcun intervento di ripresa o correzione post-disarmo.

Art. 20 NO CAM - Conglomerati cementizi semplici e armati (normali e precompressi)

20.1 Descrizione

Il conglomerato cementizio o calcestruzzo è un materiale formato mescolando cemento, aggregato grosso e fine ad acqua, con o senza l'introduzione di additivi, aggiunte o fibre, che sviluppa le sue proprietà mediante idratazione (reazione del cemento e dell'eventuali aggiunte reattive di tipo II con l'acqua). Quando l'elemento di calcestruzzo è gettato e stagionato in un luogo diverso dalla sua destinazione finale d'uso è detto *prefabbricato*. Quando l'elemento di calcestruzzo è prodotto in conformità alla norma di prodotto europea pertinente è detto *prodotto prefabbricato* ed è soggetto a marcatura CE e DoP.

20.2 Campo di applicazione

Il presente articolo di capitolato si applica ai conglomerati cementizi normali, pesanti e leggeri per usi strutturali e non, armati e non, per opere in calcestruzzo armato normale e precompresso, anche fibro-rinforzato, per la realizzazione di strutture gettate in opera o prefabbricate sia all'aperto che in sotterraneo di opere di ingegneria civile e di edifici, per sottofondazioni, fondazioni, elevazioni, solette, impalcati.

20.3 Normativa di riferimento

Normative sulla miscela

- UNI EN 206 – Calcestruzzo – Specificazione, prestazione, produzione e conformità
- UNI 11104: 2025 – Calcestruzzo – specificazione, prestazione, produzione e conformità – Specificazioni complementari per l'applicazione della EN 206
- NTC 2018 – Capitolo 11.2 Materiali e prodotti per uso strutturale – Calcestruzzo

Normative sui costituenti

- UNI EN 197-1 - Cemento - Parte 1: Composizione, specificazioni e criteri di conformità per cementi comuni
- UNI EN 197-5 – Cemento – Parte 5: cemento Portland composito CEM II/C-M e cemento composito CEM VI
- UNI EN 197-6 – Cemento – Parte 6: Cemento con materiali da costruzione riciclati
- UNI EN 12620 – Aggregati per calcestruzzo
- UNI 8520-2 – Aggregati per calcestruzzo – istruzioni complementari per l'applicazione della EN 12620 – Parte 2: requisiti
- UNI EN 13055 – Aggregati leggeri
- UNI EN 450-1 – Ceneri volanti per calcestruzzo – Parte 1: definizione, specificazioni e criteri di conformità
- UNI EN 13263-1 – Fumi di silice per calcestruzzo – Parte 1: Definizioni, requisiti e criteri di conformità
- UNI EN 15167-1 – Loppa d'altoforno granulata macinata per calcestruzzo, malta e malta per iniezione – Parte 1: Definizioni, specifiche e criteri di conformità
- UNI EN 934-1 – Additivi per calcestruzzo, malta e malta per iniezione – Parte 1: Requisiti comuni
- EN 934-2 – Additivi per calcestruzzo, malta e malta per iniezione – Parte 2: additivi per calcestruzzo – Definizioni, requisiti, conformità, marcatura ed etichettatura

- UNI EN 14889-1 – Fibre per calcestruzzo – Parte 1: fibre di acciaio – definizioni, specificazioni e conformità
- UNI EN 14889-2 – Fibre per calcestruzzo – Parte 2: fibre polimeriche – definizioni, specificazioni e conformità
- UNI EN 12878 – Pigmenti per la colorazione dei materiali da costruzione a base di cemento e/o calce – requisiti e metodi di prova
- UNI EN 1008 - Acqua d'impasto per il calcestruzzo – Specifiche di campionamento, di prova e di valutazione dell'idoneità dell'acqua, incluse le acque di recupero dei processi dell'industria del calcestruzzo, come acqua d'impasto del calcestruzzo

Normative per l'esecuzione

- UNI EN 13670 - Esecuzione di strutture di calcestruzzo
- Linee Guida per la messa in opera del calcestruzzo strutturale, pubblicate dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (settembre 2017)

Normative per le prove sul calcestruzzo

- UNI EN 12350-1 – Prova sul calcestruzzo fresco - Parte 1: Campionamento e apparecchiatura comune
- UNI EN 12350-2 – Prova sul calcestruzzo fresco - Parte 2: Prova di abbassamento al cono
- UNI EN 12350-3 – Prova sul calcestruzzo fresco - Parte 3: Prova Vébé
- UNI EN 12350-4 – Prova sul calcestruzzo fresco - Parte 4: Indice di compattabilità
- UNI EN 12350-5 – Prova sul calcestruzzo fresco - Parte 5: Prova di spandimento alla tavola a scosse
- UNI EN 12350-6 – Prova sul calcestruzzo fresco - Parte 6: Massa volumica
- UNI EN 12350-7 – Prova sul calcestruzzo fresco - Parte 7: Contenuto d'aria – Metodo per pressione
- UNI EN 12350-8 – Prova sul calcestruzzo fresco - Parte 8: Calcestruzzo autocompattante - Prova di spandimento e del tempo di spandimento
- UNI EN 12350-9 – Prova sul calcestruzzo fresco - Parte 9: Calcestruzzo autocompattante – Prova del tempo di efflusso
- UNI EN 12350-10 – Prova sul calcestruzzo fresco - Parte 10: Calcestruzzo autocompattante – Prova di scorrimento confinato mediante scatola ad L
- UNI EN 12350-11 – Prova sul calcestruzzo fresco - Parte 11: Prova di segregazione mediante setaccio
- UNI EN 12350-12 – Prova sul calcestruzzo fresco - Parte 12: Calcestruzzo autocompattante - Prova di scorrimento confinato mediante anello a J
- UNI 11201 – Prove sul calcestruzzo fresco - Determinazione del contenuto di acqua
- UNI 7122: Prova sul calcestruzzo fresco - Determinazione della quantità d'acqua d'impasto essudata
- UNI 7123: Calcestruzzo. Determinazione dei tempi di inizio e fine presa mediante la misura della resistenza alla penetrazione
- UNI EN 12390-1 – Prova sul calcestruzzo indurito – Parte 1: Forma, dimensioni ed altri requisiti per provini e per casseforme
- UNI EN 12390-2 – Prova sul calcestruzzo indurito – Parte 2: Confezione e stagionatura dei provini per prove di resistenza
- UNI EN 12390-3 – Prova sul calcestruzzo indurito – Parte 3: Resistenza alla compressione dei provini

- UNI EN 12390-4 – Prova sul calcestruzzo indurito – Parte 4: Resistenza alla compressione – Specifiche per macchine di prova
- UNI EN 12390-5 – Prova sul calcestruzzo indurito – Parte 5: Resistenza a flessione dei provini
- UNI EN 12390-6 – Prova sul calcestruzzo indurito – Parte 6: Resistenza a trazione indiretta dei provini
- UNI EN 12390-7 – Prova sul calcestruzzo indurito – Parte 7: Massa volumica del calcestruzzo indurito
- UNI EN 12390-8 – Prova sul calcestruzzo indurito – Parte 8: Profondità di penetrazione dell'acqua sotto pressione
- UNI EN 12390-9 – Prova sul calcestruzzo indurito – Parte 9: Resistenza al gelo-disgelo con sali disgelanti – Scagliatura
- UNI 7087: Calcestruzzo - Determinazione della resistenza al degrado per cicli di gelo e disgelo
- UNI EN 12390-10 – Prova sul calcestruzzo indurito – Parte 10: Determinazione della resistenza alla carbonatazione del calcestruzzo a livelli atmosferici di anidride carbonica
- UNI EN 12390-11 – Prova sul calcestruzzo indurito – Parte 11: Determinazione della resistenza ai cloruri del calcestruzzo, diffusione unidirezionale
- UNI EN 12390-12 – Prova sul calcestruzzo indurito – Parte 12: Determinazione della resistenza alla carbonatazione del calcestruzzo – Metodo della carbonatazione accelerata
- UNI EN 12390-13 – Prova sul calcestruzzo indurito – Parte 13: Determinazione del modulo di elasticità secante in compressione
- UNI EN 12390-14 – Prova sul calcestruzzo indurito – Parte 14: Metodo semi-adiabatico per la determinazione del calore rilasciato dal calcestruzzo durante il suo processo di indurimento
- UNI EN 12390-15 – Prova sul calcestruzzo indurito – Parte 15: Metodo adiabatico per la determinazione del calore rilasciato dal calcestruzzo durante il suo processo di indurimento
- UNI EN 12390-16 – Prova sul calcestruzzo indurito – Parte 16: Determinazione del ritiro del calcestruzzo
- UNI EN 12390-17 – Prova sul calcestruzzo indurito – Parte 17: Determinazione della viscosità (creep) del calcestruzzo in compressione
- UNI EN 12390-18 – Prova sul calcestruzzo indurito – Parte 18: Determinazione del coefficiente di migrazione del cloruro
- UNI 8148 – Agenti espansivi non metallici per impasti cementizi - Determinazione dell'espansione contrastata del calcestruzzo
- UNI EN 14629 – Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Determinazione del contenuto di cloruri nel calcestruzzo indurito
- UNI EN 14651 – Metodo di prova per calcestruzzo con fibre metalliche - Misurazione della resistenza a trazione per flessione [limite di proporzionalità (LOP), resistenza residua]
- UNI EN 14721 – Metodo di prova per calcestruzzo con fibre metalliche - Misurazione del contenuto di fibre nel calcestruzzo fresco e nel calcestruzzo indurito
- UNI EN 14488-1 – Prove su calcestruzzo proiettato - Parte 1: Campionamento sul calcestruzzo fresco e sul calcestruzzo indurito
- UNI EN 14488-2 – Prove su calcestruzzo proiettato - Parte 2: Resistenza alla compressione del calcestruzzo spruzzato giovane
- UNI EN 14488-3 – Prove su calcestruzzo proiettato - Parte 3: Resistenze alla flessione (di primo picco, ultima e residua) di provini prismatici di calcestruzzo rinforzato con fibre
- UNI EN 14488-4 – Prove su calcestruzzo proiettato - Parte 4: Aderenza per trazione diretta sulle carote

- UNI EN 14488-5 – Prove su calcestruzzo proiettato - Parte 5: Determinazione della capacità di assorbimento di energia di piastre di prova rinforzate con fibre
- UNI EN 14488-6 – Prove su calcestruzzo proiettato - Parte 6: Spessore del calcestruzzo su un supporto
- UNI EN 14488-7 – Prove su calcestruzzo proiettato - Parte 7: Contenuto di fibre nel calcestruzzo rinforzato con fibre

Normative per la valutazione della resistenza in opera (resistenza strutturale o in situ)

- UNI EN 13791 – Valutazione della resistenza a compressione in sito nelle strutture e nei componenti prefabbricati di calcestruzzo
- UNI EN 12504-1 - Prove sul calcestruzzo nelle strutture – Parte 1: Carote – Prelievo, esame e prova di compressione
- UNI EN 12504-2 - Prove sul calcestruzzo nelle strutture - Parte 2: Prove non distruttive – Determinazione dell'indice sclerometrico
- UNI EN 12504-3 - Prove sul calcestruzzo nelle strutture - Parte 3: Determinazione della forza di estrazione
- UNI EN 12504-4 - Prove sul calcestruzzo nelle strutture - Parte 4: Determinazione della velocità di propagazione degli impulsi ultrasonici

Normative per le pavimentazioni in calcestruzzo

- UNI EN 13877-1 – Pavimentazioni a base di calcestruzzo - Parte 1: Materiali
- UNI EN 13877-2 – Pavimentazioni a base di calcestruzzo - Parte 2: Requisiti funzionali per pavimentazioni a base di calcestruzzo
- CNR-DT 211/2014 - Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo delle Pavimentazioni di Calcestruzzo

Normative per calcestruzzo proiettato

- UNI EN 14487-1 – Calcestruzzo proiettato - Parte 1: Definizioni, specificazioni e conformità
- UNI EN 14487-2 – Calcestruzzo proiettato - Parte 2: Esecuzione

Normative per calcestruzzo rinforzato con fibre

- CSLLPP-Servizio Tecnico Centrale - Linee guida per l'identificazione, la qulificazione, la certificazione di valutazione tecnica ed il controllo di accettazione dei calcestruzzi fibrorinforzati FRC (Fiber Reinforced Concrete). Aggiornamento 2021
- CSLLPP-Servizio Tecnico Centrale - Linee guida per la progettazione, messa in opera, controllo e collaudo di elementi strutturali in calcestruzzo fibrorinforzato con fibre di acciaio o polimeriche. Edizione maggio 2022
- CNR-DT 204/2006 – Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Strutture di Calcestruzzo Fibrorinforzato (per quanto non in contrasto con le linee guida di cui sopra si può far riferimento anche alla presente istruzione)
- UNI 14889-1 – Fibre per calcestruzzo - Parte 1: Fibre di acciaio - Definizioni, specificazioni e conformità;
- UNI 14889-2 - Fibre per calcestruzzo - Parte 2: Fibre polimeriche - Definizioni, specificazioni e conformità;
- UNI 11039-2 – Calcestruzzo rinforzato con fibre d'acciaio – Parte II: Metodo di prova per determinazione della resistenza di prima fessurazione e degli indici di duttilità

Altre normative di riferimento

- UNI EN 13369 – Regole comuni per prodotti prefabbricati in calcestruzzo
- CNR 10025/98 – Istruzioni per il progetto, l'esecuzione ed il controllo delle strutture prefabbricate in calcestruzzo

20.4 Criteri di accettazione delle miscele

Si rimanda agli elaborati di progetto per le specifiche relative al calcestruzzo che comuque debbono almeno contenere indicazioni relative, alla **classe di resistenza caratteristica del calcestruzzo indurito, alla/e classe/i di esposizione ambientale, alla classe di consistenza del calcestruzzo fresco, al diametro massimo degli aggregati, alla classe di contenuto cloruro** ed eventualmente alla ***classe di impronta carbonica (GWP-XXX-IT) o in alternativa alla classe di riduzione dell'impronta carbonica rispetto ad un calcestruzzo di riferimento (GW_R XX)*** in accordo alla UNI 11104:2025.

20.4.1 Classi di resistenza dei conglomerati cementizi a prestazione garantita

Ai fini del presente Capitolato Speciale di Appalto, vengono presi in considerazione esclusivamente conglomerati cementizi a prestazione garantita. La classe di resistenza, così come definita al § 4.1 delle NTC2018, UNI EN 206 e UNI 11104 viene individuata mediante la simbologia C(X/Y), dove:

- X è la resistenza caratteristica a compressione a 28 giorni di provini cilindrici ($f_{ck,cyl}$), con rapporto altezza/diametro pari a 2;
- Y è la resistenza caratteristica a compressione a 28 giorni di provini cubici di lato 150 mm ($f_{ck,cube}$ o anche R_{ck}).

Si riportano di seguito le classi di resistenza a compressione ammesse per il calcestruzzo di massa volumica normale e pesante:

Classi di resistenza a compressione	Resistenza caratteristica cilindrica minima $f_{ck,cyl}$ [N/mm^2]	Resistenza caratteristica cubica minima $f_{ck,cube}$ [N/mm^2]
C8/10	8	10
C12/15	12	15
C16/20	16	20
C20/25	20	25
C25/30	25	30
C30/37	30	37
C32/40 (UNI 11104)	32	40
C35/45	35	45
C40/50	40	50
C45/55	45	55
C50/60	50	60
C55/67	55	67
C60/75	60	75
C70/85	70	85
C80/95 (*)	80	95
C90/105 (*)	90	105
C100/115 (*)	100	115

(*) per l'uso di questi conglomerati cementizi vedere le prescrizioni di cui al § 20.4.5.4.

20.4.2 Classi di consistenza dei conglomerati cementizi

Per la classe di consistenza si utilizza il parametro dell'abbassamento al cono (slump) i cui valori ammessi sono riportati nella seguente tabella:

Classe	Abbassamento in conformità alla EN 12350-2
S1	Da 10 a 40 mm
S2	Da 50 a 90 mm
S3	Da 100 a 150 mm
S4	Da 160 a 210 mm
S5	≥ 220 mm

20.4.3 Classi di esposizione e valori limite ammessi nei conglomerati cementizi

Per l'individuazione delle azioni ambientali a cui le opere saranno esposte ci si riferisce alle classi di esposizione di cui alla norma EN 206 e UNI 11104:2025. Inoltre, per garantire la vita utile di progetto la stessa norma UNI 11104:2025 introduce dei valori limite per la composizione (in termini di rapporto acqua-cemento massimo, contenuto minimo di cemento e di – eventuale - aria inglobata mediante impiego di additivi aeranti) e per le proprietà del calcestruzzo che sono indicati nella seguente tabella redatta secondo i contenuti dei prospetti 1 e 5.

Classe esposi-zione	Descrizione dell'ambiente	Esempio	Max rapporto a/c	Min. Classe di resistenza	Min. contenuto di cem. (kg/m3) [d]	Contenuto Min. in aria (%)	Altri requisiti
1 Assenza di rischio di corrosione o attacco							
X0	Per calcestruzzo privo di armatura o inserti metallici: tutte le esposizioni eccetto dove c'è gelo e disgelo, o attacco chimico. Calcestruzzi con armatura o inserti metallici: in ambiente molto asciutto.	Interno di edifici con umidità relativa molto bassa. Calcestruzzo non armato all'interno di edifici. Calcestruzzo non armato immerso in suolo non agressivo o in acqua non aggressiva. Calcestruzzo non armato soggetto a cicli di bagnato asciutto ma non soggetto ad abrasione, gelo o attacco chimico.	-	C12/15	-	-	-
2 Corrosione indotta da carbonatazione Nel caso in cui il calcestruzzo contenente armature o inserti metallici sia esposto all'aria e all'umidità, l'esposizione deve essere classificata come segue:							
XC1	Permanentemente secco, acquoso o saturo d'acqua	Calcestruzzo all'interno di edifici con umidità relativa dell'aria bassa. Calcestruzzo permanentemente immerso in acqua o esposto a condensa.	0,60	C25/30	280		
XC2	Prevalentemente acquoso o saturo d'acqua raramente secco	Calcestruzzo a contatto con acqua per lungo tempo. Calcestruzzo di strutture di contenimento acqua. Calcestruzzo di molte fondazioni.	0,60	C25/30	280		
XC3	Moderata o alta umidità dell'aria	Calcestruzzo in esterni con superfici esterne riparate dalla pioggia, o in interni con umidità dell'aria da moderata ad alta.	0,55	C30/37	300		
XC4	Ciclicamente secco e acquoso o saturo d'acqua	Calcestruzzo in esterni con superfici soggette a alternanze di ambiente secco ed acquoso o saturo d'acqua. Calcestruzzo ciclicamente esposto all'acqua in condizioni che non ricadono nella classe XC2.	0,50	C32/40	320		
3 Corrosione indotta da cloruri esclusi quelli provenienti dall'acqua di mare Nel caso in cui il calcestruzzo armato o con inserti metallici sia esposto ad acqua contenente cloruri da origini diverse da quelle dell'acqua di mare, inclusi i sali disgelanti, l'esposizione deve essere classificata come segue:							
XD1	Moderata umidità dell'aria	Calcestruzzo esposto all'azione aggressiva dei cloruri trasportati dall'aria per esempio derivanti dall'uso di sali disgelanti. Per esempio impalcati da ponti, viadotti o barriere stradali.	0,55	C30/37	300		

Classe esposizione	Descrizione dell'ambiente	Esempio	Max rapporto a/c	Min. Classe di resistenza	Min. contenuto di cem. (kg/m3) [d]	Contenuto Min. in aria (%)	Altri requisiti
XD2	Prevalentemente acquoso o saturo d'acqua, raramente secco	Calcestruzzo per impianti di trattamento acque o esposto ad acque contenenti cloruri, per esempio acque industriali o di piscine.	0,50	C32/40	320		
XD3	Ciclicamente secco e acquoso o saturo d'acqua	Calcestruzzo esposto a spruzzi di soluzioni di cloruri, per esempio derivanti da sali disgelanti. Per esempio su impalcati da ponti, viadotti o barriere stradali. Calcestruzzo di opere accessorie stradali (muri di sostegno), parti di ponti, pavimentazioni stradali o industriali o di parcheggi.	0,45	C35/45	350		
4 Corrosione indotta da cloruri presenti nell'acqua di mare Nel caso in cui il calcestruzzo contenente armature o inserti metallici sia esposto ai cloruri dell'acqua di mare o a salsedine trasportata dall'acqua, l'esposizione deve essere classificata come segue:							
XS1	Aria che trasporta salsedine marina in assenza di contatto con l'acqua di mare	Calcestruzzo per strutture in zone costiere.	0,50	C32/40	320		[e]
XS2	Acqua di mare	Calcestruzzo di parti di strutture marine ccmpletamente immerse in acqua.	0,45	C35/45	350		[e]
XS3	Aree soggette a marea, moto ondoso, spruzzi di acqua di mare	Calcestruzzo di opere portuali, per esempio banchine, moli, pontili. Calcestruzzo di opere di difesa marittima, per esempio barriere frangiflutti, dighe foranee.	0,45	C35/45	350		[e]
5 Attacco dei cicli di gelo/disgelo con o senza disgelanti Nel caso in cui il calcestruzzo sia esposto ad un significativo attacco da cicli di gelo/disgelo, purché bagnato, l'esposizione deve essere classificata come segue:							
XF1	Condizioni che determinano una moderata saturazione del calcestruzzo, in assenza di agente disgelante	Calcestruzzo di facciate, colonne o elementi strutturali verticali o inclinati esposti alla pioggia ed ai cicli di gelo/disgelo.	0,55	C30/37	300	[b]	[f]
XF2	Condizioni che determinano una moderata saturazione del calcestruzzo in presenza di agente disgelante	Calcestruzzo di facciate, colonne o elementi strutturali verticali o inclinati esposti alla pioggia ed ai cicli di gelo/disgelo in presenza di sali disgelanti, per esempio opere stradali esposte al gelo in presenza di sali disgelanti trasportati dall'aria.	0,50	C25/30	320	4 [a]	[f]
XF3	Condizioni che determinano una elevata saturazione del calcestruzzo in assenza di agente disgelante	Calcestruzzo di elementi orizzontali in edifici dove possono aver luogo accumuli d'acqua.	0,50	C25/30	320	4 [a]	[f]
XF4	Condizioni che determinano una elevata saturazione del calcestruzzo con presenza di agente antigelo oppure acqua di mare.	Calcestruzzo di elementi orizzontali, di strade o pavimentazioni, esposti al gelo ed ai sali disgelanti oppure esposti al gelo in zone costiere.	0,45	C30/37	340	4 [a]	[f]
6 Attacco chimico [g] Nel caso in cui il calcestruzzo sia esposto all' attacco chimico derivante da acque sotterranee o dal terrreno, l'esposizione deve essere classificata come segue:							
XA1	Ambiente chimico debolmente aggressivo	Calcestruzzo esposto al terreno naturale e all'acqua del terreno secondo il prospetto 2 UNI EN 206	0,55	C30/37	300		[c]
XA2	Ambiente chimico moderataemte aggressivo	Calcestruzzo esposto al terreno naturale e all'acqua del terreno secondo il prospetto 2 UNI EN 206	0,50	C32/40	320		[c]
XA3	Ambiente chimico fortemente aggressivo	Calcestruzzo esposto al terreno naturale e all'acqua del terreno secondo il prospetto 2 UNI EN 206	0,45	C35/45	350		[c]

g) Quando il calcestruzzo non contiene aria inglobata, le sue prestazioni devono essere verificate rispetto ad un calcestruzzo aerato per il quale è provata la resistenza al gelo/disgelo, da determinarsi secondo UNI CEN/TS 12390-9, UNI CEN/TR 151777 o UNI 7087 per la relativa classe di esposizione. Il valore minimo di aria inglobata del 4% può ritenersi adeguato per calcestruzzi specificati con D_{upper} > 20 mm; per D_{upper} inferiori il limite minimo andrà opportunamente aumentato (ad esempio 5% per D_{upper} tra 12 mm e 16 mm).

h) Qualora si ritenga opportuno impiegare calcestruzzo areato anche in classe di esposizione XF1 si adottano le specifiche di composizione prescritte per le classi XF2 e XF3.

i) In caso di esposizione a terreno o acqua del terreno contenente solfati nei limiti del prospetto 2 della UNI EN 206, è richiesto l'impiego di cementi resistenti ai solfati così come definiti dalla UNI EN 197-1 e su base nazionale dalla UNI 9156. La UNI 9156 classifica i cementi resistenti ai solfati in

Classe esposizione	Descrizione dell'ambiente	Esempio	Max rapporto a/c	Min. Classe di resistenza	Min. contenuto di cem. (kg/m3) [d]	Contenuto Min. in aria (%)	Altri requisiti
tre classi: moderata (MRS), alta (ARS) e altissima resistenza solfatica (AARS). La classe di resistenza solfatica dei cementi UNI 9156 deve essere prescelta in relazione alla classe di esposizione del calcestruzzo secondo il criterio: XA1 si suggerisce l'uso di cementi MRS, XA2 e XA3 si richiede l'uso di cementi ARS (AARS può essere suggerito). Per quanto riguarda l'attacco solfatico in acqua di mare (classe di esposizione XA2) devono essere utilizzati cementi MRS (possono essere suggeriti cementi ARS o AARS) qualificati come resistenti all'acqua di mare secondo UNI 9156. In caso di esposizione ad acque dilavanti o aggressive si raccomanda l'uso di cementi resistenti al dilavamento della calce secondo UNI 9606.							
j)	Quando si applica il concetto di valore k il rapporto a/c massimo e il contenuto minimo di cemento sono calcolati in corformità al p.to 5.2.2. della norma UNI 11104						
k)	E' richiesto l'utilizzo di cementi resistenti all'acqua di mare MRS secondo UNI 9156 (possono essere suggeriti ARS o AARS resistenti all'acqua di mare).						
l)	E' richiesto l'utilizzo di aggregati conformi alla UNI EN 12620 di adeguata resistenza al gelo/disgelo.						

Si potrà derogare al contenuto minimo di cemento riportato nel prospetto precedente negli elementi costruttivi ove è alto il rischio di fessurazione derivante dai gradienti termici (strutture massive) e/o dal ritiro idraulico.

Il conglomerato cementizio può essere destinato ad elementi costruttivi che ricadono in più di una classe di esposizione ambientale e, nel caso, occorre il rispetto dei limiti più restrittivi della classe più gravosa: il rapporto a/c più basso e, in assenza di additivo aerante, la classe di resistenza caratteristica maggiore oltre all'eventuale utilizzo di cementi resistenti all'acqua di mare, ai solfati, al dilavamento della calce. Per calcestruzzi destinati ad elementi che ricadono anche in classe XF2, XF3 e XF4 i valori più stringenti risultano: il rapporto a/c più basso, la classe di resistenza a compressione congruente con questo rapporto a/c, ma ridotta per effetto dell'aria inglobata mediante l'additivo aerante. Si precisa, inoltre, che laddove le condizioni ambientali prevedano oltre ai cicli di gelo-disgelo anche il rischio di attacco del calcestruzzo da parte di agenti esterni (anidride carbonica e/o sali disgelanti), sarà necessario specificare anche una o più classi di esposizione per il rischio di corrosione dell'armatura (XC e XD)".

In aggiunta a quanto sopra, è prescritto che il contenuto di cloruri di un calcestruzzo, espresso come percentuale di ioni cloruro apportato dai costituenti del calcestruzzo rispetto alla massa del cemento e delle aggiunte di tipo II, non deve eccedere il valore della classe selezionata indicato nel prospetto 15 della norma EN 206 che si riporta di seguito.

Impiego del calcestruzzo	Classe di contenuto di cloruri [a]	Contenuto max di Cl- in massa di cemento [b] %
Non contenente armatura di acciaio o inserti metallici ad eccezione dei dispositivi di sollevamento resistenti alla corrosione	Cl 1,00	1,00
Contenente armatura di acciaio o altri inserti metallici	Cl 0,20	0,20
	Cl 0,40 [c]	0,40
Contenente armatura di acciaio da precompressione in diretto contatto con il calcestruzzo	Cl 0,10	0,10
	Cl 0,20	0,20
a) Per un impiego specifico del calcestruzzo, la classe da applicare dipende dalle disposizioni vigenti nel luogo di impiego. b) Qualora si utilizzino delle aggiunte di tipo II cui si tenga conto per il dosaggio del cemento, il contenuto di cloruri è espresso come percentuale di ioni cloruro in massa del cemento più la massa totale delle aggiunte di cui si è tenuto conto. c) Classi di diverso contenuto di cloruri possono essere ammesse per calcestruzzo confezionato con cementi CEM III secondo le disposizioni vigenti nel luogo di impiego.		

E' prescritto, infine, che per il calcestruzzo normale, la massa volumica nella condizione dopo essiccamento in stufa deve essere maggiore di 2.000 kg/m^3 e non maggiore di 2.600 kg/m^3. Per il calcestruzzo pesante, la massa volumica nella condizione dopo essiccamento in stufa deve essere

maggiore di 2.600 kg/m^3. Per il calcestruzzo leggero vedere § 20.4.5.2. Qualora la massa volumica sia specificata come valore prestabilito, si applica una tolleranza di ±100 kg/m^3 fermo restando il rispetto del requisito di resistenza caratteristica a compressione.

20.4.4 Altri requisiti di durabilità

20.4.4.1 Gelo e disgelo

I calcestruzzi destinati ad elementi ricadenti in classe di esposizione XF2, XF3 e XF4 in caso di assenza di aria inglobata nelle percentuali minime previste dalla norma UNI EN 206 e UNI 11104:2025, dovranno essere sottoposti a verifica della resistenza a cicli di gelo e disgelo, secondo la prova di cui alla norma UNI CEN/TS 12390-9, UNI CEN/TR 151777 o UNI 7087, così come previsto dal prospetto F.1 della UNI EN 206 e dal prospetto 6 della UNI 11104, dimostrando l'equivalenza prestazionale con un calcestruzzo di rapporto a/c congruente con i valori del prospetto 6 della UNI 11104:2025 e contenente aria inglobata grazie all'aerante.
Si prescrive che la durata minima della stagionatura dei provini dovrà essere in linea con quanto previsto al § 6 della norma UNI 7087.

20.4.4.2 Resistenza alla penetrazione di acqua

Ove il requisito di tenuta idraulica è ritenuto essenziale si prescrive la verifica della resistenza alla penetrazione d'acqua secondo la norma UNI EN 12390-8, da eseguire almeno dopo 28 giorni di maturazione del provino in acqua con l'obiettivo di conseguire uno spessore di calcestruzzo penetrato dall'acqua (valore medio) non superiore a 20 mm. Nel caso tale valore non fosse rispettato sarà onere del Direttore dei Lavori con il supporto del progettista quello di valutare l'affidabilità dei risultati e la eventuale necessità di azioni di mitigazione. Quale utile suggerimento per conseguire l'obiettivo di cui sopra potrà essere opportuno adottare calcestruzzi di classe di resistenza caratteristica non inferiore alla C30/37.

20.4.5 Calcestruzzi per usi speciali

20.4.5.1 Calcestruzzo autocompattante (Self-Compacting Concrete: SCC)

20.4.5.1.1 Descrizione e campo di impiego

Il calcestruzzo autocompattante - SCC - allo stato fresco ha la caratteristica di scorrere molto facilmente ed espellere l'aria in eccesso senza richiedere vibrazione, riempiendo per gravità tutto il volume del getto garantendo nel contempo un'alta resistenza alla segregazione e la pratica assenza di acqua di bleeding.
Risulta, pertanto, particolarmente indicato:

- per ottenere una elevata compattezza (elevata massa volumica e resistenza a compressione in opera) e assenza di vespai, con un'ottimo facciavista,
- per casseforme sottili e di forma complessa,
- per manufatti molto armati,
- per eseguire da una sola estremità getti di lunghezza elevata difficilmente accessibili,
- per ridurre i tempi di scarico e lavorazione.

20.4.5.1.2 Classificazione delle miscele SCC

A seconda della tipologia strutturale a cui il conglomerato è destinato, delle attrezzature di getto in opera (pompa, autobetoniera, benna), procedimento di getto in opera (distanza tra punti di getto) e metodo di finitura occorre definire i requisiti del calcestruzzo autocompattante - SCC - secondo il sistema di classificazione della UNI EN 206 che è caratterizzato da quattro parametri principali:

- Classi di spandimento al cono di Abrams (Slump-Flow):

Classe	Spandimento al cono di Abrams[a)] (EN 12350-8) [mm]
SF1	da 550 a 650
SF2	da 660 a 750
SF3	da 760 a 850
[a)] La classificazione non è applicabile a cls con D_{max} > 40mm	

- Classi di viscosità VS o VF:

Classe	T_{500}[a)] (EN 12350-8) [s]
VS	< 2
VS	≥ 2
[a)] La classificazione non è applicabile a cls con D_{max} > 40mm	
Classe	T_v[b)] (EN 12350-9) [s]
VF1	< 9
VF2	da 9 a 25,0
[b)] La classificazione non è applicabile a cls con D_{max} > 22,4mm	

- Classi di capacità di attraversamento scatola a L o anello a J:

Classe	Rapporto della scatola a L (EN 12350-10)
PL1	≥ 0,80 con 2 barre di armatura
PL2	≥ 0,80 con 3 basse di armatura
Classe	Altezza all'interno e all'esterno dell'anello J[a)] (EN 12350-12) [mm]
PJ1	≤ 10 con 12 barre di armatura
PJ2	≤ 10 con 16 barre di armatura
[a)] La classificazione non è applicabile a cls con D_{max} > 40mm	

- Classi di resistenza alla segregazione al setaccio:

Classe	Porzione segregata[a)] (EN 12350-11) [%]
SR1	≤ 20
SR2	≤ 15
[a)] La classificazione non è applicabile a cls con D_{max} > 40mm	

20.4.5.1.3 Caratteristiche addizionali dei calcestruzzi autocompattanti

Per il calcestruzzo autocompattante dovranno essere rispettate le prescrizioni, oltre a quelle richieste per i calcestruzzi tradizionali, qui di seguito indicate:
- classe di spandimento e classe di viscosità,
- classe di capacità di attraversamento (se il getto interessa strutture armate),
- classe di resistenza alla segregazione al setaccio.

20.4.5.2 Calcestruzzi leggeri

Possono essere utilizzati calcestruzzi leggeri strutturali, per parti di strutture in c.a., e calcestruzzi leggeri non strutturali per riempimenti di cavità e facilmente rimovibili.

20.4.5.2.1 Calcestruzzo leggero strutturale

Ove richiesto in progetto, si farà uso di conglomerato cementizio leggero a struttura chiusa ottenuto sostituendo tutto o in parte l'aggregato ordinario con quello leggero conforme alla norma UNI EN 13055.
Si riportano di seguito le classi di resistenza a compressione per calcestruzzo leggero in accordo alla EN 206:

Classi di resistenza a compressione	Resistenza caratteristica cilindrica minima $f_{ck,cyl}$ [N/mm^2]	Resistenza caratteristica cubica minima[a)] $f_{ck,cube}$ [N/mm^2]
LC8/9	8	9
LC12/13	12	13

LC16/18	16	18
LC20/22	20	22
LC25/28	25	28
LC30/33	30	33
LC35/38	35	38
LC40/44	40	44
LC45/50	45	50
LC50/55	50	55
LC55/60	55	60
LC60/66	60	66
LC70/77	70	77
LC80/88	80	88
b) Possono essere utilizzati anche altri valori della resistenza caratteristica cubica se la relazione fra questi e la resistenza caratteristica cilindrica di riferimento è stabilita e documentata		

I calcestruzzi leggeri sono anche classificati per classi di massa volumica secondo la seguente tabella:

Classe di massa volumica	D1,0	D1,2	D1,4	D1,6	D1,8	D2,0
Intervallo di massa volumica (EN 12390-7) – [kg/m^3]	≥800 e ≤ 1000	>1000 e ≤ 1200	>1200 e ≤ 1400	>1400 e ≤ 1600	> 1600 e ≤1800	>1800 e ≤ 2000

La resistenza verrà controllata con la stessa procedura prevista per il calcestruzzo di massa volumica normale. Anche per questo conglomerato devono essere soddisfatte le prescrizioni relative alla durabilità, in particolare per quanto concerne il rapporto acqua/cemento massimo da non superare.
In caso di pompaggio è necessario prevedere una presaturazione dell'aggregato leggero allo scopo di prevenire l'assorbimento sotto pressione dell'acqua di impasto da parte dell'aggregato leggero stesso.
Per il calcestruzzo leggero dovranno essere rispettate le prescrizioni, oltre a quelle richieste per i calcestruzzi tradizionali, qui di seguito indicate:
- Classe di massa volumica.

20.4.5.2.2 Calcestruzzo leggero non strutturale e cellulare

Questi tipi di conglomerato cementizio, da utilizzare per riempimenti di scavi facilmente rimovibili, strati di coibentazione,ecc. vengono realizzati con l'aggiunta di additivi aeranti e/o di schiume e debbono avere resistenza a compressione indicativamente nell'intervallo 1 a 5 N/mm^2 e una stabilità ed omogeneità del contenuto d'aria, dal punto di miscelazione fino alla posa in opera.
In funzione dei requisiti fissati dal progettista, l'Appaltatore dovrà presentare opportune prove in fase di prequalifica a dimostrazione della idoneità della miscela ai requisiti richiesti.
In alternativa il calcestruzzo leggero non strutturale si può ottenere impiegando, in sostituzione o in aggiunta agli additivi aeranti/schiume, sferette di polistirolo espanso.

20.4.5.3 Calcestruzzo proiettato (CP)

20.4.5.3.1 Descrizione e campo di impiego

Il calcestruzzo proiettato è utilizzato per la riparazione e il consolidamento di strutture, per nuove strutture e per il rinforzo del terreno. Alcuni esempi di utilizzo sono il rivestimento delle pareti di scavo, pendici o di pozzi di fondazione, paratie, rivestimenti di prima fase in galleria.
A seconda dello scopo a cui è destinato, il calcestruzzo proiettato può costituire un supporto

permanente o temporaneo e può essere strutturale o non strutturale.
Viene proiettato in opera pnemauticamente con una lancia di proiezione in modo da produrre una massa densa omogenea tramite la propria propulsione.
La miscela di base è costituita da cemento, aggregati ed eventualmente altri costituenti aggiunti nella macchina di proiezione, esclusi i componenti aggiunti in corrispondenza dell'ugello della lancia di proiezione. La miscela di base può essere secca o umida. La miscela di base può contenere: aggiunte, additivi, fibre (in tal caso si definisce calcestruzzo proiettato fibrorinforzato), acqua.
La miscela secca può essere prodotta in fabbrica o in sito.
Il calcestruzzo proiettato dovrà essere confezionato nel rispetto della presente Norma Tecnica e, per gli aspetti non considerati, in conformità alla UNI EN 14487-1.

20.4.5.3.2 Classificazione

I calcestruzzi proiettati sono classificati in funzione dei seguenti parametri:

- resistenza caratteristica a compressione
- consistenza della miscela fresca
- classe di esposizione
- velocità di sviluppo delle prestazioni meccaniche nel calcestruzzo giovane

I calcestruzzi proiettati fibrorinforzati vengono inoltre classificati anche in base ai seguenti parametri:

- classe di resistenza residua
- capacità di assorbimento di energia

20.4.5.3.2.1 Velocità di sviluppo delle prestazioni meccaniche

Se specificato negli elaborati progettuali lo sviluppo della resistenza del calcestruzzo proiettato giovane deve essere associato ad una delle classi di resistenza iniziale J_1, J_2 o J_3 secondo la seguente figura:

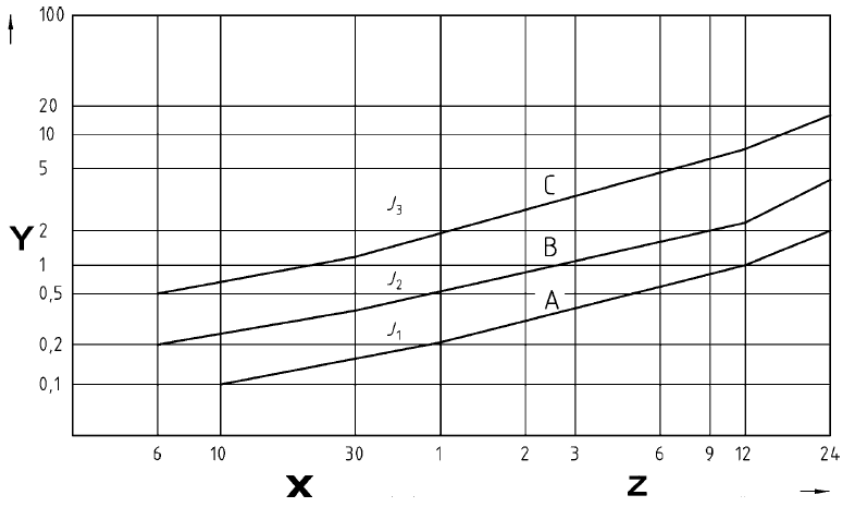


Figura 1 – Classi di resistenza del calcestruzzo proiettato giovane.
X è il tempo in minuti,
Z è il tempo in ore
Y è la resistenza in N/mm^2

L'assegnazione alla classe J1 (normale sviluppo) richiede che almeno 3 valori di resistenza cadano tra le curve A e B, per la classe J2 (rapido sviluppo) tra le curve B e C e al di sopra della curva C per il calcestruzzo proiettato di classe J3 (rapidissimo sviluppo). Gli intervalli di tempo raccomandati

nei quali devono essere valutati i dati di resistenza sono:

- da 0h a 1h
- da 4h a 6h
- da 12h a 24h

20.4.5.3.2.2 Resistenza residua (per calcestruzzi proiettati fibrorinforzati)

La classificazione della resistenza residua consiste nel definire, ove ritenuto necessario dal progettista, un livello di resistenza ad un intervallo di deformazione, secondo il prospetto 2 della UNI EN 14487-1 riportato di seguito per comodità di consultazione, connotato mediante la combinazione dei simboli per l'intervallo di deformazione e livello di resistenza specificati. Per esempio: classe D2S2 significa che la resistenza residua deve risultare almeno pari a 2 MPa nell'intervallo di inflessione compreso tra 0,5 mm e 2 mm.

Definizione delle classi di resistenza residua					
Intervallo di deformazione		Livello di resistenza - resistenza minima [MPa]			
	Inflessione – [mm]	S1	S2	S3	S4
D1	Da 0,5 a 1	1	2	3	4
D2	Da 0,5 a 2				
D3	Da 0,5 a 4				

20.4.5.3.2.3 Capacità di assorbimento di energia (per calcestruzzi proiettati fibrorinforzati)

Laddove ritenuto utile, il progettista può definire una classe di assorbimento di energia in funzione del prospetto 3 della norma UNI EN 14487-1 riportato di seguito per comodità di consultazione.

Definizioni delle classi di assorbimento di energia	
Classe di assorbimento di energia	Assorbimento di energia [J], per inflessione fino a 25 mm
E500	500
E700	700
E1000	1000

20.4.5.3.2.4 Categorie di ispezione

La categoria di ispezione, in una scala da 1 a 3, definisce il tipo e la frequenza dei controlli che devono essere eseguiti in corso di applicazione del calcestruzzo proiettato (vedere § 20.10.6.5) e va definita in funzione del tipo e dell'importanza dell'opera, della vita di servizio richiesta e del grado di rischio connesso.

Salvo specifiche indicazioni riportate negli elaborati progettuali si individuano le seguenti categorie di ispezioni:

Categorie di ispezioni	
Tipo di intervento	Categoria
Rivestimento pareti di scavo temporaneo	1
Rivestimento di berlinesi provvisionali con o senza tiranti, pozzi di fondazione	1
Stabilizzazione pareti di scavo permanente di pendii in assenza di movimento franoso	2
Stabilizzazione pareti di scavo permanente di pendii in presenza di movimento franoso	3
Consolidamento di elementi portanti e non portanti di opere d'arte in c.a. (viadotti, calvalcavia, sottovia, gallerie, ecc.)	3
Pre-rivestimenti di gallerie con funzione portante temporanea	2
Pre-rivestimenti di gallerie con funzione portante in servizio	3

20.4.5.3.3 Requisiti per la composizione del calcestruzzo proiettato

Il calcestruzzo proiettato verrà confezionato con aggregati di appropriata granulometria, ottenuto con almeno due classi granulometriche e di dimensioni non superiori a 12 mm, tali da poter essere proiettati ad umido o a secco con le normali attrezzature da "spritz", salvo diverse prescrizioni progettuali. Il rapporto acqua/cemento non dovrà essere superiore a 0,50.
La miscela dovrà avere una consistenza individuata a progetto e comunque generalmente S4 o S5 con un mantenimento della lavorabilità di almeno 90'. Se la temperatura esterna è maggiore di 25°C è ammessa, dopo un'ora dalla miscelazione, una riduzione dello slump non superiore al 15%.
Il calcestruzzo verrà additivato con acceleranti di presa alcali-free in misura mediamente dell'8% ma sempre minore del 10% rispetto alla massa del cemento e dell'eventuali aggiunte di tipo II.
Detti acceleranti potranno essere costituiti da una soluzione acquosa o in sospensione liquida e dovranno avere:

- un contenuto di alcali (Na2O equivalente) < 1% in peso
- un tenore di cloruro (Cl^-) < 0,1%
- una densità di $\geq$ 1,36 kg/lt
- non dovranno essere caustici e dovranno avere un pH di 3 ± 1

Ai fini della coesione del calcestruzzo, della durabilità dei manufatti e per evitare eventuali fenomeni di dilavamento, ove necessario il calcestruzzo proiettato verrà additivato con fumo di silice in misura del 5-8% sulla massa del cemento.
Per le opere provvisionali all'aperto, quando non espressamente richiesta la prestazionalità in termini di impermeabilità, si ritiene possibile il ricorso ad acceleranti di presa a base di silicati di sodio di impasti privi di fumo di silice, purché vengano rispettate le seguenti prescrizioni:

- La durata dell'intervento di applicazione di cls proiettato abbia una durata inferiore a 2 anni (limite normativamente fissato per considerare un'opera a carattere "provvisionale");
- Sia comunque garantita la coesione del cls proiettato, l'assenza di fenomeni di dilavamento, la qualità e la lavorabilità in genere del prodotto.

È opportuno che il progettista inserisca nel progetto i seguenti parametri (oltre a quelli abituali):
-Le classi di resistenza iniziale J
-Resistenza residua (per i calcestruzzi proiettati fibrorinforzati)
-Capacità di assorbimento di energia (per i calcestruzzi proiettati fibrorinforzati).

20.4.5.4 Calcestruzzo con classe di resistenza superiore a C45/55

Per calcestruzzi con classi di resistenza superiori a C45/55, la resistenza caratteristica e tutte le grandezze elastiche e fisiche che – a discrezione del progettista e/o della DL - hanno influenza sulla resistenza e durabilità del conglomerato devono essere accertate prima dell'inizio dei lavori tramite apposita qualifica presso l'impianto di produzione nelle modalità definite al § 20.8.2 e la produzione deve seguire specifiche procedure per il controllo di qualità.
I calcestruzzi con classi di resistenza superiore a C70/85 potranno essere utilizzati soltanto se il fabbricante è in possesso del "Certificato di Valutazione Tecnica" rilasciato dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici come indicato al § 4.1 delle NTC2018 che rinvia al caso C) del § 11.1. Tale certificazione deve essere integrata al dossier di prequalifica di cui al § 20.8.1.

20.4.5.5 Getti massivi e/o di lunghezza elevata

In presenza di:

- strutture di fondazione (platea, plinto o trave) con spessore superiore a 150 cm (o 120 cm ove il progettista ne dovesse ravvisare la necessità),

- strutture di elevazione (pilastri, pile, muri o setti verticali, solettoni), elementi di rivestimento delle gallerie e muri di sostegno con spessore o diametro superiore a 80 cm,

l'Appaltatore deve prendere ogni possibile precauzione per prevenire fessurazioni sia dovute alle tensioni di trazione in fase di riscaldamento o di raffreddamento del getto (che si manifestano nei primi giorni/settimane), sia attribuibili al ritiro igrometrico.

I fenomeni suddetti si possono controllare riducendo la quantità di calore sviluppato in fase di maturazione del calcestruzzo scegliendo un cemento a basso calore di idratazione (tipo LH secondo la norma UNI EN 197-1), ottimizzando la riduzione d'acqua mediante additivi, adottando elevati valori del diametro massimo degli aggregati, provvedimenti questi tesi alla riduzione del dosaggio di cemento (che può risultare anche inferiore al valore minimo previsto dalla classe di esposizione ambientale in accordo alla UNI 11104:2025).

L'Appaltatore dovrà assicurarsi che, con la miscela di calcestruzzo prevista, la quantità di calore sviluppato non determini un incremento di temperatura in condizioni adiabatiche (ΔT_{max}) del calcestruzzo superiore a 35°C. Inoltre, la temperatura iniziale del calcestruzzo all'inizio delle operazioni di getto non dovrà essere superiore a 35°C in modo che la temperatura massima raggiunta nel "cuore" della struttura risulti inferiore a 70°C.

L'incremento di temperatura in condizioni adiabatiche (ΔT_{max}) del calcestruzzo è possibile calcolarlo mediante la seguente formula:

$$\Delta T_{max} = \frac{c \cdot q_t}{c_{sp} \cdot m_v}$$

Dove:

- c è il dosaggio di cemento
- q_t è il calore di idratazione unitario del cemento
- m_v è la massa volumica del calcestuzzo
- c_{sp} è il calore specifico del calcestruzzo che – salvo casi in cui si necessita di calcolazioni particolamente accurate – può essere assunto pari a 1,1 kJ/(kg·°C)

Per i getti di lunghezza elevata il progettista dovrà comunque prevedere un congruo numero di giunti di contrazione allo scopo di evitare la formazione di fessure casuali ad andamento caotico.

20.4.5.6 Pavimentazioni stradali in calcestruzzo

Il CSLLPP, con parere n. 0007221 del 08.08.2019, ha chiarito che, quando le pavimentazioni in calcestruzzo svolgono unicamente la funzione di finitura dell'opera quale ad esempio il completamento di opere stradali e:

- non assume una funzione portante atta a sostenere, oltre al proprio peso, anche carichi gravanti come ad esempio macchinari fissi, scaffalature ecc;
- non sono connesse a strutture di fondazione ed elevazioni adiacenti;

non sono soggette alle NTC2018 e quindi non vi è l'obbligo di un processo di qualifica, controllo, collaudo statico nemmeno qualora dette pavimentazioni siano costituite con calcestruzzo fibrorinforzato.
Tuttavia a maggiore garanzia della qualità e durabilità dell'opera restano valide le prescrizioni contenute nel presente articolo di capitolato.

20.4.5.6.1 Calcestruzzo drenante per pavimentazioni stradali

20.4.5.6.1.1 Descrizione

Il calcestruzzo drenante, inteso come strato di usura superficiale di pavimentazioni ad uso carrabile e pedonale, è una miscela cementizia avente determinate proprietà drenanti e di portanza in grado di offrire la necessaria resistenza ai carichi statici e dinamici previsti e costituita da cemento, aggregati (prevalentemente grossi), additivi e acqua.
Se previsto nelle tavole di progetto la pavimentazione in calcestruzzo drenante può essere colorata per l'intero spessore (pigmentazione in massa con ossidi metallici). Non è ammessa la colorazione della sola superficie.

20.4.5.6.1.2 Campo di impiego

Il campo di applicazione per cui è possibile utilizzare il calcestruzzo drenante come strato di usura superficiale è costituito da:

- piazzali di sosta anche per mezzi pesanti
- piste ciclopedonali
- aree pedonali.
- strade locali di tipo F

Non è consentito l'utilizzo di calcestruzzo drenante per le viabilità così come definite dal "Nuovo Codice della strada" all'art. 2 comma 2, di tipo: A - Autostrade; B - Strade extraurbane principali; C - Strade extraurbane secondarie; D - Strade urbane di scorrimento ed E - Strade urbane di quartiere.

20.4.5.6.1.3 Caratteristiche specifiche della miscela e dei componenti

Le caratteristiche del calcestruzzo drenanti sono le seguenti:

Descrizione	**Limite di accettabilità**
Miscela	
Resistenza caratteristica cubica minima R_{ck} [N/mm^2]	Compreso tra 15 e 30 N/mm^2 se non diversamente specificato negli elaborati progettuali
Capacità di drenaggio (UN EN 12697 – 40)	Compreso tra 200 e 400 mm/min se non diversamente specificato negli elaborati progettuali
Percentuale di vuoti	tra 15 e 25 %
Massa volumica fresco (EN 206-1)	tra 1.700 e 2.100 kg/mc
Classe di consistenza fresco (EN 206-1)	Terra umida/plastica - classe di consistenza di riferimento S1/S2
Cemento	
Dosaggio	compreso indicativamente tra 250 e 330 kg/mc a seconda delle caratteristiche prestazionali richieste (resistenze meccaniche, capacità di drenaggio)
Aggregati	
Resistenza gelo/disgelo aggregato grosso tra 4 e 63 mm (UNI EN 1367-1)	≤ 2% - F_2 (UNI 8520-2 prospetto 5)
Resistenza al gelo disgelo in presenza di sale aggregato grosso tra 4 e 63 mm (UNI EN 1367-6)	≤ 2% - F_{NaCl-2} (UNI 8520-2 prospetto 5)
Resistenza all'abrasione superficiale (UNI EN 12620 prospetto 16)	≤ 20 – AAV_{20} (UNI 8520-2 prospetto 5 valore dichiarato dal progettista)

Descrizione	Limite di accettabilità
Resistenza all'usura aggregato grosso (UNI EN 1097-1)	≤ 25 - $M_{DE}25$ (UNI 8520-2 prospetto 5 valore dichiarato dal progettista)
Resistenza alla frammentazione (UNI 1097-2 p.to 5)	≤ 30 - LA_{30} (UNI EN 12620 appendice E dichiarato dal progettista)

20.4.5.6.2 Calcestruzzo per corsie di stazione

20.4.5.6.2.1 Descrizione

Le piste di esazione dei caselli autostradali in corrispondenza delle isole, devono essere pavimentate in calcestruzzo il quale, salvo indicazioni diverse riportate negli elaborati progettuali, deve avere una classe di resistenza pari a C 30/37 e classe di esposizione XF4, dello spessore indicato a progetto, steso in unico strato ed armato con rete elettrosaldata posta a 5 cm dal piano di posa del conglomerato; in corrispondenza delle pedane e pedanine la rete dovrà essere interrotta come indicato nei disegni esecutivi; tra la pavimentazione ed il sottofondo dovrà essere steso uno strato di sconnessione in cartonfeltro bitumato del peso di 500 g/m² posato con sovrapposizioni di 10 cm.
La finitura superficiale sarà completata usando scope a setole rigide per conferire alla pavimentazione la necessaria rugosità in senso trasversale a quello di marcia.
Le finiture superficiali antiusura del calcestruzzo di pavimentazione costituite con miscela di quarzo e cemento non garantiscono una adeguata resistenza e durabilità ai cicli di gelo e disgelo e agli agenti antigelo e pertanto non devono essere utilizzate.
Devono essere realizzati giunti trasversali di contrazione, mediante i quali si ha la suddivisione in lastre della pavimentazione, che saranno del tipo senza barre di trasferimento e saranno realizzati come giunti segati e tagliati ad interasse di 4÷5 m, in posizione tale da non nuocere alle spire magnetiche e comunque secondo le disposizioni della Direzione Lavori. Per ricavare questi giunti dovranno essere impiegate mole diamantate.

L'operazione di taglio sarà iniziata da 6 a 24 h dopo il getto, secondo le condizioni climatiche (temperatura, ventilazione, stato igrometrico dell'aria): non si dovrà iniziare il taglio se non quando l'indurimento del calcestruzzo sia sufficiente ad evitare ogni possibile deterioramento e, nello stesso tempo, quanto prima onde evitare la formazione di fessure di ritiro. I giunti avranno una apertura di circa 3÷4 mm ed una profondità massima di 10 cm. Appena segati essi dovranno essere completamente puliti mediante aria compressa. La sigillatura definitiva può essere rimandata a più tardi, ma in tal caso è necessaria una sigillatura provvisoria mediante l'introduzione nella fessura di una corda o di un nastro di carta o d'altro materiale, onde evitare che si introducano sassi o corpi estranei. Questo materiale sarà successivamente rimosso per procedere alla sigillatura definitiva, per la quale dovranno essere impiegati prodotti approvati dalla Direzione Lavori (in particolare mastici elastomerici).
Opportune tecniche dovranno essere seguite per la posa in opera delle spire magnetiche contatraffico da inserire nel getto in modo che quest'ultime rimangano nella posizione prevista durante le operazioni di stesa e sistemazione del calcestruzzo. Da parte della Direzione Lavori potrà essere richiesto qualsiasi accorgimento adatto a tal fine. In ogni caso sarà cura dell'Appaltatore evitare che alcun oggetto metallico resti racchiuso nel getto in prossimità delle spire.

20.4.5.6.2.2 Caratteristiche specifiche della miscela e dei componenti

Le caratteristiche del calcestruzzo per corsie di stazione sono le seguenti:

Descrizione requisito	Limite di accettabilità
Miscela	

Descrizione requisito	Limite di accettabilità
Resistenza caratteristica a compressione	C30/37
Classe di esposizione ai cicli di gelo e disgelo (EN 206-1)	XF4
Classe di consistenza fresco (EN 206-1)	S4 – S5
Aggregati	
Resistenza gelo/disgelo (UNI EN 12620 prospetto 18)	≤ 1% - F_1 (UNI 8520-2 prospetto 5)
Degradabilità al solfato di magnesio (UNI EN 12620 prospetto 19)	≤ 18% - MS_{18} (UNI 8520-2 prospetto 5)
Resistenza all'abrasione superficiale (UNI EN 12620 prospetto 16)	≤ 15 – AAV_{15} (UNI 8520-2 prospetto 5 valore dichiarato dal progettista)
Resistenza all'usura aggregato grosso (UNI EN 12620 prospetto 14)	≤ 15 - $M_{DE}15$ (UNI 8520-2 prospetto 5 valore dichiarato dal progettista)
Resistenza alla frammentazione (UNI EN 12620 prospetto 12)	≤ 25 - LA_{25} (UNI EN 12620 appendice E valore dichiarato dal progettista)

20.4.5.7 Calcestruzzi a ritiro compensato

Per il confezionamento di calcestruzzi a ritiro compensato si potrà fare uso di agenti espansivi non metallici, per lo più a base di ossido di calcio, conformi alla UNI 8146. I calcestruzzi a ritiro compensato – oltre a rispettare tutte le specifiche dei tradizionali calcestruzzi non espansivi (classe di esposizione, classe di resistenza caratteristica, rapporto a/c max, dosaggio di cemento minimo, classe di consistenza, classe di contenuto di cloruro, diametro massimo dell'aggregato, eventuale classe di impronta carbonica o classe di riduzione dell'impronta carbonica) – debbono possedere i seguenti requisiti:

- i tempi di inizio e fine presa del calcestruzzo contenente l'agente espansivo, misurati secondo UNI 7123, non devono variare di più di ±30 min rispetto a quelli del calcestruzzo non additivato di pari classe di consistenza;
- l'espansione contrastata secondo UNI 8148:
  - con metodo A (a 20°C in acqua satura di calce) dovrà essere a 7 giorni > 200 μm/m; a 28 giorni non inferiore di quella registrata a 7 giorni;
  - con metodo B (a 20°C nei primi 2 gg a UR >95% e con protezione di pellicola plastica, poi all'aria con UR 60±5%), la norma non prevede dei limiti, che andranno concordati con il produttore in fase di prequalifica e in base alle specifiche esigenze di progetto.

La fornitura degli espansivi dovrà essere accompagnata da una certificazione del produttore, che attesti la conformità del prodotto ai requisiti sopraelencati, e dalla scheda tecnica indicante le caratteristiche chimico-fisiche e prestazionali dei prodotti.
In fase di prequalifica andrà anche verificata l'efficacia dell'agente espansivo in eventuale combinazione con un agente antiritiro (Shrinkage Reducing Admixture: SRA) ed alle temperature critiche ipotizzate nel periodo di getto secondo il metodo della UNI 8148.
È noto, infatti, che con temperature calde (sopra i 30°C) l'efficacia dell'espansivo viene ridotta, a causa della rapida reazione dello stesso quando il calcestruzzo è ancora in fase plastica mentre, viceversa, con climi molto freddi il ritardo nell'indurimento non permette di sfruttare a pieno il contrasto delle armature. In questi casi, andranno quindi ottimizzati sia il dosaggio dell'agente espansivo sia quello degli additivi regolatore di presa, nonché l'eventuale prolungamento della stagionatura umida del calcestruzzo.
Si precisa che la UNI 8148 non prevede dei limiti di accettazione, che andranno altresì definiti in base alle specifiche esigenze di progetto.

20.4.5.8 Calcestruzzo a ridotta emissione di CO_2 – Classe GWP del calcestruzzo

Laddove il progetto o i documenti di gara prevedano l'utilizzo di calcestruzzo con ridotta impronta carbonica, occorre rispettare i requisiti definiti in detti documenti e le prescrizioni specifiche contenute in questo articolo di capitolato.
Per diminuire l'impatto ambientale causato dal mondo delle costruzioni è necessario agire sia sul tipo di cemento, privilegiando quelli a basso tenore di clinker, che sul dosaggio (riducendolo il più possibile sia pur nel rispetto dei valori minimi previsti dalle classi di esposizione ambientale). L'impatto ambientale del calcestruzzo deve basarsi sull'analisi del Ciclo di Vita (Life Cycle Assessment, LCA conforme alle norme UNI EN ISO 14025:2010/UNI EN ISO 14040:2021 o alla UNI EN ISO 14067:2018) del conglomerato cementizio "from cradle to gate", in accordo al quale debbono essere identificate tutte le informazioni rilevanti a partire dalla fase di produzione degli ingredienti (fase A1), al trasporto degli stessi presso la centrale di betonaggio (fase A2), al confezionamento del conglomerato nell'impianto di produzione del calcestruzzo (fase A3). Il produttore in fase di fornitura del calcestruzzo fornisce l'attestazione da parte di un organismo di certificazione accreditato della veridicità dello studio LCA e della successiva Dichiarazione Ambientale di Prodotto (Environmental Production Declaration: EPD).
Nella EPD è contenuta una serie di dati quali il potenziale riscaldamento globale delle acque e del suolo, il potenziale di eutrofizzazione, il potenziale di esaurimento abiotico delle risorse fossili e non fossili etc. Data la complessità delle voci riportate nell'EPD, nell'ottica di favorire l'impiego di conglomerati più sostenibili dal punto di vista ambientale – in accordo alla norma UNI 11104:2025 – viene introdotta la classe di impronta carbonica GWP XXX-IT che – a parità di classe di resistenza caratteristica, di classe/i di esposizione ambientale, di classe di consistenza e diametro massimo dell'aggregato – identifichi il carbon footprint del calcestruzzo in base alla sola emissione di CO_2 correlata agli ingredienti utilizzati nella sua produzione (fase A1), al loro trasporto nell'impianto di produzione (fase A2) e alla fase di mescolamento (fase A3) degli stessi per la produzione del conglomerato (from cradle to gate). Per l'attestazione della classe di impronta carbonica del calcestruzzo il produttore può avvalersi – in alternativa alla EPD - del CO_2 Module del Concrete Sustainability Council.
Il calcestruzzo, quindi, se richiesto, verrà identificato in base alla seguente voce generale di capitolato "Calcestruzzo a prestazione garantita in accordo alla UNI EN 206-1 e UNI 11104:2025, avente classe di resistenza C(x/y), durevole nelle classi di esposizione …, a consistenza …, D_{max} …, Cl… ed eventualmente classe GWP-XXX-IT" suddivise in accordo alla tabella che segue desunta dal prospetto D.1 della norma UNI 11104:2025.

Prospetto D. 4- Classi GWP del calcestruzzo

Classi GWP	GWPc [kg di CO_2 per m^3]
GWP-50-IT	≤ 50
GWP-100-IT	≤ 100
GWP-150-IT	≤ 150
GWP-200-IT	≤ 200
GWP-250-IT	≤ 250
GWP-300-IT	≤ 300
GWP-350-IT	≤ 350
GWP-400-IT	≤ 400
GWP-450-IT	≤ 450
GWP-500-IT	≤ 500
GWP-M-IT	>500

In accordo con quanto riportato nella norma UNI 11104:2025, la committenza o il progettista o la D.L. potrà anche indicare delle classi di GWP intermedie (esempio GWP-175-IT ($kgCO_2/m^3$ < 175). La norma UNI 11104:2025 ha fissato (Prospetto D.2) per ogni classe di resistenza a compressione un valore di riferimento per il GWP (cradle to gate: A1, A2 e A3). La sostenibilità ambientale di un conglomerato cementizio può essere eventualmente valutata anche in base alla riduzione dell'impronta carbonica rispetto al conglomerato di riferimento (Prospetti D.2 e D.3).

Prospetto D. 5 – Valori calcolati di $GWP_{ref}^{Cxx/yy}$

Tipo di calcestruzzo Classi di resistenza Cxx/yy	$GWP_{ref}^{Cxx/yy}$ [$kgCO_2/m^3$]
C8/10	230
C12/15	260
C16/20	280
C20/25	300
C25/30	330
C30/37 (C25/30 con aerante)	360
C32/40	380
C35/45 (C30/37 con aerante)	410
C40/50	440
C45/55	460
C50/60	500

Prospetto D. 6 - Classi di riduzione del GWP del calcestruzzo rispetto al cemento di riferimento

Classi ri riduzione GWP	X [%]
GW_R0	X < 10
GW_R10	10 ≤ X < 20
GW_R20	20 ≤ X < 30
GW_R30	30 ≤ X < 40
GW_R40	40 ≤ X < 50
GW_R50	50 ≤ X < 60
GW_R60	60 ≤ X < 70
GW_R70	70 ≤ X < 80
GW_R80	80 ≤ X < 90
GW_R90	90 ≤ X ≤ 100

Tenendo presente quanto sopra riportato, nella Tabella 1 per ogni tipo di calcestruzzo vengono indicati dei possibili requisiti opzionali in termini di GWP per i conglomerati da utilizzare nell'ambito dei lavori.

Tabella 6 - Tipi di calcestruzzo, classi di esposizione ambientale, classe di resistenza caratteristica a compressione, valore di riferimento del GWP, valore premiante di GWP, classe opzionale di GWP massima ammessa premiante

Tipo	Classe esposizione	Cxx/yy minima richiesta	Valore di riferimento del GWP norma UNI 11104 [cradle to gate $kgCO_2/m^3$]	Valore premiante di GWP [cradle to gate $kgCO_2/m^3$]	Classe opzionale di GWP massima ammessa premiante

I	XC1, XC2	C25/30	330	299	GWP-300-IT
II	XC2, XA1	C30/37	360	324	GWP-325-IT
III	XC2, XA2	C32/40	380	339	GWP-340-IT
IV	XC2, XA3	C35/45	410	369	GWP-370-IT
V	XC4, XS1, XF1, XD1	C32/40	380	339	GWP-340-IT
VI	XC4, XF4, XD3	C30/37 + aerante	410	369	GWP-370-IT
VII	XC4, XA1, XA2, XD1, XF1	C32/40	380	339	GWP-340-IT

20.4.5.9 Tipi di calcestruzzo – classi di resistenza, classi di esposizione, classe di consistenza, classe GWP

Nella tabella che segue vengono riassunte tutte le prescrizioni per i diversi tipi di calcestruzzo: classe di esposizione, massimo rapporto a/c, classe di resistenza caratteristica minima, dosaggio minimo di cemento, aria inglobata e aggregati resistenti al gelo, classe di consistenza, classe di GWP massima ammessa premiante.

Tabella 7 - Tipi di calcestruzzo, classi di esposizione ambientale, rapporto a/c max, classe di resistenza caratteristica a compressione, dosaggio minimo di cemento, aerante, aggregati resistenti al gelo, classe di consistenza, classe di GWP massima ammessa premiant.

Tipo	Classe esposizione	a/c_{max}	Cxx/yy minima richiesta	Dosaggio minimo di cemento [kg/m^3]	Aria inglobata (additivo aerante) e aggregati resistenti al gelo	Classe di consistenza al getto	Classe opzionale di GWP massima ammessa *Premiante*
I	XC1, XC2	0,60	C25/30	280	NO	S4,S5	GWP-300-IT (5%)
II	XC2, XA1	0,55	C30/37	300	NO	S4,S5	GWP-325-IT (5%)
III	XC2, XA2	0,50	C32/40	320	NO	S4,S5	GWP-340-IT (5%)
IV	XC2,XA3	0,45	C35/45	350	NO	S4,S5	GWP-370-IT (5%)
V	XC4, XS1, XF1, XD1	0,50	C32/40	320	NO Aggregati resistenti al gelo solo per XF1	S4,S5	GWP-340-IT (5%)
VI	XC4, XF4, XD3	0,45	C30/37 + aerante	350	Aerante e aggregati resistenti al gelo	S4,S5	GWP-370-IT (5%)
VII	XC4, XA1, XA2, XD1, XF1	0,50	C32/40	320	NO Aggregati resistenti al gelo solo per XF1	S4,S5	GWP-340-IT (5%)

Qualora le classi XA1/XA2/XA3 discendano dalla presenza di CO_2 libera (nelle acque) o di solfato (nei terreni e/o nelle acque) si rimanda alle specifiche del tipo di cemento da utilizzare descritte nel paragrafo 20.4.3

20.4.5.10 Calcestruzzo fibrorinforzato con fibre di acciaio o polimeriche

20.4.5.10.1 Descrizione e campo di impiego

Il calcestruzzo fibrorinforzato (Fiber Reinforced Concrete: FRC) è un materiale composito caratterizzato da una matrice cementizia e da fibre corte discontinue. La matrice è costituita da calcestruzzi o da malte, normali o ad alte prestazioni; le fibre possono essere di acciaio, di materiale polimerico, di vetro, di carbonio o di materiale naturale.
Ai sensi del § 11.2.12 delle NTC sono ammesse solo fibre di acciaio o polimeriche marcate CE come specificato al successivo § 20.5.6 ove sono riportate altresì i requisiti di accettazione per la qualifica del materiale. Si precisa che un calcestruzzo fibrorinforzato ad uso strutturale, deve rispettare i requisiti minimi prestazionali descritti nel progetto esecutivo e come riportato nelle NTC al $C11.2.12 e nelle Linee guida e deve essere caratterizzato da un dosaggio minimo delle fibre al suo interno "non inferiore allo 0.3% in volume".
La lunghezza delle fibre deve essere compatibile con il copriferro e l'interferro ed essere proporzionata alla dimensione massima dell'aggregato. E' consigliata una lunghezza della fibra non inferiore a 1,5 volte la dimensione massima dell'aggregato. In presenza di un rinforzo ibrido (costituito da fibre di diversa tipologia e lunghezza) l'annotazione precedente è da riferirsi alla fibra di maggior lunghezza.
L'aggiunta di fibre disperse in una matrice cementizia ne modifica le proprietà meccaniche, contrastando l'apertura progressiva delle fessure e conferendo al conglomerato cementizio (calcestruzzo o malta), dopo la fessurazione, una significativa resistenza residua a trazione. In particolare, verificatasi la fessurazione della matrice, le fibre sono in grado di manifestare il proprio contributo, conferendo al composito una resistenza post-fessurativa, praticamente assente nella matrice senza fibre.
Il FRC quindi può essere utilizzato in tutti quei contesti in cui il progettista ritenga utile conferire al materiale una significativa resistenza residua a trazione residua.

20.4.5.10.2 Classificazione

Per i calcestruzzi fibrorinforzati dovranno essere rispettate le prescrizioni, oltre a quelle richieste per i calcestruzzi tradizionali, qui di seguito indicate:

- classe di tenacità (resistenza opposta dal materiale all'avanzamento del processo di frattura)
- limite di proporzionalità (resistenza a trazione corrispondente al limite di proporzionalità)

20.4.5.10.2.1 Classe di tenacità

La classe di tenacità di un FRC viene definita in sede di progetto da un numero che rappresenta la resistenza nominale per f_{R1k} e da una lettera che rappresenta l'intervallo di valori in cui ricade il rapporto f_{R3k}/f_{R1k}.
La resistenza f_{R1k}, espressa in MPa, corrisponde alla resistenza alla resistenza a trazione residua valutata in corrispondenza dell'apertura dell'intaglio (CMOD) pari a 0,5 mm (EN 14651) ed è definita

dal numero appartenente alla seguente successione, immediatamente inferiore al valore di f_{R1k} determinato sperimentalmente (EN 14651):

1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0, 8.0, 10.0, 12.0, 14.0 [MPa]

La resistenza f_{R3k}, espressa in MPa, corrisponde alla resistenza alla resistenza a trazione residua valutata in corrispondenza dell'apertura dell'intaglio (CMOD) pari a 2,5 mm (EN 14651).
Il rapporto f_{R3k}/f_{R1k} viene invece indicato con una delle lettere a, b, c, d, e, ciascuna delle quali indica un intervallo di valori qui di seguito riportati:

"a" per f_{R3k}/f_{R1k} = 0.5
"b" per f_{R3k}/f_{R1k} = 0.7
"c" per f_{R3k}/f_{R1k} = 0.9
"d" per f_{R3k}/f_{R1k} = 1.1
"e" per f_{R3k}/f_{R1k} = 1.3

Nella tabella seguente sono riportati i valori di f_{R3k} in MPa, in funzione del valore di f_{R1k} e del rapporto f_{R3k}/f_{R1k}.

		f_{R1k} [MPa]											
		1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0	6.0	8.0	10.0	12.0	14.0
Classificazione sulla base del rapporto $\frac{f_{R3k}}{f_{R1k}}$	a	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	2.00	2.50	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00
	b	0.70	1.05	1.40	1.75	2.10	2.80	3.50	4.20	5.60	7.00	8.40	9.80
	c	0.90	1.35	1.80	2.25	2.70	3.60	4.50	5.40	7.20	9.00	10.80	12.60
	d	1.10	1.65	2.20	2.75	3.30	4.40	5.50	6.60	8.80	11.00	13.20	15.40
	e	1.30	1.95	2.60	3.25	3.90	5.20	6.50	7.80	10.40	13.00	15.60	18.20

Ad esempio, per un FRC con classe di tenacità 2.5c si avrà f_{R1k} = 2.50 MPa, f_{R3k} = 2.25 MPa e rapporto f_{R3k}/f_{R1k} = 0.9 (classe c).

20.4.5.10.2.2 Limite di proporzionalità (tensione corrispondente)

La tensione corrispondente al limite di proporzionalità ($f^f_{ct,L}$) è convenzionalmente definita, (EN 14651), come:

$$f^f_{ct,L} = \frac{3F_L L}{2bh^2_{sp}}$$

dove:
F_L = massima forza applicata al provino sottoposto a prova (in Newton)
L = distanza fra i punti di appoggio del provino sottoposto a prova
b = larghezza del provino in millimetri
h_{sp} = distanza tra l'apice dell'intaglio e la parte superiore del provino in millimetri

20.5 Criteri di accettazione dei costituenti le miscele

Devono essere utilizzati solo costituenti di idoneità stabilita per il particolare impiego previsto per il calcestruzzo conforme alla norma europea UNI EN 206 e/o altre di riferimento, in applicazione del § 11.1 delle NTC2018.
Nel caso in cui per un particolare costituente non vi sia una norma europea che si riferisca specificatamente all'utilizzo di questo costituente nel calcestruzzo, l'idoneità può essere stabilita da:

- un Benestare tecnico europeo che si riferisca in modo specifico all'impiego del costituente nel calcestruzzo;

- disposizioni vigenti nel luogo di impiego del calcestruzzo che si riferiscono specificatamente all'utilizzo del costituente nel calcestruzzo.

Si precisa che le specifiche dei calcestruzzi per uso speciale di cui al § 20.4.5 sono da interdersi prioritarie rispetto a quelle indicate nei paragrafi a seguire. Inoltre, per il calcestruzzo fibrorinforzato qualora lo stesso rivesta carattere strutturale, il direttore lavori, in fase di accettazione, deve verificare che ciascuna miscela omogenea fibrorinforzata possegga Certificato di Validazione Tecnica (CVT) rilasciato dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici in corso di validità.

20.5.1 Aggregati

20.5.1.1 Generalità sulla conformità e sulla scelta degli aggregati

L'idoneità è stabilita per:

- Aggregati naturali normali, aggregati pesanti e loppa d'altoforno raffreddata in aria conformi alla UNI 8520-2 ed alla UNI EN 12620;
- Aggregati leggeri conformi alla UNI EN 13055-1. La UNI 11013 definisce una procedura di prova per la valutazione delle proprietà degli aggregati leggeri in calcestruzzo;
- Aggregati di recupero definiti nei punto 3.1.2.14 e 3.1.2.15 e utilizzati in conformità al punto 5.2.3.3. della UNI EN 206:2021;
- Aggregati industriali e riciclati conformi alla UNI 8520-2 e alla UNI 12620.

Saranno impiegati esclusivamente aggregati ottenuti dalla lavorazione di materiali naturali, artificiali, di recupero o provenienti da processi di riciclo muniti di Attestato di conformità CE alla norma europea armonizzata:

- UNI EN 12620 per i quali il produttore attui un controllo di produzione in fabbrica certificato da un Organismo notificato e dotato di sistema di attestazione della conformità degli aggregati di tipo 2+;
- UNI EN 13055 per gli aggregati leggeri per i quali il produttore attui un controllo di produzione in fabbrica certificato da un Organismo notificato e dotato di sistema di attestazione della conformità degli aggregati di tipo 2+ nei casi di impego per uso strutturale e 4 per usi non strutturali. Si specifica che è definito aggregato leggero quel materiale granulare di origine minerale avente massa volumica dei granuli non maggiore di 2.000 kg/m^3 o una massa volumica in mucchio non maggiore di 1.200 kg/m^3.

L'aggregato grosso proveniente da riciclo può essere utilizzato secondo i limiti di cui al prospetto 4 della norma UNI 11104:2025 di seguito riproposto per praticità in funzione del tipo di aggregato riciclato, della classe di resistenza a compressione del calcestruzzo e della classe di esposizione ambientale.

Tipologie di aggregato		Classe di resistenza	% massima di sostituzione								
			Classe di esposizione								
			X0	XC1 XC2 XC3	XC4	XS1 XS2 XS3	XD1	XD2 XD3	XF1 XF2 XF3 XF4	XA1	XA2 XA3
Tipo	Rc_{90}, Rcu_{95}, Rb_{10},	≥C12/15	60%	--	--	--	--	--	--	--	--

A	Ra_{1-}, FL_{2-}, Rg_{1-}	≤C20/25									
		≤C30/37	30%	30%	--	--	30%	--	30%	30%	--
		≤C45/55	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%
Tipologie di aggregato		Classe di resistenza	% massima di sostituzione								
			Classe di esposizione non applicate								
Tipo A Tipo B	Rc_{90}, Rcu_{95}, Rb_{10}, Ra_{1-}, FL_{2-}, Rg_{1-} Rc_{50}, Rcu_{70}, Rb_{30}, Ra_{5-}, FL_{2-}, XRg_{2-}	C8/10	100%								
	Rc: calcestruzzo, prodotti di calcestruzzo e malta; Ru: aggregati non legati, aggregati naturali, aggregati legati con leganti idraulici; Rb: Frammenti di mattoni o tegole in argilla, frammenti di mattoni silicei, frammenti di calcestruzzo aerato non galleggiante; Ra: materiali bituminosi; Rg: vetro FL: materiale lapideo galleggiante (in volume); X: altri materiali: coesivi (argilla e terra); metallici ferrosi e non ferrosi; gesso, plastica e gomma, legno non galleggiante										

L'aggregato fine o misto proveniente da riciclo può essere utilizzato secondo i limiti di cui al prospetto 5 della norma UNI 11104:2025 di seguito riproposto per praticità in funzione del tipo di aggregato riciclato, della classe di resistenza a compressione e della classe di esposizione ambientale.

Tipologie di aggregato	Classe di resistenza	% massima di sostituzione								
		Classe di esposizione								
		X0	XC1 XC2 XC3	XC4	XS1 XS2 XS3	XD1	XD2 XD3	XF1 XF2 XF3 XF4	XA1	XA2 XA3
Aggregato fine o misto riciclato derivato da impianti di produzione di aggregato di riciclo grossi di tipo A	≥C12/15 ≤C20/25	30%	--	--	--	--	--	--	--	--
	≤C30/37	15%	15%	--	--	15%	--	15%	15%	--
	≤C45/55	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%
Aggregato riciclato proveniente da impianti di produzione di aggregati di riciclo grossi di tipo A e B	C8/10	< 100%								

Il tipo di aggregato e le categorie, per esempio granulometria, appiattimento, resistenza al gelo/disgelo, resistenza all'abrasione, contenuto di fini, devono essere selezionati tenendo conto di quanto segue:

- esecuzione dell'opera;
- impiego previsto del calcestruzzo;
- condizioni ambientali alle quali il calcestruzzo deve essere esposto;
- tutti i requisiti per finiture superficiali ad aggregato esposto o per finiture all'utensile.

Per migliorare alcune proprietà del calcestruzzo o per ottenere proprietà speciali, è ammesso l'utilizzo di filler che è definito come un aggregato la maggior parte del quale passa allo staccio di 0,063 mm.

20.5.1.2 Controlli sugli aggregati

20.5.1.2.1 Controlli documentali

In fase di prequalifica per ogni tipo di aggregato selezionato e per ogni fornitore deve essere consegnato alla Direzione Lavori la Dichiarazione di Prestazione e la marcatura CE ai sensi del regolamento 305/2011 con le informazioni contenute nella figura ZA.1 della norma UNI EN 12620 o contenute nel prospetto ZA.1.1 (aggregati leggeri) e ZA.1.2 (filler aggregato leggero) della norma UNI EN 13055 nel rispetto dei requisiti geometrici, fisici e chimici di seguito individuati. Laddove la Dichiarazione di Prestazione non riporti tali informazioni, l'Appaltatore deve fornire un certificato di laboratorio, con data non antecedente le frequenze riportate in appendice H della UNI EN 12620 o appendice G della UNI EN 13055, che attesti la rispondenza al requisito di capitolato.
Fino al completamento delle operazioni di getto, su richiesta del Direttore dei Lavori, l'Appaltatore dovrà consegnare altresì:

- copia in formato pdf delle bolle di accompagnamento di tutte o parti delle forniture di aggregati approvvigionate all'impianto e la Dichiarazione di Prestazione CE;
- copia delle prove di autocontrollo del produttore previste in appendice H della UNI-EN 12620 o appendice G della UNI EN 13055.

20.5.1.2.2 Controlli dei requisiti geometrici, fisici e chimici per aggregati conformi alla UNI EN 12620

Le NTC2018 al paragrafo 11.2.9.2 prescrivono controlli di accettazione minimi in capo alla Direzione dei Lavori di seguito riassunti.

ID	Descrizione prova	Limiti di accettabilità		
		Norma	Parametro	Valore/Tolleranza
1. REQUISITI FISICI-GEOMETRICI (*)				
1.1	Granulometria dell'aggregato (UNI EN 933-2)	§ 4 UNI 8520-2	categorie prosp. 2,3,5,6 UNI EN 12620	valori 2,3,5,6 UNI EN 12620 tolleranze prosp. 3,4
1.2	Contenuto dei fini (polveri) passante al vaglio 63 µm (UNI EN 933-2)	prosp. 2 UNI 8520-2	Aggr. grossi – non frantum. o frantum. da roccia Aggr. grossi - frantum. da roccia Aggr. grossi - riciclato Tipo A Aggr. grossi - riciclato Tipo B Aggr. grossi - industriale Sabbia - non frantumato Sabbia - frantum. da depositi alluvion. Sabbia - frantum. da roccia di banchi omogenei Sabbia - aggr. riciclato da solo cls Sabbia - aggr. riciclato da demolizioni Sabbia - agg. industriale Misto nat. 0/8 non frantumato da depositi alluvionali Aggr. frazione unica non frantum. o	≤ 1,5% (≤$f_{1,5}$) ≤ 4% (≤f_4) ≤ 4% (≤f_4) ≤ 4% (≤f_4) ≤ 1,5% (≤$f_{1,5}$) ≤ 3% (≤f_3) ≤ 10% (≤f_{10}) ≤16% (≤f_{16}) ≤ 10% (≤f_{10}) ≤ 3% (≤f_3) ≤ 3% (≤f_3) ≤ 3% (≤f_3)

ID	Descrizione prova	Limiti di accettabilità		
		Norma	Parametro	Valore/Tolleranza
			frantum. da depositi alluvionali Aggr. frazione unica misto - frantum. da roccia Aggr. frazione unica misto – riciclato da solo cls Aggr. frazione unica misto – riciclato da demolizioni Aggr. frazione unica misto – industriale	≤ 3% (≤f_3) ≤ 11% (≤f_{11}) ≤ 10% (≤f_{10}) ≤ 3% (≤f_3) ≤ 3% (≤f_3)
1.3	Granulometria del filler (UNI EN 933-10)	prosp. 7 UNI 12620	Passante setaccio 2 mm Passante setaccio 0,125 mm Passante setaccio 0,063 mm	100 % Da 85 a 100% Da 70 a 100% per tolleranza prosp. 7
1.4	Resistenza alla frammentazione aggregati grossi (UNI EN 1097-2) **Valori raccomandati non obbligatori**	Valori raccomandati Prospetto E – EN206; allegato E 12620 UNI 8520-2 Prospetto 5	Per aggregati di qualsiasi origine – inclusi aggregati riciclati - con cls con Rck ≤ C45/55 Per aggregati naturali destinati a cls con classe di resistenza maggiore o uguale a C50/60	≤ 50 - LA_{50} ≤ 30 - LA_{30}
1.5	Indice di appiattimento (UNI EN 1097-2) **Valori raccomandati non obbligatori**	Valori raccomandati Prospetto E – EN206	--	≤ 50 - FI_{50} Nessuna limitazione fermo restando il rispetto dei requisiti reologici e meccanici del conglomerato cementizio
2. REQUISITI CHIMICI				
2.1	Analisi petrografica aggregati naturali (UNI EN 932/3)	§4.3 e prosp. 1 UNI 8520-2 UNI 8520-2 Prospetto 1-4	Pirite, marcasite, pirrotina Minerali potenzialmente reattivi agli alcali	Assenza di granuli di dimensioni > 2mm Classificazione potenziale reattività UNI 8520-22
2.2	Contenuto solfati solubili in acido - gesso anidrite (p.to 12 UNI EN 1744/1)	§6.3.1 e prosp. 21 UNI 12620 UNI 8520-2 Prospetto 4	Aggregato grosso Aggregati fini e filler	≤ 0,2% ($AS_{0,2}$) ≤ 0,8% ($AS_{0,8}$)
2.3	Contenuto totale di zolfo (p.to 11 UNI EN 1744/1)	§6.3.2 UNI 12620 UNI 8520-2 Prospetto 4	per aggregati naturali e filler per loppe altoforno in presenza di solfuri ossidabili	≤ 1% ≤ 2% ≤ 0,1%
2.4	Contenuto di solfato idrosolubile (UNI EN 1744/1)	§6.3.3 e prosp. 22 UNI 12620 UNI 8520-2 Prospetto 4	Aggregati riciclati	≤ 0,2% ($SS_{0,2}$)

(*) All'impianto di betonaggio dovranno essere impiegate almeno tre dimensioni dell'aggregato delle categorie Gc85/20 per Dmax fino a 16 mm, Gc90/15 per Dmax maggiore di 16 mm e Gf85 per le sabbie (UNI EN 12620). In assenza di indicazioni nel progetto la dimensione massima (Dmax) dell'aggregato deve essere tale da permettere che il conglomerato possa riempire ogni parte del manufatto; dovrà pertanto risultare:

- < di 1/4 della dimensione minima delle strutture;
- < della spaziatura minima tra le barre di armatura (interferro minimo), diminuita di 5 mm;
- < di 1,3 volte lo spessore del copriferro

Le prove in sede di prequalifica e per ogni cambiamento di cava o materiali nel corpo di cava, e comunque a discrezione della Direzione Lavori, dovranno essere effettuate a cura e onere del Produttore ogni 10000 m^3 di calcestruzzo. In particolare, la DL potrà prescrivere l'esecuzione delle

prove di cui ai punti 2.1-2.4 della Tabella precedente con frequenze molto più brevi di quella sopra indicata.

Inoltre, i seguenti requisiti, per cui le norme UNI fissano dei limiti di accettabilità ma per cui le NTC2018 non impongono un obbligo di controllo in fase di accettazione, devono comunque essere obbligatoriamente soddisfatti e dichiarati dal produttore nella Dichiarazione di Prestazione CE qualora previsto, o in alternativa in apposito certificato emesso da un laboratorio, con data non antecedente le frequenze riportate in appendice H della UNI EN 12620.
La Direzione dei Lavori potrà effettuare dei controlli su questi seguenti requisiti all'impianto nel caso si riscontrassero anomalie:

- di una delle verifiche eseguite nella fase di qualifica all'impianto delle miscele cementizie di cui al § 20.8.2 rispetto alle previsioni di prequalifica;
- di una delle prove sui conglomerati cementizi freschi di cui ai §§ 20.10.2 e 20.10.4.1;
- sulla resistenza caratteristica a 28 gg di cui al § 20.10.6.
- non vengano fornite, quando richieste, le prove di autocontrollo del produttore di cui al § 20.5.1.2.1

ID	Descrizione prova	Limiti di accettabilità		
		Norma	Parametro	Valore/Tolleranza
3. REQUISITI AGGIUNTIVI PER AGGREGATI UTILIZZATI IN CLS CON CLASSE DI ESPOSIZIONE XF				
3.1	Resistenza al gelo disgelo aggregato grosso (UNI EN 1367-1)	Prospetto 6 UNI 11104 e prospetto 5 UNI 8520-2	Perdita in massa dopo 10 cicli per le classi di esposizione XF1, XF2, XF3 e XF4	Categoria < F2 per le classi di esposizione XF1, XF2, XF3; Categoria F1 per XF4 oppure aggregati con assorbimento inferiore o uguale all'1%
3.2	Resistenza al gelo disgelo dell'aggregato grosso in presenza di sale UNI EN 1367-6) – **Valori raccomandati non obbligatori**	Prospetto 6 UNI 11104 prospetto 5 UNI 8520-2	Perdita in massa dopo 10 cicli per le classi di esposizione XF2 e XF4	≤ 2% - F_{NaCl-2}
3.3	Assorbimento d'acqua aggregato grosso (UNI EN 1097-6)	prospetto 3 UNI 8520-2	Per le sole classi di esposizione XF1, XF2, XF3 e XF4	WA24 ≤ 1,0% (se non soddisfatto adottare la classe di gelività di cui al punto 3.1)
4. LIMITI DI ALTRI REQUISITI CHE DEVONO ESSERE DICHIARATI E RISPETTATI DAL PRODUTTORE				
4.1	Massa volumica media del granulo per aggregati naturali e industriali (UNI EN 1097-6)	prospetto 3 UNI 8520-2	Massa volumica in condizioni di saturazione superficie asciutta	p_{ssd} ≥ 2500 kg/m^3
4.2	Massa volumica media del granulo per aggregati grossi riciclati (UNI EN 1097-6)	prospetto 3 UNI 8520-2	Massa volumica dei granuli essiccati in stufa: aggr. grossi Tipo A, fini/misti di solo cls: aggr. grossi Tipo B, fini misti di costituenti vari:	 p_{rd} ≥ 2.100 kg/m^3 p_{rd} ≥ 1.700 kg/m^3
4.3	Contenuto di ioni di cloruro idrosolubili (p.to 7 UNI EN 1744-1)	prospetto 4 UNI 8520-2	--	Nessun limite fermo restando il requisito che il contenuto di cloruri solubili nel calcestruzzo dovrà

ID	Descrizione prova	Limiti di accettabilità		
		Norma	Parametro	Valore/Tolleranza
				risultare inferiore ai valori riportati nella tabella di cui al § 20.4.3
4.4	Contenuto di ioni cloruro solubili in acido (p.to 7 UNI EN 1744-5)	prospetto 4 UNI 8520-2	Per gli aggregati riciclati	Nessun limite fermo restando il requisito che il contenuto di cloruri solubili nel calcestruzzo dovrà risultare inferiore ai valori riportati nella tabella di cui al § 20.4.3
4.5	Costituenti che alterano la presa e l'indurimento del calcestruzzo (P.to 15.1 e15.2 della UNI EN 1744-1)	§ 6.4.1 UNI EN 12620 Prospetto 4 UNI 8520-2	Determinazione del contenuto di sostanza umica Colore del liquido surnatante	Colore della soluzione più chiaro dello standard di riferimento
4.6	Costituenti che alterano la presa e l'indurimento del calcestruzzo per aggregati riciclati (UNI EN 1744-6)	Prospetto 23 UNI EN 12620 prospetto 4 UNI 8520-2	Per gli aggregati riciclati Variazione del tempo di presa t_e	≤ 10 – A_{10} Categoria A3 prospetto 23 UNI EN 12620
4.7	Contenuto contaminanti leggeri per strutture in calcestruzzo faccia vista con valenza estetica e pavimentazioni in calcestruzzo (UNI EN 1744-1)	prospetto 5 UNI 8520-2	Aggregati fini Aggregati grossi	≤ 0,25% ≤ 0,05%
4.8	Costituenti potenzialmente reattivi in presenza di alcali (UNI 8520-22)[a)]	prospetto 4 UNI 8520-2	Espansione con prova accelerata su provini di malta	Espansione < 0.1%. Se espansione > 0,20% necessario fare prova espansione su prismi di malta
			Espansione con metodo del prisma di malta (se è superato il limite per la prova accelerata)	Espansione < 0,05% a 3 mesi oppure < 0,1% a 6 mesi Espansione < 0,4% dopo 365 giorni
5. ALTRI LIMITI PER IL FILLER CHE DEVONO ESSERE DICHIARATI E RISPETTATI DAL PRODUTTORE				
5.1	Filler - Massa volumica dei granuli (UNI EN 1097-7)	prospetto 6 UNI 8520-2	Massa volumica dei granuli essiccati in stufa	p_t > 2.000 kg/m^3 (*)
5.2	Filler - Contenuto di cloruri solubili in acqua (P.to 7 della UNI EN 1744-1)	prospetto 6 UNI 8520-2	Contenuto di cloruri solubili in acqua	≤ 0,03%
5.3	Filler - Contenuto di solfati solubili in acido (P.to 12 della UNI EN 1744-1)	prospetto 6 UNI 8520-2	Contenuto di solfati solubili in acido	≤ 0,8% – $AS_{0,8}$

ID	Descrizione prova	Limiti di accettabilità		
		Norma	Parametro	Valore/Tolleranza
5.4	Filler - Contenuto di zolfo totale (P.to 11 della UNI EN 1744-1)	prospetto 6 UNI 8520-2	Contenuto massimo di zolfo totale	≤ 1%
5.5	Filler – qualità dei fini – pulizia (appendice A della UNI EN 933-9)	prospetto 6 UNI 8520-2	Valore del blu metilene	MB_F ≤ 12 g/kg
5.6	Filler – Costituenti che alterano la presa e l'indurimento del calcestruzzo (P.to 15 della UNI EN 1744-1)	§ 6.4.1 UNI EN 12620	Determinazione del contenuto di sostanza umica Colore del liquido surnatante	Colore più chiaro di quelli normalizzati
(*) Filler con p_t ≤ 2.000 kg/m^3 devono essere classificati secondo la norma UNI EN 13055 a) Nel caso in cui la prova di espansione accelerata su provini di malta non risulti superata (l'espansione > 0,20%) l'impiego dell'aggregato per la produzione del calcestruzzo è subordinato alla prova di espansione su prismi di malta. Qualora, invece, la prova risulti superata (espansione < 0,10%), è comunque raccomandato l'utilizzo di cementi pozzolanici o d'altoforno, in alternativa, l'impiego di aggiunte minerali quali il fumo di silice				

La Direzione dei Lavori, a suo insindacabile giudizio, potrà altresì effettuare i controlli di questi ulteriori requisiti in quei cantieri ove sono previsti getti complessivi di miscele cementizie in opera di volume superiore a 10.000 mc oppure con cadenza semestrale.

20.5.1.2.3 Controlli dei requisiti geometrici, fisici e chimici per aggregati conformi alla UNI EN 13055 per uso non strutturale

Visto che gli aggregati leggeri sono un prodotto marcato CE, sono prodotti in un impianto in possesso di certificazione del sistema di controllo della produzione (FPC) e che le NTC2018 non prescrivono obblighi di accettazione da parte della Direzione Lavori non si prevede l'esecuzione di prove di laboratorio per il controllo del rispetto dei requisiti né in fase di accettazione, né in corso d'opera.
Tuttavia il produttore deve dichiarare la conformità degli aggregati delle caratteristiche riportate nei prospetti ZA.1.1 e ZA.1.2 della UNI 13055 di seguito elencate.

Prospetto ZA.1.1 UNI EN 13055 – aggregati leggeri (LWA)			
Caratteristiche essenziali	Riferimento alla UNI EN 13055	Classi e/o livelli di soglia	Note
Forma, granulometria e massa volumica dei granuli	5.2.1 Massa volumica in mucchio	-	Valore dichiarato
	5.2.2 Massa volumica dei granuli	-	Valore dichiarato
	5.3 Classe granulometria dell'aggregato	-	Dichiarata con la designazione (d/D)
	5.4 Granulometria	-	Distribuzione dichiarata
	5.7 Forma dei granuli	-	Descrizione
Assorbimento di acqua	5.9 Assorbimento di acqua	-	Valore dichiarato
Resistenza alla frammentazione / frantumazione	5.10 Granuli frantumati	-	Valore dichiarato
Percentuale di granuli frantumati	5.11 Resistenza alla disgregazione	-	Descrizione
Stabilità di volume	5.12 Resistenza alla disgregazione	-	Valore dichiarato
Durabilità al gelo / disgelo	5.13 Resistenza al gelo disgelo	-	Valore dichiarato
Composizione / contenuto	5.25.3 Cloruro	-	Valore dichiarato
	5.25.4.1 Solfato solubile in acido	-	Valore dichiarato
	5.25.4.2 Zolfo totale	-	Valore dichiarato
Purezza	5.25.7 Contaminati organici	Soglia	Passa

Durabilità alla reazione alcali – silice	5.25.8 Reattività alcali-silice	-	Dispo. vigenti nel luogo di impiego
Rilascio di sostanze pericolose	5.26 Sostanze pericolose	-	Dispo. vigenti nel luogo di impiego

Prospetto ZA.1.2 UNI EN 13055 – filler aggregato leggero (LWA)			
Caratteristiche essenziali	Riferimento alla UNI EN 13055	Classi e/o livelli di soglia	Note
Finezza, granulometria e massa volumica dei granuli	5.2.1 Massa volumica in mucchio	-	Valore dichiarato
	5.6 Granulometria del filler LWA	-	Dichiarata con la designazione
Stabilità di volume	5.12 Resistenza alla disgregazione	-	Valore dichiarato
Durabilità al gelo / disgelo	5.13 Resistenza al gelo disgelo	-	Valore dichiarato
Composizione / contenuto	5.25.3 Cloruro	-	Valore dichiarato
	5.25.4.1 Solfato solubile in acido	-	Valore dichiarato
	5.25.4.2 Zolfo totale	-	Valore dichiarato
Perdita al fuoco (solo per le ceneri)	5.25.5 Perdita al fuoco	-	Valore dichiarato
Purezza	5.25.7 Contaminati organici	Soglia	Passa
Durabilità alla reazione alcali – silice	5.25.8 Reattività alcali-silice	-	Dispo. vigenti nel luogo di impiego
Rilascio di sostanze pericolose	5.26 Sostanze pericolose	-	Dispo. vigenti nel luogo di impiego

20.5.1.2.4 Controlli dei requisiti geometrici, fisici e chimici per aggregati conformi alla UNI EN 13055 per uso strutturale

Le NTC2018 al paragrafo 11.2.9.2 prescrivono controlli di accettazione minimi in capo alla Direzione dei Lavori che sono applicati anche per gli aggregati leggeri. Pertanto, le prove di cui al § 20.5.1.2.2 e di seguito riepilogate, sono da prevedersi anche per gli aggregati leggeri. Per i limiti di accettabilità si assumono i valori dichiarati dal produttore.

ID	Descrizione prova	Limiti di accettabilità		
		Norma	Parametro	Valore/Tolleranza
1. REQUISITI FISICI-GEOMETRICI				
1.1	Granulometria dell'aggregato (UNI EN 933-1)	ZA.1.1	--	Verifica del valore dichiarato dal produttore
1.2	Contenuto dei fini (polveri) passante al vaglio 63 µm (UNI EN 933-1)	Non applicabile perché non c'è obbligo di dichiarare un valore per questo requisito		
1.3	Granulometria del filler (UNI EN 933-10)	ZA.1.2	--	Verifica del valore dichiarato dal produttore
1.4	Resistenza alla frammentazione in mucchio (Appendice C UNI EN 13055)	ZA.1.1	--	Verifica del valore dichiarato dal produttore
1.5	Indice di appiattimento (UNI EN 1097-2)	Non applicabile perché non c'è obbligo di dichiarare un valore per questo requisito		
2. REQUISITI CHIMICI				
2.1	Analisi petrografica aggregati naturali (UNI EN 932/3)	Assunta quella del §4.3 e prosp. 1 UNI 8520-2	Pirite, marcasite, pirrotina Minerali potenzialmente reattivi agli alcali	Assenza > 2mm Classificazione potenziale reattività
2.2	Contenuto solfati solubili in acido - gesso anidrite (p.to 12 UNI EN 1744/1)	ZA.1.1	per aggregati e filler	Verifica del valore dichiarato dal produttore

ID	Descrizione prova	Limiti di accettabilità		
		Norma	Parametro	Valore/Tolleranza
2.3	Contenuto totale di zolfo (p.to 11 UNI EN 1744/1)	ZA.1.1	per aggregati e filler	Verifica del valore dichiarato dal produttore
2.4	Contenuto di solfato idrosolubile (UNI EN 1744/1)	Assunta quella del §6.3.3 e prosp. 22 UNI 12620	Per aggregati riciclati	≤ 0,2% ($SS_{0,2}$)

20.5.2 Cementi

20.5.2.1 Generalità sulla conformità e sulla scelta dei cementi

Per i conglomerati cementizi oggetto della presente voce di capitolato, devono impiegarsi i leganti idraulici previsti dalle disposizioni vigenti in materia, dotati di marcatura CE e DoP in conformità alla norma europea armonizzata UNI EN 197-1 con sistema di attestazione della conformità di tipo 1+.
L'impiego dei cementi richiamati all'art. 1, lettera C della legge 26 maggio 1965 n. 595, è limitato ai calcestruzzi per sbarramenti di ritenuta. Inoltre, in ottica di miglioramento della sostenibilità dei calcestruzzi si potrà far ricorso anche ai cementi conformi alle norme UNI EN 197-5 e UNI EN 197-6. Per questi cementi – non provvisti di marcatura CE – il loro impiego è subordinato al possesso di un certificato di validità tecnica (CVT) rilasciato dal CSLPP.
Per la realizzazione di opere massive dove è richiesto un basso calore di idratazione devono essere utilizzati i cementi speciali con calore di idratazione molto basso dotati di marcatura CE in conformità alla norma europea armonizzata UNI EN 14216 o contraddistinti dalla sigla LH contemplati dalla norma UNI EN 197-1. In ogni caso devono essere rispettate le prescrizioni di cui al $20.4.5.5
Specificamente in ambiente solfatico, per cui è prevista una classe di esposizione XA, si devono impiegare cementi resistenti ai solfati conformi alla norma europea armonizzata UNI EN 197-1 e/o alla norma UNI 9156 nel rispetto dei requisiti fissati dalla norma UNI 11104:2025 (ARS per le classi XA2 e XA3) o, in condizioni di dilavamento, cementi resistenti al dilavamento conformi alla norma UNI 9606.
Per strutture ricadenti in classe di esposizione XD e XS esposte all'azione dei cloruri come, ad esempio, le solette da ponte e i cordoli delle barriere, è obbligatorio l'impiego di cementi pozzolanici o d'altoforno, come specificato anche nella UNI 11417-1. Nel caso di possibile rischio di reazione alcali-aggregati, è necessario l'impiego di cementi con contenuto di alcali ridotto e/o di tipo pozzolanico/d'altoforno, conformemente a quanto indicato nella UNI 11417-2.
Il cemento deve essere selezionato fra quelli di cui è stabilità l'idoneità tenendo conto di quanto segue:

- Esecuzione dell'opera;
- Impiego previsto del calcestruzzo;
- Condizioni di stagionatura;
- Dimensione della struttura;
- Condizioni ambientali alle quali la struttura deve essere esposta e quindi in funzione della classe di esposizione individuata dal progettista;
- Potenziale reattività dell'aggregato agli alcali rilasciati dai costituenti.

È escluso l'impiego di cementi alluminosi.

20.5.2.2 Tipi di cemento

Al fine di agevolare la scelta dei prodotti ed il conseguente controllo documentale si riporta la classificazione dei tipi di cemento secondo la UNI EN 197-1 che definisce 27 distinti prodotti di cementi comuni (prospetto 1), 7 cementi comuni resistenti ai solfati (prospetto 2), 9 classi di resistenza (prospetto 3) e secondo la norma UNI EN 197-5 e secondo la norma UNI EN 197-6.

Prospetto 1 UNI EN 197-1 – i 27 prodotti della famiglia dei cementi comuni:

Tipi principali	Denominazione dei 27 prodotti (tipi di cemento comune)		Composizione (percentuale in massa[a])									
			Costituenti principali									Costituenti secondari
			Clinker	Loppa di altoforno	Fumo di silice	Pozzolana		Cenere volante		Scisto calcinato	Calcare	
						naturale	naturale calcinata	silicea	calcarea			
			K	S	D[b]	P	Q	V	W	T	L	LL	
CEM I	Cemento Portland	CEM I	95-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
CEM II	Cemento Portland alla loppa	CEM II/A-S	80-94	6-20	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-S	65-79	21-35	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
	Cemento Portland ai fumi di silice	CEM II/A-D	90-94	-	6-10	-	-	-	-	-	-	-	0-5
	Cemento Portland alla pozzolana	CEM II/A-P	80-94	-	-	6-20	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-P	65-79	-	-	21-35	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/A-Q	80-94	-	-	-	6-20	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-Q	65-79	-	-	-	21-35	-	-	-	-	-	0-5
	Cemento Portland alle ceneri volanti	CEM II/A-V	80-94	-	-	-	-	6-20	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-V	65-79	-	-	-	-	21-35	-	-	-	-	0-5
		CEM II/A-W	80-94	-	-	-	-	-	6-20	-	-	-	0-5
		CEM II/B-W	65-79	-	-	-	-	-	21-35	-	-	-	0-5
	Cemento Portland allo scisto calcinato	CEM II/A-T	80-94	-	-	-	-	-	-	6-20	-	-	0-5
		CEM II/B-T	65-79	-	-	-	-	-	-	21-35	-	-	0-5
	Cemento Portland al calcare	CEM II/A-L	80-94	-	-	-	-	-	-	-	6-20	-	0-5
		CEM II/B-L	65-79	-	-	-	-	-	-	-	21-35	-	0-5
		CEM II/A-LL	80-94	-	-	-	-	-	-	-	-	6-20	0-5
		CEM II/B-LL	65-79	-	-	-	-	-	-	-	-	21-35	0-5
	Cemento Portland composito[c]	CEM II/A-M	80-88	◄ - - - - - - - - - - - - 12-20 - - - - - - - - - - - - ►									0-5
		CEM II/B-M	65-79	◄ - - - - - - - - - - - - 21-35 - - - - - - - - - - - - ►									
CEM III	Cemento d'altoforno	CEM III/A	35-64	36-65	-	-		-	-	-	-	-	0-5
		CEM III/B	20-34	66-80	-	-		-	-	-	-	-	0-5
		CEM III/C	5-19	81-95	-	-		-	-	-	-	-	0-5
CEM IV	Cemento pozzolanico[c]	CEM IV/A	65-89	-	◄ - - - - - 11-35 - - - - - ►					-	-	-	0-5
		CEM IV/B	45-64	-	◄ - - - - - 36-55 - - - - - ►					-	-	-	0-5
CEM V	Cemento composito[c]	CEM V/A	40-64	18-30	-	◄ - - 18-30 - - ►			-	-	-	-	0-5
		CEM V/B	20-38	31-49	-	◄ - - 31-49 - - ►			-	-	-	-	0-5

a) I valori del prospetto si riferiscono alla somma dei costituenti principali e secondari.
b) La proporzione di fumi di silice è limitata al 10%.
c) Nei cementi Portland compositi CEM II/A-M e CEM II/B-M, nei cementi pozzolanici CEM IV/A e CEM IV/B e nei cementi compositi CEM V/A e CEM V/B i costituenti principali diversi dal clinker devono essere dichiarati mediante la designazione del cemento (per esempio vedere punto 8).

Prospetto 2 UNI EN 197-1 – i 7 prodotti della famiglia resistenti ai solfati.

Tipi principali	Denominazione dei sette prodotti (tipi di cemento comune resistente ai solfati)	Composizione (percentuale in massa[a])	
		Costituenti principali	

			Clinker K	Loppa granulata d'altoforno S	Pozzolana naturale P	Cenere volante silicea V	Costitenti secondari
CEM I	Cemento Portland Resistente ai solfati	CEM I-SR 0 CEM I-SR 3 CEM I-SR 5	95-100				0-5
CEM III	Cemento d'altoforno resistente ai solfati	CEM III/B-SR	20-34	66-80			0-5
		CEM III/C-SR	5-19	81-95			0-5
CEM IV	Cemento[b)] pozzolanico resistente ai solfati	CEM IV/A-SR	65-79		← -- 21-35-- →		0-5
		CEM IV/B-SR	45-64		← -- 36-55-- →		0-5

c) I valori del prospetto si riferiscono alla somma dei costituenti principali e secondari
d) Nei cementi pozzolanici resistenti ai solfati, tipi CEM IV/A-SR e CEMIV/B-SR, i costituenti principali diversi dal clinker devono essere dichiarati mediante la designazione del cemento.

Prospetto 3 UNI EN 197-1 – Requisiti meccanici e fisici espressi come resistenze a compressione, tempi di presa e stabilità:

Classe di resistenza	Resistenza a compressione Mpa				Tempo di inizio presa	Stabilità (espansione)
	Resistenza iniziale		Resistenza normalizzata			
	2 giorni	7 giorni	28 giorni		min	mm
32,5 L[a)]	-	≥ 12,0	≥ 32,5	≤ 52,5	≥ 75	≤ 10
32,5 N	-	≥ 16,0				
32,5 R	≥ 10,0	-				
42,5 L[a)]	-	≥ 16,0	≥ 42,5	≤ 62,5	≥ 60	
42,5 N	≥ 10,0	-				
42,5 R	≥ 20,0	-				
52,5 L[a)]	≥ 10,0	-	≥ 52,5	-	≥ 45	
52,5 N	≥ 20,0	-				
52,5 R	≥ 30,0	-				

b) Classe di resistenza definita solo per i cementi CEM III

Prospetto 1 UNI EN 197-5

prospetto 1 **Cemento Portland-composito CEM II/C-M e Cemento Composito CEM VI**

Tipi principali	Denominazione dei prodotti (tipi di cemento)		Composizione (percentuale in massa) [a)]										
			Costituenti principali										Costituenti secondari
			Clinker	Loppa di altoforno	Fumo di silice	Pozzolana		Cenere Volante		Scisto calcinato	Calcare		
						naturale	naturale calcinata	silicea	calcarea				
	Nome	Denominazione	K	S	D [b)]	P	Q	V	W	T	L [c)]	LL [c)]	
CEM II	Cemento Portland- composito [d)]	CEM II / C-M	50-64	----------36-50----------									0-5
CEM VI	Cemento Composito	CEM VI (S-P)	35-49	31-59	-	6-20	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM VI (S-V)	35-49	31-59	-	-	-	6-20	-	-	-	-	0-5
		CEM VI (S-L)	35-49	31-59	-	-	-	-	-	-	6-20	-	0-5
		CEM VI (S-LL)	35-49	31-59	-	-	-	-	-	-		6-20	0-5

a) I valori nel prospetto si riferiscono alla somma dei costituenti principali e secondari.
b) Qualora utilizzati, la proporzione di fumi di silice è limitata al 6-10% in massa.
c) Qualora utilizzato, la proporzione di calcare (somma di L, LL) è limitata al 6-20% in massa.
d) Il numero di costituenti principali diversi dal clinker è limitato a due e questi costituenti principali devono essere dichiarati nella designazione del cemento (per gli esempi vedere il punto 6).

Tabella 1 UNI EN 197-6

Table 1 — Cement with recycled concrete fines

Main types	Notation of the products (types of cement)		Composition (percentage by mass) [a]											
			Main constituents											Minor additional constituents
			Clinker	Recycled concrete fines	Blast-furnace slag	Silica fume	Pozzolana		Fly ash		Burnt shale	Limestone		
							natural	natural calcined	siliceous	calcareous				
	Type name	Type notation	K	F	S	D [b]	P	Q	V	W	T	L [c]	LL [c]	
CEM II	Portland-recycled-fines cement	CEM II/A-F	80–94	6–20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0–5
		CEM II/B-F	65–79	21–35	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0–5
	Portland-composite cement [d]	CEM II/A-M	80–88	6–14	‹---------- 6–14 ----------›									0–5
		CEM II/B-M	65–79	6–29	‹---------- 6–29 ----------›									0–5
		CEM II/C-M	50–64	6–20	‹---------- 16–44 ----------›									0–5
CEM VI	Composite cement	CEM VI	35–49	6–20	31–59	—	—	—	—	—	—	—	—	0–5

[a] The values in the table refer to the sum of the main and minor additional constituents.

[b] In case of the use of silica fume, the proportion of silica fume is limited to 6 % to 10 % by mass.

[c] In case of the use of limestone, the proportion of the sum of limestone and recycled concrete fines (sum of L, LL and F) is limited to 35 % by mass.

[d] The number of main constituents other than clinker is limited to two and these main constituents shall be declared by designation of the cement (for examples, see Clause 6). In case of the use of both F and (L or LL) in the composition, the number of main constituents other than clinker is limited to three and these main constituents shall be declared by designation of the cement.

20.5.2.3 Controlli sul cemento

20.5.2.3.1 Controlli documentali

In fase di prequalifica, per ogni tipo di cemento selezionato e per ogni fornitore deve essere consegnato alla Direzione Lavori la Dichiarazione di Prestazione CE e la scheda tecnica indicante le caratteristiche chimico-fisiche del cemento che devono obbligatoriamente rispettare i requisiti della norma UNI EN 197-1-5-6 sinteticamente riportati nel § 20.5.2.3.2. I cementi conformi alle norme UNI EN 197-5 e UNI EN 197-6, per poter essere impiegati, dovranno essere in possesso di Certificato di Valutazione Tecnica (CVT) rilasciato dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, in conformità a quanto previsto dalle vigenti disposizioni normative.
I cementi, qualora immessi sul mercato da un distributore attraverso un centro di distribuzione, devono essere all'origine dotati della marcatura CE sopra richiamata. Il centro di distribuzione, così come definito nella norma UNI EN 197-2, deve possedere un'autorizzazione all'uso di detta marcatura concessa al distributore da un organismo di certificazione notificato, in base alle procedure della norma UNI EN 197-2, a dimostrazione che la conformità del prodotto marcato CE è

stata mantenuta durante le fasi di trasporto, ricevimento, deposito, imballaggio e spedizione, unitamente alla sua qualità ed identità.
Fino al completamento delle operazioni di getto, su richiesta del Direttore dei Lavori, l'Appaltatore dovrà consegnare:

- copia in formato pdf delle bolle di accompagnamento di tutte o parti delle forniture di cemento approvvigionate all'impianto e la Dichiarazione di Prestazione CE;
- copia delle prove di autocontrollo del produttore di cemento previste dal prospetto 6 della UNI-EN 197-1 con data non antecedente le frequenze riportate in detto prospetto ed i parametri statistici sugli ultimi 6 mesi di produzione.

20.5.2.3.2 Controlli dei requisiti chimici e meccanici

Visto che i cementi sono prodotti marcati CE, sono prodotti in un impianto in possesso di certificazione del sistema di controllo della produzione (FPC) e che le NTC2018 non prescrivono obblighi di accettazione da parte della Direzione Lavori non si prevede l'esecuzione di prove di laboratorio per il controllo del rispetto dei requisiti né in fase di accettazione, né in corso d'opera.
Tuttavia, la Direzione dei Lavori potrà effettuare dei controlli dei requisiti chimici e meccanici sul cemento in arrivo all'impianto nel caso si riscontrassero anomalie:

- di una delle verifiche eseguite nella fase di qualifica all'impianto delle miscele cementizie di cui al § 20.8.2 rispetto alle previsioni di prequalifica;
- di una delle prove sui conglomerati cementizi freschi di cui ai §§ 20.10.2 e 20.10.4.1;
- sulla resistenza caratteristica a 28 gg di cui al § 20.10.6;
- non vengano fornite, qualora richieste, le prove di autocontrollo del produttore di cemento di cui al § 20.5.2.3.1.

Per i cementi classificati in accordo alla UNI EN 197-5 e UNI EN 197-6, di recente introduzione per il confezionamento del calcestruzzo, si suggerisce che la Direzione Lavori preveda l'esecuzione di prove di laboratorio per il controllo del rispetto dei requisiti in fase di accettazione e in corso d'opera.
La Direzione dei Lavori potrà altresì, a suo insindacabile giudizio, effettuare i controlli dei requisiti chimici e meccanici sui tipi di cemento qualificati in quei cantieri ove sono previsti getti complessivi di miscele cementizie in opera di volume superiore a 10.000 mc oppure con cadenza semestrale.
Tali eventuali controlli verranno effettuati dalla Direzione dei Lavori sul cemento in arrivo presso l'impianto di prefabbricazione o presso l'impianto di preconfezionamento del conglomerato se esterno all'impianto di prefabbricazione in contraddittorio con l'Appaltatore. Il prelievo del cemento dovrà avvenire, in contraddittorio tra l'Appaltatore e la Direzione dei Lavori, al momento della consegna in conformità alla norma UNI EN 196-7.
Il campione di cemento prelevato sarà suddiviso in almeno tre parti di cui una verrà inviata ad un Laboratorio di cui all'art 59 del D.P.R. n. 380/2001 scelto dalla Direzione dei Lavori, un'altra è a disposizione dell'Appaltatore e la terza rimarrà custodita, in un contenitore sigillato, per eventuali controprove.
Le prove dei requisiti chimico-meccanici eventualmente disposte dalla Direzione Lavori sono di seguito riassunte:

ID	Descrizione prova	Limiti di accettabilità		
		Norma	Tipo di cemento	Valore/tolleranza
1. REQUISITI CHIMICI-DURABILITA'				
1.1	Perdita al fuoco - UNI EN 196-2	UNI EN 197-1 Tab4	per CEM I e CEM III	≤ 5,0%
1.2	Residuo insolubile - UNI EN 196-2		per CEM I e CEM III	≤ 5,0%
1.3	Solfati - UNI EN 196-2		per CEM I SR, CEM IV/A SR e CEM IV/B SR classi 32.5N, 32.5R e 42.5	<3% (+0,5)
			per CEM I, CEM II (tranne B-T), CEM IV e	≤ 3,5% (+0,5)

ID	Descrizione prova	Limiti di accettabilità		
		Norma	Tipo di cemento	Valore/tolleranza
			CEM V, per le classi 32.5N-32.5R-42.5N per CEM I SR, CEM IV/A SR e CEM IV/B SR classi 42.5R, 52.5N e 52.5R	
			per CEM I, CEM II (tranne B-T), CEM III (tranne III/C), CEM IV e CEM V, per le classi 42.5R-52.5N-52.5R;	≤ 4,0% (+0,5)
			per CEM II/B-T e CEM III/C	≤ 4,5% (+0,5)
1.4	Cloruri - UNI EN 196-2		il CEM III può contenere più dello 0,10% dichiarando il contenuto effettivo	≤ 0,10%
1.5	Pozzolanicità - UNI EN 196-5		per CEM IV tutte le classi (positiva a 8gg in caso di CEM IV SR)	esito positivo prova
1.6	Determinazione del contenuto di C_3A - UNI EN 196-2	UNI EN 197-1 Tab5	verifica solo nel caso di cementi resistenti ai solfati CEM I-SR0 CEM I-SR3 CEM I-SR5 CEM IV/A SR e CEM IV/B SR	 0% +1% <3%+1% <5%+1% <9%+1%

ID	Descrizione prova	Limiti di accettabilità		
		Norma	Tipo di cemento	Valore/tolleranza
2. REQUISITI MECCANICI E FISICI				
2.1	resistenza a compressione iniziale a 2 gg (N/mm^2)	UNI EN 197-1 Tab 3	per classe 32.5R-42.5N-52.5L per classe 42.5R-52.5N per classe 52.5R	≥10 (-2) ≥20 (-2) ≥30 (-2)
2.2	resistenza a compressione iniziale a 7 gg (N/mm^2)		per classe 32.5L per classe 32.5N per classe 42.5L	≥ 12 (-2) ≥ 16 (-2) ≥ 16 (-2)
2.3	resistenza a compressione normalizzata a 28 gg (N/mm^2)		per classe 32.5-32.5R per classe 42.5-42.5R per classe 52.5-52.5R	≥ 32,5 (-2,5) e ≤ 52,5 ≥ 42,5 (-2,5) e ≤ 62,5 ≥ 52,5 (-2,5)
2.4	tempo di inizio presa (minuti)		per classe 32.5L-32.N-32.5R per classe 42.5L-42.5N-42.5R per classe 52.5L-52.5N-52.5R	≥ 75 (-15) ≥ 60 (-10) ≥ 45 (-5)
2.5	Stabilità (espansione) (mm)		Per tutti i cementi	≤10
2.6	Calore idratazione (41h UNI EN 196/8, 7gg UNI EN 196/9)	UNI EN 197-1	Per tutti i cementi LH	≤270J/g (+30)

20.5.3 Acqua di impasto

20.5.3.1 Generalità sulla conformità

Per la produzione del calcestruzzo dovranno essere impiegate i seguenti tipi di acqua conformi all'ultima versione della Norma UNI EN 1008.

20.5.3.2 Controlli

20.5.3.2.1 Controlli documentali

Il produttore di calcestruzzo deve fornite alla Direzione Lavori il resoconto più recente in suo possesso di cui al § 7 della stessa norma oltre alla copia dei certificati di prova eseguiti:

a) descrizione del tipo e origine dell'acqua;
b) luogo del campionamento;
c) data e ora del campionamento;
d) nome del laboratorio e del responsabile della prova;
e) data delle prove;
f) risultati di prova e confronto con i requisiti della presente norma.

Il produttore deve fornire tale resoconto alla Direzione Lavori in fase di prequalifica e successivamente con frequenza semestrale fino al completamento delle operazioni di getto. La verifica in corso dei lavori è da eseguire in contraddittorio con la Direzione dei Lavori secondo i

contenuti del successivo § 20.5.3.2.2.

20.5.3.2.2 Controlli dei requisiti chimici e meccanici

Si riportano, nella tabella seguente, i requisiti che deve possedere l'acqua di impasto secondo la norma UNI EN 1008.

ID	Descrizione prova	Limiti di accettabilità		
		Norma	Parametro	Valore/Tolleranza
1. VALUTAZIONE PRELIMINARE				
1.1	Odore (§ 6.1.1 UNI 1008)	Prospetto 1 UNI 1008	--	Nessun odore. Ammesso un leggero odore di cemento e, laddove nell'acqua siano presenti scorie di altoforno, un leggero odore di idrogeno solforato
1.2	Colore (§ 6.1.1 UNI 1008)	Prospetto 1 UNI 1008	--	Incolore, giallo pallido
1.3	Presenza di detersivi e schiuma (§ 6.1.1 UNI 1008)	Prospetto 1 UNI 1008	--	Assenza di schiuma stabile per oltre 2 minuti dopo agitazione di 30 secondi
1.4	Osservazione visiva oli e grassi (§ 6.1.1 UNI 1008)	Prospetto 1 UNI 1008	--	Solo tracce visibili
1.5	Sostanza umica (§ 6.1.2 UNI 1008)	Prospetto 1 UNI 1008	Colore	Marrone giallastro o più pallido dopo l'aggiunta di NaOH.
1.6	PH (ISO 4316)	Prospetto 1 UNI 1008	--	≥ 4
1.7	Sostanza in sospensione	§ A4, Prospetto 1 UNI 1008	Acque di recupero cls: -Massa volumica -Materiale solido Acque da altre fonti -sedimento	 > 1,01 kg/l ≤ 1% in peso massa totale aggregati ≤ 4ml
1.8	Massa volumica (§ A.5.1 UNI 1008)	§ A.5.2 UNI 1008	Acque di recupero cls: -Massa volumica	 > 1,01 kg/l
2. PROVE CHIMICHE				
2.1	Contenuto di solfati (estratti UNI EN 196-2)	§ 4.3.2 UNI 1008	SO_4^{2-}	≤ 2000 mg/l
2.2	Contenuto di cloruri (estratti UNI EN 196-21)	Prospetto 2 UNI 1008	Cl^- -per c.a.p o malta per iniezione: -per c.a. o con elementi metallici inglobati: -per cls senza armatura:	 ≤ 500 mg/l ≤ 1000 mg/l ≤ 4500 mg/l
2.3	Contenuto di alcali (estratti UNI EN 196-21)	§ 4.3.3 UNI 1008	Sodio equivalente nell'acqua	≤ 1500 mg/l
2.4	Contenuto zuccheri	Prospetto 3 UNI 1008	--	≤ 100 mg/l
2.5	Contenuto di fosfati	Prospetto 3 UNI 1008	P_2O_5	≤ 100 mg/l
2.6	Contenuto di nitrati (ISO 7890-1)	Prospetto 3 UNI 1008	NO_3^-	≤ 500 mg/l
2.7	Piombo	Prospetto 3 UNI 1008	Pb^{2+}	≤ 100 mg/l
2.8	Zinco	Prospetto 3 UNI 1008	Zn^{2+}	≤ 100 mg/l
3. PROVE FISICO MECCANICHE (solo in presenza di sostanze di cui ai punti delle prove chimiche da 2.4 a 2.8)				
3.1	Confronto tempo iniziale di presa	§ 4.4 UNI	--	t.i.p.ap ≥ 1h

ID	Descrizione prova	Limiti di accettabilità		
		Norma	Parametro	Valore/Tolleranza
	provini cls con acqua produzione (t.i.p.ap) e acqua distillata (t.i.p.ad) (UNI EN 196-3 e §6.1.4 UNI 1008)	1008		t.i.p.ap ≤ 25% t.i.p.ad
3.2	Confronto tempo finale di presa provini cls con acqua produzione (t.f.p.ap) e acqua distillata (t.f.p.ad) (UNI EN 196-3 e §6.1.4 UNI 1008)	§ 4.4 UNI 1008	--	t.f.p.ap ≤ 12h t.f.p.ap ≤ 25% t.i.p.ad
3.3	Confronto resistenza a compressione a 7gg di provini con cls o malta con acqua produzione (Rck.7gg.ap) e acqua distillata (Rck.7gg.ad) (UNI EN 196-1, UNI 12390-3 e §6.1.4 UNI 1008)	§ 4.4 UNI 1008	--	Rck.7gg.ap ≥ 90% Rck.7gg.ad

Tuttavia, la Direzione dei Lavori potrà effettuare dei controlli ulteriori dei requisiti in conformità alla UNI EN 1008 nel caso si riscontrassero anomalie:

- di una delle verifiche eseguite nella fase di qualifica all'impianto delle miscele cementizie di cui al § 20.8.2 rispetto alle previsioni di prequalifica;
- di una delle prove sui conglomerati cementizi freschi di cui ai §§ 20.10.2 e 20.10.4.1;
- sulla resistenza caratteristica a 28 gg di cui al § 20.10.6.

20.5.4 Additivi

20.5.4.1 Generalità sulla conformità e sull'impiego degli additivi

Gli additivi sono utilizzati per modificare le proprietà della miscela nello stato fresco e/o indurito e devono essere muniti di attestato CE in conformità ai requisiti della norma UNI EN 934-2 come riportato nel paragrafo $11.2.9.4 delle NTC 2018 e con sistema di attestazione della conformità di tipo 2+. Gli additivi per calcestruzzo proiettato invece devono essere muniti di attestato CE in conformità ai requisiti della norma UNI EN 934-5 sempre con sistema di attestazione della conformità di tipo 2+.

~~Gli additivi non rientranti nella norma UNI EN 934-2 devono essere conformi alla norma UNI EN 934-1.~~

Tutti gli additivi che rientrano nello scopo e campo di applicazione della EN 934-2 e della EN 934-5 devono essere conformi ai requisiti generali del prospetto 1 della norma UNI EN 934-1 tra cui si segnala il divieto di utilizzare additivi con contenento di cloro totale e di cloruro solubile in acqua in misura maggiore dello 0,10% in massa dell'additivo stesso.

Il loro tipo e dosaggio dovrà essere definito in fase di qualifica dei conglomerati cementizi per ogni tipo di miscela anche tenendo conto della stagione d'impiego.

Se la quantità totale di additivi liquidi è maggiore di 3 l/mc di calcestruzzo, si deve tenere conto del suo contenuto di acqua quando si calcola il rapporto acqua cemento.

Nel caso in cui si utilizzi più di un additivo, vanno comunque rispettate le prestazioni sia allo stato fresco che allo stato indurito previste dal capitolato.

In generale, a parità di caratteristiche tecniche, si dovrà preferire prodotti più sostenibili dal punto di vista ambientale.

20.5.4.2 Tipi di additivi e requisiti specifici

Gli additivi destinati all'impiego nel calcestruzzo proiettato, i cui requisiti sono specificati nella norma UNI EN 934-5, sono di seguito elencati:

- *Additivo accelerante di presa*: per lo sviluppo di presa molto rapida (i requisiti specifici da rispettare sono indicati nel prospetto 2 della UNI EN 934-5);

- *Additivo accelerante di presa non alcalino*: per lo sviluppo di presa molto rapida con tenore di alcali (indicato come Na_2O equivalente) non maggiore dell'1,0% in massa dell'additivo (i requisiti specifici da rispettare sono indicati nel prospetto 2 della UNI EN 934-5);
- *Additivo regolatore di consistenza*: mantiene la consistenza per un lungo periodo – questo tipo di additivo generalmente è utilizzato in combinazione con un additivo accelerante di presa compatibile (i requisiti specifici da rispettare sono indicati nel prospetto 3 della UNI EN 934-5);
- *Additivo miglioratore di resistenza*: aggiunto alla miscela di calcestruzzo prima o durante il processo di proiezione migliora l'aderenza tra gli strati di calcestruzzo proiettato e/o la superficie del substrato (i requisiti specifici da rispettare sono indicati nel prospetto 4 della UNI EN 934-5).

20.5.4.2.4 Additivi superfluidificanti

Allo scopo di realizzare conglomerati cementizi di ridotta porosità e durevoli a basso rapporto a/c ed elevata lavorabilità, si farà costantemente uso di additivi superfluidificanti approvati dalla Direzione Lavori e provvisti di marcatura CE in accordo alla UNI EN 934-2.
A seconda delle condizioni ambientali esistenti al momento del getto, dei tempi di trasporto e posa in opera/proiezione, della classe ambientale in cui l'opera cui è destinato il calcestruzzo ricade potranno essere impiegati anche additivi multifunzionali ad azione superfluidificante-aerante, superfluidificante-ritardante e superfluidificante-accelerante.
Il loro dosaggio dovrà essere definito in fase di qualifica dei conglomerati cementizi sulla base delle indicazioni riportate nella documentazione tecnica del fornitore.

20.5.4.2.5 Additivi aeranti

Per conglomerati cementizi destinati ad elementi strutturali che durante l'esercizio sono esposti ai cicli di gelo-disgelo (ricadenti in classe di esposizione XF2, XF3 e XF4), si farà uso degli additivi aeranti provvisti di marcatura CE in accordo alla UNI EN 934-2.
La percentuale di aria aggiunta varierà, indicativamente secondo quanto riportato nella Tabella 3, in rapporto alla dimensione massima degli aggregati (D_{max}) e sarà misurata sul conglomerato cementizio fresco prelevato all'atto della posa in opera secondo la relativa norma UNI EN 12350-7.
Come riportato nel paragrafo 20.4.4.1 I calcestruzzi destinati ad elementi ricadenti in classe di esposizione XF2, XF3 e XF4 in caso di assenza di aria inglobata nelle percentuali minime previste dalla norma stessa, dovranno essere sottoposti a verifica della resistenza a cicli di gelo e disgelo, secondo la prova di cui alla norma UNI CEN/TS 12390-9, UNI CEN/TR 15177 o UNI 7087, così come previsto dal prospetto F.1 della UNI EN 206 e dal prospetto 6 della UNI 11104, dimostrando l'equivalenza prestazionale con un calcestruzzo di pari rapporto a/c e contenente aria inglobata grazie all'aerante.

Tabella 8 - Percentuale di aria in funzione del diametro massimo dell'aggregato (valori suggeriti)

D_{max} Aggregati [mm]	% aria aggiunta	
	Minimo	Massimo
10,0	4,5	8,5
12,5	4,0	8,0
20,0	3,5	7,5
25,0	3,5	7,0
32,0	3,0	6,5
40,0	2,5	6,0

50,0	2,0	5,0
75,0	2,0	4,0

L'appaltatore dovrà adottare le opportune cautele affinchè, per effetto dei procedimenti di posa in opera e compattazione attuati, non si abbia una riduzione del tenore di aria effettivamente aggiunta al di sotto dei limiti della tabella. A tale scopo per la qualifica delle miscele aerate si dovrà procedere alla misura della differenza del contenuto di aria del calcestruzzo fresco alla centrale di betonaggio e del calcestruzzo fresco dopo il trasporto e la compattazione (UNI EN 12350-7).
Il contenuto di aria aggiunta nel conglomerato cementizio indurito potrà essere verificato con il procedimento descritto nella UNI EN 480-11. Qualora si riscontri una carenza d'aria rispetto ai quantitativi minimi prescritti (un valore dello spacing superiore a 0,250-0,300 mm), la D.L. procederà all'apertura di una non conformità.
Per gli elementi strutturali precompressi non è previsto l'impiego di calcestruzzo aerato. Se l'opera ricade in classe di esposizione XF2, XF3 o XF4 la resistenza al gelo dovrà essere valutata mediante metodologia prevista dalla UNI 7087 dimostrando l'equivalenza prestazionale con un calcestruzzo di pari rapporto a/c e coerente aria inglobata grazie all'aerante.

20.5.4.2.6 Additivi ritardanti e acceleranti

Gli additivi ritardanti riducono la velocità iniziale delle reazioni tra il legante e l'acqua aumentando il tempo necessario ai conglomerati cementizi per passare dallo stato plastico a quello rigido, senza influenzare lo sviluppo successivo delle resistenze meccaniche, dopo la maturazione a 28 giorni.
Gli additivi acceleranti di presa o di indurimento aumentano la velocità delle reazioni tra il legante e l'acqua e conseguentemente la perdita di lavorabilità e lo sviluppo delle resistenze dei conglomerati cementizi senza pregiudicare significativamente la resistenza finale degli impasti.
Preferibilmente verranno impiegati additivi multifunzionali ad azione superfluidificante-ritardante o superfluidificante-accelerante.
I tipi e i dosaggi impiegati rispondenti alla normativa UNI EN 934-2 dovranno essere preventivamente approvati dalla Direzione Lavori.

20.5.4.3 Controlli sugli additivi

20.5.4.3.1 Controlli documentali

In fase di prequalifica, per ogni tipo di additivo che l'appaltatore intende utilizzare deve essere consegnato alla Direzione Lavori la Dichiarazione di Prestazione CE e la scheda tecnica indicante le caratteristiche dell'additivo stesso.
Inoltre, fino al completamento delle operazioni di getto, su insindacabile richiesta del Direttore dei Lavori, l'Appaltatore dovrà consegnare:

- copia in formato pdf delle bolle di accompagnamento di tutte o parti delle forniture di additivo approvvigionate all'impianto e la Dichiarazione di Prestazione CE.

20.5.4.3.2 Controlli dei requisiti

Visto che gli additivi sono prodotti marcati CE, sono utilizzati in un impianto in possesso di certificazione del sistema di controllo della produzione (FPC) e che le NTC2018 non prescrivono obblighi di accettazione da parte della Direzione Lavori, non si prevede l'esecuzione di prove di laboratorio per il controllo del rispetto dei requisiti né in fase di accettazione, né in corso d'opera.

20.5.5 Aggiunte pozzolaniche

20.5.5.1 Generalità sulla conformità, sul tipo di aggiunte e sul loro utilizzo

E' ammesso l'impiego di aggiunte a comportamento idraulico in conformità alla UNI EN 206 e al Prospetto 3 della UNI 11104:2025.

Aggiunta tipo II	*k*	Denominazione del tipo di cemento (UNI EN 197-1)	Rapporto in massa aggiunta/cemento[a)]	Rapporto acqua/cemento	Requisiti aggiuntivi
Ceneri volanti UNI EN 450-1	0,4	CEM I	≤ 0,33	-	-
		CEM II/A	≤ 0,25		
	0,2[b)]	CEM III/A CEM IV/A(P) CEM V/A (S-P)	≤ 0,25	-	Classe di resistenza del cemento: > 32,5 L[f)]
Fumi di silice UNI EN 13263-1 Classe 1[c) e)]	2,0	CEM I CEM II/A[d)]	≤ 0,11	≤ 0,55	-
	1,0	CEM I CEM II/A[d)]	≤ 0,11	>0,55	
Loppa d'altoforno granulata macinata UNI EN 15167-1	0,6	CEM I CEM II/A	≤ 1.00	-	-

g) E' consentito utilizzare un rapporto aggiunta/cemento maggiore, ma in tali casi non si può tener conto del quantitativo di aggiunta eccedente il limite specificato ai fini del calcolo del rapporto massimo acqua / (cemento + k aggiunta) e del contenuto minimo di (cemento + *k**aggiunte).

h) Il valore riportato deriva da sperimentazioni nazionali su ceneri volanti di categoria A.

i) Il quantitativo di cemento non deve essere ridotto più di 30 kg/m^3 al di sotto del contenuto minimo di cemento richiesto per la classe di esposizione pertinente (prospetto 6).

j) Eccetto cemento Portland composito ai fumi di silice.

k) Per i fumi di silice di classe 2 non sono stabilite dalla presente norma regole per l'uso del concetto del valore *k*.

l) Requisito aggiuntivo riferito ai cementi CEM III/A

20.5.5.2 Ceneri volanti

Le ceneri volanti, dovranno provenire da centrali termoelettriche in grado di fornire un prodotto di qualità costante nel tempo e documentabile, che dovrà essere costantemente controllata.

Le caratteristiche delle ceneri volanti devono essere conformi alla UNI EN 450-1 e in particolare ai requisiti riportati nella Tabella 4.

Se si utilizzano cementi di tipo I e II/A, la quantità di cenere che può essere computata nel calcolo del rapporto acqua/cemento equivalente potrà essere elevata fino al 33% e al 25% della massa del cemento. Se si utilizzano cementi di tipo I e II/A, la quantità di cenere volante potrà essere computata nel dosaggio del cemento e del rapporto a/c sostitendo al termine: "rapporto acqua/cemento" il termine "rapporto acqua/(cemento + K*cenere)" e al termine "dosaggio minimo di cemento" il termine "dosaggio minimo di cemento + K*cenere". La quantità (cemento + K*cenere) non deve essere minore del dosaggio minimo di cemento richiesto ai fini della durabilità in funzione della classe (delle classi) di esposizione ambientale in cui ricade la struttura.

Per K si possono assumere i seguenti valori:

- CEM I K = 0,4
- CEM II/A K= 0,4

È ammesso l'impiego della cenere volante anche con cementi III/A di classe almeno pari alla 32,5N, IV/A(P) e V/A(S-P). In tal caso la quantità di ceneri potrà essere elevata fino al 25% della massa del cemento e per K si assume un valore pari a 0,2.

20.5.5.2.1 Controlli documentali

In fase di prequalifica l'Appaltatore deve consegnare alla Direzione Lavori la Dichiarazione di Prestazione CE e la scheda tecnica indicante le caratteristiche di eventuali ceneri volanti che intende utilizzare.

Inoltre, fino al completamento delle operazioni di getto, su insindacabile richiesta del Direttore dei Lavori, l'Appaltatore dovrà consegnare:

- copia in formato pdf delle bolle di accompagnamento di tutte o parti delle forniture di ceneri

volanti approvvigionate all'impianto e la Dichiarazione di Prestazione CE.

20.5.5.2.2 Controlli dei requisiti

Le caratteristiche del prodotto devono rispettare i requisiti della seguente tabella in conformità alla UNI EN 450-1.

Tabella 9 - Caratteristiche delle ceneri volanti

ID	Descrizione prova		Limiti di accettabilità		
		Frequenza prove	Norma	Parametro	Valore/Tolleranza
1. REQUISITI CHIMICI					
1.1	Perdita al fuoco (1 ora EN 196-2)	1/ciascuna fornitura	§ 5.2.2 EN 450-1	Cat. A Cat. B Cat. C	≤ 5% +2% ≤ 7% +2% ≤ 9% +2%
1.2	Contenuto di cloruro (EN 196-2)	Trimestrale o 1/1000t	§ 5.2.3 EN 450-1	Cl^-	≤ 0,10% + 0,01%
1.3	Contenuto di anidride solforica (EN 196-2)	Trimestrale o 1/1000t	§ 5.2.4 EN 450-1	SO_3	≤ 3% +0,5%
1.4	Contenuto di ossido di calcio libero (EN 451-1)	Mensile	§ 5.2.5 EN 450-1	-	≤ 1% +0,1% > 1,5% se le ceneri sono conformi con il requisito di stabilità di cui al punto 1.11
1.5	Stabilità volumetrica (se l'ossido di calcio libero è compreso tra 1 e 2,5%) prova le Chatelier UNI EN 196-3	Mensile o 1/200t	§ 5.2.6 EN 450-1	-	≤ 10% +1%
1.6	Contenuto totale di alcali EN 196-2 come sodio equivalente	Mensile	§ 5.2.7 EN 450-1	-	≤ 4% +1%
1.7	Somma contenuti di silice, allumina e ossido di ferro (EN 196-2)		§ 5.2.8 EN 450-1	$SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$	≥ 70% -5%
1.8	Contenuto totali di alcali (EN 196-2)		§ 5.2.9 EN 450-1	Na_2O_{eq}	≤ 5% +0,5%
1.9	Contenuto di ossido di magnesio (EN 196-2)	mensile	§ 5.2.10 EN 450-1	MgO	≤ 3%
1.10	Fosfato solubile (P_2O_5)	mensile	§ 5.2.11 EN 450-1	P_2O_5	< 100 mg/kg
1.11	Stabilità su un cemento con 30% in massa di ceneri volanti e 70 % di cemento prova (EN 196-3)		§ 5.3.3 EN 450-1	--	≤ 10 mm + 1mm
2. REQUISITI FISICI E MECCANICI					
2.1	Trattenuto al vaglio da 45 µm UNI EN 451/2	Mensile	§ 5.3.1 EN 450-1	Ceneri trattenute al vaglio 0,045 mm	≤ 40% +10%
2.2	Massa volumica reale UNI ENV 196/6	Trimestrale o 1/1000t	§ 5.3.4 EN 450-1	Rispetto al valore dichiarato	±150 t/m^3
2.3	Tempo di inizio presa su una pasta di cemento di prova con 25% in massa ceneri volanti e 75% cemento di riferimento (EN 196-3)		§ 5.3.5 EN 450-1	--	≤ 2 + 0,25 volte t.i. presa pasta 100% cem.
2.4	Fabbisogno d'acqua (appendice B EN 450-1) ceneri volanti categoria S		§ 5.3.6 EN 450-1		≤ 95% ± 2% rispetto a quello di solo cemento
2.5	Indice di attività pozzolanica (UNI EN 196-1 – cem di riferimento CEM I)	Mensile o 1/500t	§ 5.3.2 EN 450-1	A 28 giorni A 90 giorni	≥75% - 5% del solo cemento ≥85% - 5% del solo cemento

Le prove di cui sopra dovranno essere eseguite in sede di qualifica, per ogni cambiamento di fornitore o materiale e ogni 10.000 m³ di getto di calcestruzzo in cui tale aggiunta è utilizzata.

20.5.5.3 Silice ad alta superficie specifica (fumo di silice)

Potranno essere impiegate aggiunte minerali in polveri costituite da silice amorfa ad elevatissima superficie specifica (fumo di silice), anche additivate con superfluidificanti (premiscelato in polvere contenente sia il fumo di silice che l'additivo superfluidificante) al fine di confezionare conglomerati cementizi ad elevata lavorabilità, alta resistenza e durabilità, in particolare in presenza di cicli di gelo/disgelo e di sali disgelanti, quando non si può far ricorso agli additivi aeranti.
I fumi di silice provenienti dalle industrie che producono il silicio metallico e le leghe ferro-silicio, ai fini dell'utilizzazione nel calcestruzzo come aggiunte di tipo II, devono essere conformi alla UNI EN 13263 parte 1 e 2. Le caratteristiche tecniche previste secondo la UNI EN 13263 dovranno essere quelle della Tabella 5.

Tabella 10 - Limiti di composizione per il fumo di silice

Parametri	Limiti
SiO_2	>85%
CaO	<1,2%
SO_3	<2,5%
Na_2O+K_2O	<4,0%
Cl^-	<0,2%
Area specifica B.E.T.	20-35 m^2/g
Silicio elementare, Si	<0,5%

Il fumo di silice può essere utilizzato allo stato naturale (in polvere così come ottenuto all'arco elettrico), come sospensione liquida (slurry) di particelle oppure in sacchi di premiscelato contenenti fumo di silice e additivo superfluidificante. Se impiegato in forma di slurry il quantitativo di acqua apportato dalla sospensione contenente fumo di silice dovrà essere tenuto in conto nel calcolo del rapporto acqua/cemento equivalente.

- La quantità massima di fumo di silice aggiunta all'impasto è pari all'11% della massa del cemento e dovrà essere definita in sede di qualifica preliminare d'intesa con la Direzione Lavori, in relazione alle caratteristiche del calcestruzzo richieste in fase progettuale. Se si utilizzano cementi di tipo I e II/A, la quantità di fumo di silice potrà essere computata nel dosaggio del cemento e del rapporto a/c sostituendo al termine: "rapporto acqua/cemento" il termine "rapporto acqua/(cemento +K*fumo di silice)" e al termine "dosaggio minimo di cemento" il termine "dosaggio minimo di cemento +K+fumo di silice". La quantità (cemento + K*quantità di fumo di silice) non deve essere minore del dosaggio minimo di cemento richiesto ai fini della durabilità in funzione della classe (delle classi) di esposizione ambientali in cui la struttura ricade.
- L'impiego di fumo di silice con cementi diversi da quelli sopramenzionati è subordinato all'approvazione preliminare della D.L.

K assume i seguenti valori:

- CEM I e II/A K=2 per a/c ≤ 0,55
- CEM I e II/A K=1 per a/c > 0,55

20.5.5.3.1 Controlli documentali

In fase di prequalifica l'Appaltatore deve consegnare alla Direzione Lavori l'attestato di conformità CE e la scheda tecnica indicante le caratteristiche del fumo di silice che intende eventualmente utilizzare.
Inoltre, fino al completamento delle operazioni di getto, su insindacabile richiesta del Direttore dei Lavori, l'Appaltatore dovrà consegnare:

- copia in formato pdf delle bolle di accompagnamento di tutte o parti delle forniture di fumo di silice approvvigionate all'impianto e la Dichiarazione di Prestazione CE.

20.5.5.4 Loppa granulata d'altoforno

Potranno essere impiegate aggiunte minerali in polvere costituite da loppa d'altoforno conforme alla UNI EN 15167-1.
La quantità massima di loppa d'altoforno aggiunta all'impasto è pari al 100% della massa del cemento e dovrà essere definita in sede di qualifica preliminare d'intesa con la Direzione Lavori, in relazione alle caratteristiche del calcestruzzo richieste in fase progettuale. Se si utilizzano cementi di tipo I e II/A, la quantità di loppa d'altoforno potrà essere computata nel dosaggio del cemento e del rapporto a/c sostitendo al termine: "rapporto acqua/cemento" il termine "rapporto acqua/(cemento + K* loppa d'altoforno)" e al termine "dosaggio minimo di cemento" il termine "dosaggio minimo di cemento + K*loppa d'altoforno". La quantità (cemento + K*loppa d'altoforno) non deve essere minore del dosaggio minimo di cemento richiesto ai fini della durabilità in funzione della classe (delle classi) di esposizione ambientale in cui ricade la struttura.
K assume i seguenti valori:

- CEM I e II/A K=0,6
-

20.5.5.4.1 Controlli documentali

In fase di prequalifica l'Appaltatore deve consegnare alla Direzione Lavori l'attestato di conformità CE e la scheda tecnica indicante le caratteristiche di eventuale loppa di altoforno che intende utilizzare.
Inoltre, fino al completamento delle operazioni di getto, su insindacabile richiesta del Direttore dei Lavori, l'Appaltatore dovrà consegnare:

- copia in formato pdf delle bolle di accompagnamento di tutte o parti delle forniture di loppa di altoforno approvvigionate all'impianto e la Dichiarazione di Prestazione CE.

20.5.5.4.2 Controlli dei requisiti

Tuttavia le caratteristiche del prodotto devono rispettare i requisiti della seguente tabella in conformità alla UNI EN 15167-1.

ID	Descrizione prova	Limiti di accettabilità		
		Norma	Parametro	Valore/Tolleranza
1. REQUISITI CHIMICI				
1.1	Contenuto di ossido di magnesio (EN 196-2)	§ 5.2 EN 15167-1	--	≤ 18%+1%
1.2	Contenuto di solfuro (EN 196-2)	§ 5.2 EN 15167-1	--	≤ 2%+0,5%
1.3	Contenuto di solfato (EN 196-2)	§ 5.2 EN 15167-1	--	≤ 2,5%+0,5%
1.4	Perdita al fuoco (EN 196-2)	§ 5.2 EN 15167-1	--	≤ 3,0%+0,5%
1.5	Contenuto di cloruro (EN 196-2)	§ 5.2 EN 15167-1	--	≤ 0,10% se >0,10% occorre dichiarare il valore di cloruro da non superare
1.6	Tenore di umidità (appendice A EN 15167-1)	§ 5.2 EN 15167-1	--	≤ 1%+0,5%
1.7	Contenuto in massa della somma di ossido di calcio, ossido di magnesio e biossido di silicio (EN 196-2)	§ 4 EN 15167-1	$CaO + MgO + SiO_2$	≥ 2/3 della massa totale
1.8	Contenuto in massa della somma di ossido di alluminio e altri composti (EN 196-2)	§ 4 EN 15167-1	Al_2O_3 + altri composti	≤ 1/3 della massa totale
1.9	Rapporto in massa (CaO + MgO)/SiO_2 (EN 196-2)	§ 4 EN 15167-1	CaO + MgO)/SiO_2	> 1,0
1.10	Contenuto di coadiuvante di macinazione e suo contenuto organico	§ 4 EN 15167-1	Coadiuvante contenuto organico	≤ 1% della massa totale ≤ 0,2% della massa totale
2. REQUISITI FISICI E MECCANICI				
2.1	Finezza (EN 196-6)	§ 5.3.1	Superficie specifica	≥ 275 m^2/kg - 15 m^2/kg

ID	Descrizione prova	Limiti di accettabilità		
		Norma	Parametro	Valore/Tolleranza
		EN 15167-1		
2.2	Tempo di inizio presa (EN 196-3) di una miscela 50% loppa d'altoforno e 50% cemento di prova	§ 5.3.2.2 EN 15167-1	--	≤ 2 volte il tempo di inizio presa della miscela con solo cemento (tolleranza +0,25)
2.3	Indice di attività	§ 5.3.2.3 EN 15167-1	Rapporto tra la Rc miscela di 50% (in massa) di loppa d'altoforno e 50% di cemento di prova con Rc miscela di solo cemento di prova: a 7 giorni a 28 giorni	 ≥ 45% - 5% ≥ 70% - 5%

Le prove di cui sopra dovranno essere eseguite in sede di qualifica, per ogni cambiamento di fornitore o materiale e ogni 10.000 m³ di getto di calcestruzzo in cui tale materiale è utilizzato.

20.5.5.5 Altre tipi di aggiunte

Aggiunte di tipo II non incluse tra quelle sopra indicate, se marcate CE sulla base di una Valutazione Tecnica Europea (ETA) o dotate di un Certificato di Valutazione Tecnica (CVT) rilasciato dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, possono essere utilizzate nella produzione del calcestruzzo sulla base delle specifiche dei documenti di valutazione tecnica di riferimento, come previsto dalla UNI 11104:2025

20.5.5.6 Controlli sui pigmenti

20.5.5.6.1 Controlli documentali

In fase di prequalifica l'Appaltatore deve consegnare alla Direzione Lavori l'attestato di conformità CE e la scheda tecnica indicante le caratteristiche di eventuali pigmenti che intende utilizzare.
Inoltre, fino al completamento delle operazioni di getto, su insindacabile richiesta del Direttore dei Lavori, l'Appaltatore dovrà consegnare:

- copia in formato pdf delle bolle di accompagnamento di tutte o parti delle forniture di pigmenti approvvigionati all'impianto e la Dichiarazione di Prestazione CE.

20.5.5.6.2 Controlli dei requisiti

Visto che i pigmenti sono un prodotto marcato CE, sono utilizzati in un impianto in possesso di certificazione del sistema di controllo della produzione (FPC) e che le NTC2018 non prescrivono obblighi di accettazione da parte della Direzione Lavori non si prevede l'esecuzione di prove di laboratorio per il controllo del rispetto dei requisiti né in fase di accettazione, né in corso d'opera.
Tuttavia le caratteristiche del prodotto devono rispettare i requisiti della seguente tabella in conformità alla UNI EN 12878 e se utilizzati per calcestruzzo armato devono essere di categoria B.

ID	Descrizione prova	Limiti di accettabilità		
		Norma	Parametro	Valore/Tolleranza
1. REQUISITI CHIMICI				
1.1	Contenuto delle sostanze solubili in acqua	§ 4.2.3 EN 12878	per singolo pigmento o miscela di pigmenti: se usati in aggiunta a particolari additivi in massa del totale: con particolari additivi a base carbone in massa del totale:	≤ 0,5% ≤ 5% ≤ 8%
1.2	Contenuto di cloruro solubile	§ 4.2.4 EN 12878	--	≤ 0,10% in massa

ID	Descrizione prova	Limiti di accettabilità		
		Norma	Parametro	Valore/Tolleranza
1.3	Contenuto di cloruro del singolo pigmento o della miscela	§ 4.2.5 EN 12878	--	≤ 0,10% in massa
2. REQUISITI MECCANICI				
2.1	Resistenza a compressione a 28 giorni della miscela con pigmento	§ 4.1.3 EN 12878	Riduzione della resistenza	≤ 8% della resistenza a compressione a 28 giorni della miscela senza pigmento

20.5.6 Fibre

20.5.6.1 Generalità sulla conformità e sull'impiego delle fibre

Le fibre possono essere utilizzate per il confezionamento di calcestruzzi fibro-rinforzati o di calcestruzzo proiettati e, per uso strutturale, devono essere munite, come richiesto dalle NTC2018, di attestato CE con sistema di attestazione della conformità di tipo 1 (per impieghi non strutturali quali ad esempio calcestruzzi fibrorinforzati per pavimentazioni stradali è sufficiente un sistema di attestazione di conformità 3) in conformità ai requisiti delle norme:

- UNI EN 14889-1 per fibre in acciaio;
- UNI EN 14889-2 per fibre in materiale polimerico.

Gli scopi di addizionare delle fibre alla miscela sono i seguenti:
- miglioramento del comportamento a trazione e a trazione per flessione nella fase post-fessurativa;
- aumento della tenacità e della duttilità (capacità di assorbire energia in fase post fessurativa);
- aumento della resistenza ad azioni cicliche (fatica);
- mitigazione del quadro fessurativo promosso da fenomeni di natura termo-igrometrica.

Le fibre devono essere aggiunte alla miscela con modalità che ne assicurino la dispersione in modo uniforme in tutto l'impasto. In generale dovranno essere incorporate nel conglomerato già impastato avendo cura che la loro immissione e l'ulteriore miscelazione dell'impasto avvengano immediatamente prima della posa in opera.

20.5.6.2 Controlli sulle fibre

20.5.6.2.1 Controlli documentali

In fase di prequalifica l'Appaltatore deve consegnare alla Direzione Lavori l'attestato di conformità CE e la scheda tecnica indicante le caratteristiche delle fibre eventualmente previste in progetto. Occorre verificare che i dosaggi proposti nella ricetta di qualifica siano conformi a quelli definiti in progetto e nelle specifiche del produttore di cui alle schede tecniche.
Inoltre, fino al completamento delle operazioni di getto, su insindacabile richiesta del Direttore dei Lavori, l'Appaltatore dovrà consegnare:

- copia in formato pdf delle bolle di accompagnamento di tutte o parti delle forniture di fibre approvvigionate all'impianto e la Dichiarazione di Prestazione CE.

20.5.6.2.2 Controlli dei requisiti

Le caratteristiche del prodotto devono essere conformi alla norma UNI EN 14889-1 e 2, e marcate CE. Il fornitore deve dichiarare le prestazioni minime richieste da progetto.

20.6 Criteri di accettazione per la confezione dei conglomerati cementizi

Tutto il calcestruzzo utilizzato, sia prodotto in cantiere sia esternamente allo stesso, dovrà essere preconfezionato in un impianto in possesso di certificazione del sistema di controllo della produzione (FPC) ottenuto con processo industrializzato mediante impianti idonei ad una produzione costante, con personale e attrezzature capaci di valutare e correggere la qualità del prodotto. Come previsto

nel capitolo 11.2.8 delle NTC 2018, detto sistema di controllo deve essere certificato da organismi terzi indipendenti che operano in coerenza con la norma UNI CEI EN ISO/IEC 17021-1, autorizzati dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici sulla base di criteri appositamente emanati dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici. Gli impianti devono essere dotati altresì di un sistema di gestione della qualità secondo UNI EN 9001 certificato da un organismo terzo indipendente.
L'Appaltatore è tenuto a garantire la continuità nella fornitura di calcestruzzo individuando un congruo numero di impianti da utilizzarsi in caso di emergenza (es. rotture del primo impianto, picchi di produzione ecc..).
Sarà da privilegiare l'impiego di mescolatori fissi per i calcestruzzi. Qualora l'impianto non sia provvisto di mescolatore fisso, l'Esecutore dovrà fornire alla Direzione Lavori apposita procedura di lavoro che descriva le modalità di miscelazione.
Gli impianti di betonaggio saranno del tipo automatico o semiautomatico, con dosatura a peso degli aggregati, dell'acqua, delle aggiunte minerali e del cemento e a volume per gli additivi; la precisione delle apparecchiature per il dosaggio saranno quelli della Norma UNI EN 206; dovrà essere controllato il contenuto d'umidità degli aggregati in funzione del quale dovrà essere corretto il dosaggio nominale dell' acqua di impasto e quello degli aggregati.
Per l'acqua è ammessa anche la dosatura a volume. La dosatura effettiva dell'acqua dovrà essere realizzata con precisione del 3% ed i relativi dispositivi dovranno essere tarati almeno una volta ogni due mesi o comunque quando richiesto dalla Direzione Lavori.
La dosatura effettiva degli aggregati e del cemento dovrà essere realizzata con precisione del 3%.
Le bilance dovranno essere revisionate almeno una volta ogni due mesi e tarate all'inizio del lavoro e successivamente almeno una volta l'anno e comunque quando richiesto dalla Direzione Lavori.
I dispositivi di misura del cemento, dell'acqua degli additivi e delle aggiunte dovranno essere del tipo individuale. Le bilance per la pesatura degli aggregati possono essere di tipo cumulativo (peso delle varie pezzature con successione addizionale).
I silos del cemento e delle aggiunte minerali debbono garantire la tenuta nei riguardi dell'umidità atmosferica.
Il tempo e la velocità di mescolamento dovranno essere tali da produrre un conglomerato rispondente ai requisiti d'omogeneità di cui ai successivi paragrafi.
L'impasto dovrà risultare di consistenza uniforme ed omogeneo, uniformemente coesivo (tale cioè da essere trasportato e manipolato senza che si verifichi la separazione dei singoli elementi) e lavorabile in modo da rispettare i requisiti previsti per la consistenza al getto.

20.7 Criteri di accettazione dei giunti di tenuta tipo water-stop

Tutti i materiali utilizzati devono essere approvati dalla Direzione Lavori previa presentazione della relativa scheda tecnica a dimostrazione della conformità alle specifiche progettuali secondo le indicazioni di cui al § 34.3

20.8 Qualifica dei conglomerati cementizi

L'appaltatore, sulla scorta delle prescrizioni contenute nei progetti esecutivi delle opere in conglomerato cementizio semplice e armato (normale e precompresso) e del presente Capitolato, per la scelta dei materiali e la definizione delle miscele dovrà fare riferimento ai seguenti parametri:

- Classe di esposizione in funzione delle condizioni ambientali (UNI EN 206 e UNI 11104);
- Resistenza caratteristica a compressione C(f_{ck}/R_{ck});
- Durabilità delle opere (UNI EN 11417, parti 1 e 2);
- Lavorabilità al getto (abbassamento al cono UNI EN 12350-2 o altre prove se previsto);
- Tipi di cemento e dosaggi minimi ammessi;
- Classe di GWP; (ove specificato in progetto)

- Tipi di additivi e di eventuali aggiunte minerali e relativi dosaggi ottimali da utilizzarsi;
- Resistenza a trazione per flessione (UNI EN 12390-13) (ove richiesto);
- Contenuto di aria del conglomerato cementizio fresco (UNI EN 12350-7) (ove richiesto);
- Resistenza ai cicli di gelo-disgelo (UNI 7087, UNI EN 12390-9) (ove richiesto);
- Impermeabilità all'acqua (UNI EN 12390-8) (ove richiesto);
- Accorgimenti da adottare in caso di lavorazioni da eseguirsi in presenza di temperature rigide (al di sotto di 5°C) o in clima caldo (al di sopra di 30°C);
- Sviluppo di calore e incremento di temperatura nei getti (ove richiesto);
- Classi di contenuto cloruri.

20.8.1 Dossier di prequalifica

L'Appaltatore è tenuto ad effettuare la qualificazione iniziale (prequalifica) di ciascuna miscela omogenea di calcestruzzo da impiegare (§ 11.2.3 NTC2018), attraverso idonee prove di studio ed acquisizione di idonea documentazione con lo scopo di accertare, prima dell'inizio dei getti, una serie di proprietà del concglomerato sia allo stato fresco che indurito e in particolare la resistenza caratteristica di ogni miscela. In linea di massima, non è necessario effettuare una nuova prequalifica qualora, per far fronte alle variazioni della temperatura ambientale e alle conseguenti variazioni della perdita di lavorabilità durante il trasporto del calcestruzzo, si debba procedere ad una variazione del tipo/dosaggio di additivo superfluidificante (rispetto a quello definito in fase di prequalifica) pari a ±0,25% rispetto alla massa del cemento. Allo stesso modo, per far fronte alle inevitabili variazioni della granulometria delle singole frazioni granulometriche utilizzate nel confezionamento dell'impasto, in linea di massima non è necessario procedere ad una nuova prequalifica allorquando la variazione della granulometria dell'aggregato combinato (la granulometria derivante dalla combinazione delle frazioni granulometriche disponibili), rispetto a quella identificata in fase di prequalifica, sia compresa in un fuso granulometrico di $\pm$ 5% per gli aggregati fini agli stacci di 0,125, 0,250mm; $\pm$8% per gli aggregati fini allo staccio di 0,5mm e 1 mm; $\pm$ 10% per gli aggregati allo staccio di 2 e 4 mm e $\pm$ 15% per gli aggregati grossi agli stacci 8, 16, 22, 32 mm. Tali variazioni della composizione del calcestruzzo sono ammesse purchè la lavorabilità al getto, la resistenza a compressione caratteristica (e in generale tutte le proprietà reologiche, meccaniche e di durabilità) risultino conformi a quelle previste nel progetto. Resta in ogni caso responsabilità dell'appaltatore garantire il conseguimento dei valori di lavorabilità e di resistenza a compressione caratteristica oltre agli altri requisiti di progetto. Nello specifico l'Appaltatore deve sottoporre all'esame della Direzione Lavori, almeno 40 giorni prima dell'inizio dei getti, un *"Dossier di prequalifica"* contenente:

x) Lo studio dei conglomerati cementizi ai fini della durabilità, eseguito secondo quanto precisato successivamente;
y) La caratterizzazione granulometrica degli aggregati e i dati di assorbimento delle varie frazioni dell'aggregato;
z) Il tipo e il dosaggio di cemento, il rapporto acqua/cemento, lo studio della composizione granulometrica degli aggregati, il tipo e il dosaggio degli additivi che intende usare, il contenuto di aria aggiunta (ove previsto), il valore previsto della consistenza al cono (o altro metodo su richiesta), per ongi tipo e classe di conglomerato cementizio;
aa) Nel caso di rispetto dei requisiti CAM, le dichiarazioni ambientali di prodotto (EPD) degli ingredienti utilizzati nel confezionamento del calcestruzzo; nel caso di rispetto dei requisiti GWP, la dichiarazione ambientale di prodotto del calcestruzzo desunta sulla base della composizione nominale. La EPD del calcestruzzo dovrà essere esibita prima dell'inizio della fornitura una volta che la prequalifica ha individuato la composizione definitiva dell'impasto oltre che degli ingredienti;
bb) Le caratteristiche dell'impianto di confezionamento, i sistemi di trasporto, di getto e di maturazione;
cc) La documentazione che attesta una produzione con processo industrializzato del calcestruzzo;

dd) I risultati delle prove di prequalifica all'impianto;

ee) le caratteristiche degli impianti di confezionamento corredate dalla certificazione del sistema di controllo della produzione (FPC) di calcestruzzo preconfezionato dell'impianto di produzione, che potrà essere interno o esterno al cantiere (certificato da organismi terzi indipendenti autorizzati dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici) e dalla certificazione del Sistema di Gestione per la Qualità secondo UNI EN 9001 dell'impianto di produzione certificato da un organismo terzo indipendente. Si ricorda come prescritto al § 20.6 che l'Appaltatore è tenuto a garantire la continuità nella fornitura di calcestruzzo individuando un congruo numero di impianti da utilizzarsi in caso di emergenza (es. rotture del primo impianto, picchi di produzione ecc..);

ff) il Piano Generale di Fabbricazione e Controlli dello stabilimento di produzione con l'indicazione delle tecnologie, metodologie e sistemi di controllo utilizzati in impianto (Piano Controllo della Qualità di produzione) per garantire la qualità attesa. Il piano dovrà essere corredato da una procedura che identifichi le modalità di qualifica dei fornitori nonché le modalità di identificazione e rintracciabilità dei prodotti e di tenuta sottocontrollo delle strumentazioni di misura.

gg) la documentazione comprovante la marcatura CE di ogni materiale costituente ciascuna miscela o altra documentazione del produttore e relative schede tecniche;

hh) i certificati di prova afferente la resistenza caratteristica a compressione a 28 giorni R_{ck}, secondo UNI EN 12390-3,4 seguendo le indicazioni dell'Appendice A della UNI EN 206 con l'esecuzione di almeno tre provini prelevati da tre impasti distinti;

ii) le curve di resistenza nel tempo con misure a 2, 7, 14, 28 giorni. Ove richiesto potrà essere determinata la resistenza a compressione a 60 e 90 giorni (per procedere alla qualifica non è necessario attendere le prove a 60 e 90gg che successivamente integreranno il dossier di prequalifica). Salvo diverse indicazioni da parte della Direzione Lavori la definizione dello sviluppo di resistenza del calcestruzzo (lento, medio o rapido) avviene mediante il paramtero "r" definito come f_{cm2}/fcm28;

jj) il certificato per il contenuto di aria aggiunta (aria inglobata mediante additivi aeranti) nella miscela secondo la UNI EN 206 e UNI 11104, i certificati indicanti la massa volumica del calcestruzzo fresco secondo la UNI EN 12350/6 e calcolo della resa, la massa volumica reale s.s.a ed assorbimento secondo la UNI EN 1097;

kk) I certificati della classe di consistenza della miscela da asciutta a superfluida valutata secondo la UNI EN 12350/1 con i tre metodi delle UNI 12350/2,3,4 (per i calcestruzzi autocompattanti: la classe di spandimento SF e la classe di viscosità t500 secondo la UNI EN 12350-8; la resistenza alla segregazione in riferimento alla UNI EN 12350-11);

ll) ai fini della rispondenza dei requisiti di durabilità di cui a § 20.4.3, § 20.4.4.2, § 20.4.4.3 § 20.4.5.7, è previsto l'obbligo di eseguire prove di prequalifica come da §20.10.3. In ogni caso, l'Appaltatore, di concerto con il produttore di calcestruzzo, deve riportare in una nota tecnica da allegare al dossier di prequalifica, gli studi sugli impasti e le azioni che intende intraprendere per la rispondenza dei calcestruzzi ai requisiti di durabilità richiesti;

mm) i certificati di taratura di tutte le strumentazioni di misurazione di cui è dotato l'impianto in corso di validità;

nn) i sistemi di trasporto e la valutazione del mantenimento della lavorabilità e delle caratteristiche delle varie miscele di calcestruzzo dall'impianto di produzione al luogo del getto in funzione della durata massima del trasporto e delle varie temperature stagionali a cui l'Appaltatore prevede di eseguire i getti. Relativamente a questo aspetto, l'Appaltatore deve indicare l'intervallo di valori del dosaggio dell'additivo superfluidificante che consente di rispettare il requisito previsto per la consistenza al getto a dipendenza delle condizioni ambientali;

oo) le modalità di getto, compattazione, di stagionatura (maturazione) e scasseratura in funzione dello sviluppo di resistenza del calcestruzzo "r" (= f_{cm2}/f_{cm28}) e delle condizioni climatiche ambientali nei limiti definiti nel § 20.12.14, compresi gli accorgimenti da adottare soprattutto in caso di condizioni climatiche estreme (freddo e caldo) di temperatura ed umidità nel rispetto dei limiti stabiliti nel presente articolo di calpitolato. La durata della maturazione umida e della scasseratura potranno essere stabiliti dalla DL anche con parametri diversi da "r";

pp) le schede tecniche dei giunti di tenuta tipo water-stop eventualmente presenti;

qq) per calcestruzzi a ritiro compesato occorre definire compiutamente il mix secondo i contenuti del § 20.4.5.7 riportando i limiti di ritiro 1, 7, 28 giorni fissati dal progetto. Ove richiesto i limiti per il ritiro potranno essere fissati anche a scadenza diverse da quelle sopramenzionate;

rr) per calcestruzzi proiettati la descrizione dell'equipaggiamento che si intende impiegare per miscelare ed applicare il CP (pompa, lancia, dosatore), includendo istruzioni, raccomandazioni e prestazioni attese fornite dal costruttore e una descrizione dei metodi che si intende attuare per porre in opera il calcestruzzo (per via secca e/o per via umida) e la descrizione della strumentazione topografica per il controllo in continuo dello spessore, garantendo le volute posizioni e allineamenti;

ss) per ciascuna miscela omogenea di calcestruzzo fibrorinforzato FRC di cui al § 20.4.5.9:

a. il certificato di valutazione tecnica CVT rilasciato dal Presidente del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici sulla base e in conseguenza delle linee guida approvate;
b. contenuto di fibre e modalità di miscelazione;
c. il certificato di laboratorio di cui all'art. 59 del DPR 380/2001 per n. 3 prelievi (6 provini) per la prova di flessione secondo la norma UNI EN 14651 di ogni miscela omogenea. Le prove come previsto nella: "Linea guida per l'identificazione, la qualificazione, la certificazione di valutazione tecnica ed il controllo di accettazione dei calcestruzzi fibrorinforzati FRC (Fiber Reinforced Concrete)" n.208_2019 saranno eseguite dopo 28 giorni di maturazione in ambiente controllato con temperatura T = 20 ± 2 °C e UR ≥ 95%. Relativamente alle prove di flessione, per un totale di prelievi da miscela omogenea inferiore a 15, il controllo di accettazione è superato se il valore medio di $f_{R,1}$ e $f_{R,3}$ ($f_{R,1m}$, $f_{R,3m}$) rispetta tutti i requisiti di seguito indicati:
   i. $f_{R,1m}/ f^{f}_{ct,Lm} > 0,4$
   ii. $f_{R,1m} > 1,3\ f_{R,1k}$
   iii. $f_{R,1min} > 0,7\ f_{R,1k}$
   iv. $f_{R,3m} > 1,3\ f_{R,3k}$
   v. $f_{R,3min} > 0,7\ f_{R,3k}$

   ove i valori caratteristici $f_{R,1k}$ e $f_{R,3k}$ sono i valori nominali e si riferiscono alla classe di appartenenza dichiarata per il FRC.
d. Per un numero totale di prelievi da miscela omogena uguale o superiore a 15 il controllo di accettazione è superato sei il valore medio di di $f_{R,1}$ e $f_{R,3}$ ($f_{R,1m}$, $f_{R,3m}$) rispetta tutti i requisiti di seguito indicati:
   i. $f_{R,1m}/ f^{f}_{ct,Lm} > 0,4$
   ii. $f_{R,1m} > f_{R,1k} + 1,48\ s$
   iii. $f_{R,1min} > 0,7\ f_{R,1k}$
   iv. $f_{R,3m} > f_{R,3k} + 1,48\ s$
   v. $f_{R,3min} > 0,7\ f_{R,3k}$

   ove i valori caratteristici $f_{R,1k}$ e $f_{R,3k}$ sono i valori nominali e si riferiscono alla classe di appartenenza dichiarata per il FRC.

tt) il curriculum di un tecnologo qualificato in materia di conglomerati cementizi con cui la Direzione Lavori potrà interloquire per gli aspetti tecnici. In caso di calcestruzzo proiettato occorre fornire

anche il curruculm del lancista con adeguata esperienza in funzione della dimensione e della tipologia dell'attività da svolgere;

Le prove di prequalifica di tutte le miscele di cui sopra potranno effettuarsi sia per mezzo di laboratori autorizzati ai sensi dell'art 59 del DPR 380/01 (con emissione di certificato) sia internamente al produttore (con emissione di rapporti di prova).
Ad insindacabile giudizio del Direttore dei Lavori la prequalifica all'impianto potrà essere ripetuta ogni qual volta si prevedesse una variazione dei materiali, dei fornitori o dell'impianto o si riscontrassero problemi sulle miscele nel corso dei lavori.

20.8.2 Qualifiche

20.8.2.1 Premesse comuni

Il Direttore dei Lavori sottoporrà tutte le miscele prequalificate a qualifica in impianto. La qualifica deve essere fatta almeno per ogni classe di esposizione e resistenza caratteristica dei conglomerati. Le qualifiche sono sempre da eseguire in contraddittorio tra il personale dell'Appaltatore, della Direzione Lavori e dell'impianto. Il laboratorio utilizzato sarà autorizzato ai sensi dell'art 59 del DPR 380/01 incaricato dalla Commmittente/Direzione Lavori.
Ad insindacabile giudizio del Direttore dei Lavori la qualifica all'impianto potrà essere ripetuta ogni qual volta si prevedesse una variazione dei materiali, dei fornitori o dell'impianto o si riscontrassero problemi sulle miscele nel corso dei lavori. In linea di massima, non è necessario effettuare una nuova prequalifica qualora, per far fronte alle variazioni della temperatura ambientale e alle conseguenti variazioni della perdita di lavorabilità durante il trasporto del calcestruzzo, si debba procedere ad una variazione del tipo/dosaggio di additivo (rispetto a quello definito in fase di prequalifica) pari a ±0,25% rispetto alla massa del cemento. Allo stesso modo, per far fronte alle inevitabili variazioni della granulometria delle singole frazioni granulometriche utilizzate nel confezionamento dell'impasto, in linea di massima non è necessario procedere ad una nuova prequalifica allorquando la variazione della granulometria dell'aggregato combinato (la granulometria derivante dalla combinazione delle frazioni granulometriche disponibili), rispetto a quella identificata in fase di prequalifica, sia compresa in un fuso granulometrico di $\pm$ 5% per gli aggregati fini agli stacci di 0,125, 0,250mm; $\pm$8% per gli aggregati fini allo staccio di 0,5mm e 1 mm; $\pm$ 10% per gli aggregati allo staccio di 2 e 4 mm e $\pm$ 15% per gli aggregati grossi agli stacci 8, 16, 22, 32 mm. Tali variazioni della composizione dell'impasto sono ammesse purchè la lavorabilità al getto e la resistenza a compressione caratteristica (oltre a tutte le proprietà reologiche, meccaniche e di durabilità) risultino conformi a quelle previste nel progetto. Resta in ogni caso responsabilità dell'appaltatore garantire il conseguimento dei valori di lavorabilità e di resistenza a compressione caratteristica di progetto.
Tutti gli oneri e gli eventuali ritardi causati dalle ripetizioni delle prove a causa dell'esito negativo all'impianto di confezionamento saranno a totale carico dell'Appaltatore.
L'Appaltatore deve tenere conto dei tempi di qualifica nella programmazione delle sue attività. Allo scopo l'Appaltatore, entro 5 giorni dalla consegna del dossier di prequalifica, è tenuto ad organizzare ed iniziare la qualifica all'impianto delle miscele.

20.8.2.2 All'impianto per calcestruzzi eccetto quelli di cui al §20.8.2.3 e §20.8.2.4

A prescindere dall'obbligo di eseguire sempre la qualifica presso l'impianto di preconfezionamento, occorre prestare la massima attenzione nei seguenti casi per verificare:

- ai fini della rispondenza dei requisiti di durabilità di cui a § 20.4.3.
- calcestruzzi con classi di resistenza superiori a C45/55;
- calcestruzzi a ridotta emissione di CO_2 nell'atmosfera di cui al § 20.4.5.8;

- l'efficienza di quegli impianti mobili di betonaggio in cantiere utilizzati anche per la produzione in continuo di prodotti diversi dai conglomerati cementizi (ad esempio cementati) ove si abbia il dubbio che l'alternanza di produzione tra un prodotto cementizio ed un altro possa influire sulla qualità delle miscele;
- la correttezza di quelle miscele la cui ricetta è ritenuta particolarmente complessa;
- quelle miscele omogenee utilizzate in grandi volumi (≥ 2.000 mc).

La qualifica consiste nell'effettuare, su almeno tre impasti consecutivi e sul tipo di miscele indicate dalla Direzione Lavori, le seguenti verifiche:

9. il valore medio della resistenza a compressione a 28 giorni (R_m) , misurato su almeno 4 prelievi (ciascuno di due provini) deve essere:
   - per $R_{ck} < 30$ N/mm^2 $R_m \geq 1{,}25\ R_{ck}$
   - per 30 N/mm^2 $\leq R_{ck} \leq 40$ N/mm^2 $R_m \geq 1{,}20\ R_{ck}$
   - per $R_{ck} > 40$ N/mm^2 $R_m \geq 1{,}15\ R_{ck}$

   con valore minimo di ogni singolo prelievo $R_i \geq R_{ck}$;

   dovrà anche essere misurata la resistenza a compressione a 2 e 7 giorni. Le resistenze medie a compressione per ciascun tipo di calcestruzzo, misurate a 2 e 7 giorni sui provini prelevati dall'impasto di prova all'impianto, non devono discostarsi di ±15% dalle resistenze indicate nella relazione di prequalifica. Il Direttore dei Lavori ha la facoltà di integrare la frequenza dei giorni per la verifica della resistenza a compressione, oltre a quelle indicate di 2 e 7 giorni, in presenza di particolari condizioni operative o di calcestruzzi speciali tipo quelli a indurimento rapido.
10. La classe di consistenza che deve risultare conforme alla classe richiesta con una tolleranza di ± 30 mm rispetto al valore di riferimento:
    - per almeno 60 minuti per temperature fino a 20°C;
    - per almeno 45 minuti per temperature fino a 30°C.

    Quanto sopra salvo requisiti diversi definiti in Progetto, individuatl dalla Direzione dei Lavori o dall'Appaltatore durante la prequalifica, in funzione delle condizioni di impiego;
11. il valore della massa volumica del calcestruzzo fresco che non deve discordarsi oltre il ± 3% del valore nominale definito con la prequalifica;
12. deve essere verificata l'omogeneità del calcestruzzo all'atto del getto su due campioni, prelevati rispettivamente a 1/5 e 4/5 dello scarico della betoniera; deve risultare:
    - una differenza dell'abbassamento al cono non superiore a 30 mm,
    - una differenza tra le percentuali in peso di passante al vaglio a maglia quadrata da 4 mm dei due campioni non superiore al 4%,
13. il rapporto acqua/cemento determinato secondo le modalità previste nella Norma UNI 11201, non deve differire di + 0.03 da quello dichiarato nella prequalifica;
14. il bleeding (secondo UNI 7122, p. 5.2) deve essere minore dello 0,1% dell'acqua di impasto.
15. il contenuto d'aria secondo la Norma UNI EN 12350-7 per i calcestruzzi aerati.
16. prove di qualifica (con maturazione minima a cui effettuare le relative prove di 28gg e la resistenza a cicli di gelo/disgelo è da effettuare nei casi in cui si scelga di qualificare miscele XF2, XF3 o XF4 senza impiego di aerante) come da §20.4.4.1, § 20.4.4.3 § 20.4.5.7.

20.8.2.3 Calcestruzzo proiettato

I calcestruzzi proiettati di tipo strutturale permanente (qualsiasi sia la destinazione d'uso) dovranno essere sottoposti ad un procedimento di qualifica, così come di seguito dettagliato. Per usi temporanei anche strutturali la qualifica non è richiesta.

La fase di qualifica dovrà consistere dalla realizzazione di un campo di prova con l'esecuzione di un simulacro del manufatto da realizzare, impiegando le stesse attrezzature e manodopera e operando in condizioni analoghe a quelle previste per l'applicazione reale. Se ritenuto fattibile dal Direttore dei Lavori il simulacro può coincidere con una piccola porzione dell'opera di progetto con la consapevolezza per l'Appaltatore che, nel caso la qualifica non dia i risultati attesi, c'è l'obbligo di demolire a sua cura e spese, la parte di calcestruzzo proiettato compresi gli oneri di trasporto e smaltimento e compreso il completo ripristino dei luoghi.
In occasione della realizzazione del campo prova, verranno verificate l'attitudine della miscela che si intende impiegare ad essere applicata mediante proiezione, l'idoneità dell'attrezzatura che si intende impiegare, le modalità di proiezione e gli accorgimenti per la maturazione.
Inoltre, verranno verificate le principali prestazioni del conglomerato proiettato misurate sia su pannelli di prova appositamente prodotti come descritto al § 5.4 della UNI EN 14488-1, sia sul simulacro realizzato.
I prelievi dovranno essere eseguiti con le modalità indicate ai § 5.6 e 5.7 della UNI EN 14488-1; in particolare, si procederà a misurare le seguenti grandezze:

- classe di consistenza del calcestruzzo proiettato di riferimento;
- massa volumica e aria inglobata nel calcestruzzo proiettato di riferimento;
- dosaggio degli additivi impiegati per la proiezione;
- contenuto di fibre secondo UNI EN 14488-5 (se applicabile)
- verifica dello sfrido;
- resistenza meccanica del calcestruzzo giovane mediante i metodi A e B della UNI EN 14488-2 (se richiesto in progetto);
- resistenza meccanica a compressione (secondo UNI EN 12504-1 su carote estratte dal simulacro e dai pannelli di prova);
- massa volumica del calcestruzzo indurito (secondo UNI EN 12350-6 sulle carote estratte dal simulacro e dai pannelli di prova);
- resistenza a flessione di primo picco e residue alle diverse aperture dell'intaglio secondo UNI EN 14488-3 (se richieste in progetto e applicabili);
- aderenza per trazione diretta secondo UNI EN 14488-4 (se richiesta in progetto e applicabile);
- capacità di assorbimento di energia secondo UNI EN 14488-5 (se richiesta in progetto e
- applicabile);
- spessore di calcestruzzo sul supporto secondo UNI EN 14488-6.

I valori ottenuti dovranno essere confrontati con quelli specificati nel progetto, sulla base dei criteri di conformità riportati al § 7.5 della UNI EN 14487-1.
In particolare, in fase di qualifica si dovrà verificare l'entità della riduzione delle prestazioni meccaniche alle medie e lunghe stagionature del calcestruzzo con additivi acceleranti di presa e di indurimento rispetto ai valori attesi nella miscela di riferimento senza accelerante. Anche dopo le riduzioni rispetto al conglomerato di riferimento, la resistenza a compressione a 28 giorni del conglomerato con additivo accelerante dovrà essere conforme alle specifiche di progetto.
E' facoltà del Direttore dei Lavori richiedere la ripetizione dell'intera qualifica o di una parte delle prove laddove si riscontrasse la non conformità di un solo dei parametri sopra elencati da eseguire su una miscela adeguatamente modificata.
I risultati delle prove di resistenza meccanica sul calcestruzzo giovane e di massa volumica delle carote, inoltre, serviranno come riferimento per valutare i risultati delle stesse prove durante i controlli in corso d'opera.
L'accettazione di valori in deroga a quelli specificati è subordinata alla dichiarazione di adeguate garanzie di tipo prestazionale, che saranno quindi soggette a verifica da parte della Direzione Lavori.

20.8.2.4 Calcestruzzo fibrorinforzato FRC (non proiettato)

Per le miscele indicate dalla Direzione Lavori è necessario eseguire n. 3 prelievi (6 provini) per la prova di flessione secondo la norma UNI EN 14651 di ogni miscela omogenea. Le prove saranno eseguite dopo 28 giorni di maturazione in ambiente controllato con temperatura T = 20 ± 2 °C e UR ≥ 95%. La prova è superata se il valore medio di $f_{R,1}$ e $f_{R,3}$ ($f_{R,1m}$, $f_{R,3m}$) rispetta tutti i requisiti di seguito indicati:

i. $f_{R,1m}$/ $f^{f}_{ct,Lm}$ > 0,4
ii. $f_{R,1m}$ > 1,3 $f_{R,1k}$
iii. $f_{R,1min}$ > 0,7 $f_{R,1k}$
iv. $f_{R,3m}$ > 1,3 $f_{R,3k}$
v. $f_{R,3min}$ > 0,7 $f_{R,3k}$

ove i valori caratteristici $f_{R,1k}$ e $f_{R,3k}$ sono i valori nominali e si riferiscono alla classe di appartenenza dichiarata per il FRC

20.8.3 Autorizzazione alla produzione di calcestruzzo

La Direzione Lavori autorizzerà l'inizio della produzione di conglomerato cementizio solo dopo aver esaminato ed approvato il *"Dossier di prequalifica"* dei materiali e degli impasti di conglomerato avendo effettuato con esito positivo, le prove di qualifica all'impianto di betonaggio, in contraddittorio con l'Appaltatore. Tale autorizzazione potrà essere rilasciata anche per singola miscela purchè il processo di qualifica sia stato completato per il mix in esame.
E' vietato l'utilizzo di miscele non approvate dalla Direzione Lavori.

20.9 Qualifica degli elementi prefabbricati ad uso strutturale

20.9.1 Campo di impiego

Il presente paragrafo di capitolato si applica a tutti gli elementi in c.a. e c.a.p. prefabbricati destinati alla realizzazione di ponti, viadotti, cavalcavia, sottovia, gallerie artificiali e naturali, muri, scatolari idraulici, edifici, ecc. aventi valenza strutturale.

20.9.2 Criteri di accettazione per lo stabilimento di produzione dei prefabbricati

È richiesto che il produttore dei manufatti abbia un sistema di controllo della produzione ai sensi del § 11.8.3 delle NTC2018 e che lo stabilimento di produzione sia qualificato ai sensi del § 11.8.4.1 delle stesse NTC.
Nello specifico gli impianti per la produzione di elementi costruttivi prefabbricati devono essere idonei ad una produzione continua, disporre di apparecchiature adeguate per il confezionamento nonché di personale esperto e di attrezzature idonee a provare, valutare e correggere la qualità del prodotto.
Il fabbricante di elementi prefabbricati deve dotarsi di un sistema di controllo della produzione allo scopo di assicurare che il prodotto abbia i requisiti previsti dalle presenti norme e che tali requisiti siano costantemente mantenuti fino alla posa in opera. Il sistema di gestione della qualità del prodotto che sovrintende al processo di fabbricazione deve essere predisposto in coerenza con la norma UNI EN ISO 9001 e certificato da parte un organismo terzo indipendente, di adeguata competenza ed organizzazione, che opera in coerenza con la norma UNI CEI EN ISO/IEC 17021-1. Le regole di cui sopra si applicano anche nel caso di prefabbricazioni a piè d'opera.

20.9.3 Generalità sulla conformità degli elementi prefabbricati

Gli elementi prefabbricati per cui è presente una norma per la valutazione di conformità devono essere muniti di Attestato di conformità CE. Si elencano i seguenti casi:

- *Ponti definiti come opere di ingegneria destinate principalmente al trasporto di carichi connessi con le comunicazioni sopra un ostacolo naturale o una linea di comunicazione (inclusi i ponti stradali, pedonali, ferroviari ecc.)*: gli elementi prefabbricati destinati a questa tipologia di opera (comprese velette, lastre predalle, travi…) devono essere dotati di Attestato di conformità CE alla norma europea armonizzata UNI EN 15050 per i quali il produttore attui un controllo di produzione in fabbrica certificato da un Organismo notificato e dotato di sistema di attestazione della conformità di tipo 2+;
- *Muri di sostegno per contenimento di scavi e trincee nel terreno naturale; contenimento di terrapieni per strade, piattaforme ecc.; spalle di ponte e rispettivi muri laterali; contenimento di materiali sfusi di qualsiasi genere (sono esclusi i muri per un altezza fino ad un metro)*: gli elementi prefabbricati destinati a questa tipologia di opera devono essere dotati di Attestato di conformità CE alla norma europea armonizzata UNI EN 15528 per i quali il produttore attui un controllo di produzione in fabbrica certificato da un Organismo notificato e dotato di sistema di attestazione della conformità di tipo 2+;
- *Pali da fondazione prefabbricati di calcestruzzo, realizzati in fabbrica e destinati ad essere utilizzati in edifici e in opere di ingegneria civile*: gli elementi prefabbricati destinati a questa tipologia di opera devono essere dotati di Attestato di conformità CE alla norma europea armonizzata UNI EN 12794 per i quali il produttore attui un controllo di produzione in fabbrica certificato da un Organismo notificato e dotato di sistema di attestazione della conformità di tipo 2+;
- *Scatolari di sezione rettangolare monolitica progettati come elementi continui formati per permettere l'eventuale incorporazione di materiali sigillanti ed utilizzati per la creazione di cunicoli interrati per il convogliamento o l'accumulo di acque di fognatura, per cunicoli per cavi o condutture e sottopassi:* gli elementi prefabbricati destinati a questa tipologia di opera devono essere dotati di Attestato di conformità CE alla norma europea armonizzata UNI EN 14844 per i quali il produttore attui un controllo di produzione in fabbrica certificato da un Organismo notificato e dotato di sistema di attestazione della conformità di tipo 2+ se lo scatolare non presenta una dimensione interna minore o uguale a 1250 mm e di tipo 4 se presenta una dimensione interna minore o uguale a 1250 mm;
- *Elementi prefabbricati da fondazione realizzati con calcestruzzo armato per strutture di edifici:* gli elementi prefabbricati destinati a questa tipologia di opera devono essere dotati di Attestato di conformità CE alla norma europea armonizzata UNI EN 14991 per i quali il produttore attui un controllo di produzione in fabbrica certificato da un Organismo notificato e dotato di sistema di attestazione della conformità di tipo 2+;
- *Lastre prefabbricate per solai realizzate con calcestruzzo armato o precompresso (sono escluse le lastre da ponte per cui si applica la UNI EN 15050):* gli elementi prefabbricati destinati a questa tipologia di opera devono essere dotati di Attestato di conformità CE alla norma europea armonizzata UNI EN 13747 per i quali il produttore attui un controllo di produzione in fabbrica certificato da un Organismo notificato e dotato di sistema di attestazione della conformità di tipo 2+;
- *Elementi nervati prefabbricati realizzati con calcestruzzo armato o precompresso, utilizzati per solai o coperture:* gli elementi prefabbricati destinati a questa tipologia di opera devono essere dotati di Attestato di conformità CE alla norma europea armonizzata UNI EN 13224 per i quali il produttore attui un controllo di produzione in fabbrica certificato da un Organismo notificato e dotato di sistema di attestazione della conformità di tipo 2+;
- *Lastre alveolari prefabbricate realizzate con calcestruzzo armato o precompresso:* gli elementi prefabbricati destinati a questa tipologia di opera devono essere dotati di Attestato di conformità CE alla norma europea armonizzata UNI EN 1168 per i quali il produttore attui un controllo di

produzione in fabbrica certificato da un Organismo notificato e dotato di sistema di attestazione della conformità di tipo 2+;

- *Travetti prefabbricati realizzati con calcestruzzo armato o precompresso, secondo la UNI EN 1992-1-1, utilizzati insieme ai blocchi, con o senza getto in opera di calcestruzzo, per la costruzione di solai a travetti e blocchi:* gli elementi prefabbricati destinati a questa tipologia di opera devono essere dotati di Attestato di conformità CE alla norma europea armonizzata UNI EN 15037-1 per i quali il produttore attui un controllo di produzione in fabbrica certificato da un Organismo notificato e dotato di sistema di attestazione della conformità di tipo 2+;
- *Elementi prefabbricati lineari (come colonne, travi ed elementi dei telai) realizzati con calcestruzzo armato o precompresso, normale o leggero, impiegati nella costruzione di strutture di edifici e di altre opere di ingegneria civile, ad eccezione dei ponti:* gli elementi prefabbricati destinati a questa tipologia di opera devono essere dotati di Attestato di conformità CE alla norma europea armonizzata UNI EN 13225 per i quali il produttore attui un controllo di produzione in fabbrica certificato da un Organismo notificato e dotato di sistema di attestazione della conformità di tipo 2+;
- *Elementi prefabbricati da parete, realizzati con calcestruzzo normale o alleggerito, con struttura chiusa:* gli elementi prefabbricati destinati a questa tipologia di opera devono essere dotati di Attestato di conformità CE alla norma europea armonizzata UNI EN 14992 per i quali il produttore attui un controllo di produzione in fabbrica certificato da un Organismo notificato e dotato di sistema di attestazione della conformità di tipo 2+ se per uso strutturale e di tipo 4 se per uso non strutturale o leggermente strutturale;
- *Elementi prefabbricati speciali per coperture realizzati con calcestruzzo armato o precompresso, impiegati nella costruzione di edifici, con o senza funzione di separazione rispetto alla resistenza al fuoco:* gli elementi prefabbricati destinati a questa tipologia di opera devono essere dotati di Attestato di conformità CE alla norma europea armonizzata UNI EN 13693 per i quali il produttore attui un controllo di produzione in fabbrica certificato da un Organismo notificato e dotato di sistema di attestazione della conformità di tipo 2+;
- *Scale monolitiche prefabbricate di calcestruzzo e di elementi prefabbricati di calcestruzzo (per esempio scalini singoli) utilizzati per realizzare scale di calcestruzzo armato e/o precompresso:* gli elementi prefabbricati destinati a questa tipologia di opera devono essere dotati di Attestato di conformità CE alla norma europea armonizzata UNI EN 14843 per i quali il produttore attui un controllo di produzione in fabbrica certificato da un Organismo notificato e dotato di sistema di attestazione della conformità di tipo 2+;
- *Pali da fondazione prefabbricati di calcestruzzo, realizzati in fabbrica e destinati ad essere utilizzati in edifici e in opere di ingegneria civile:* gli elementi prefabbricati destinati a questa tipologia di opera devono essere dotati di Attestato di conformità CE alla norma europea armonizzata UNI EN 12794 per i quali il produttore attui un controllo di produzione in fabbrica certificato da un Organismo notificato e dotato di sistema di attestazione della conformità di tipo 2+;

L'elenco di cui sopra non è da ritenersi esaustivo e l'Appaltatore si impegna a verificare la presenza di obbligo di marcatura CE per ogni prodotto prefabbricato avente valenza strutturale da lui prosposto.

20.9.4 Requisiti specifici per muri di sostegno, sottoscarpa e controripa in pannelli prefabbricati

Tali elementi qualora costituiti da pannelli in c.a.v./c.a.p. prefabbricati devono essere disposti verticalmente o con scarpa fino al 10%, secondo le previsioni di Progetto, irrigiditi nella parte interna

da una costolatura che deve estendersi per l'intera altezza del pannello e da una platea di base in conglomerato cementizio armato, gettata in opera.
Muri di altezza superiore a 5,00 m dovranno avere le costolature collegate con la platea di base mediante tiranti prefabbricati in c.a.v.; la cerniera tra tirante e costolatura del pannello dovrà essere sigillata con malta reoplastica premiscelata a ritiro compensato.
I pannelli dovranno avere lo spessore ai bordi non inferiore a 10 cm e dovranno presentare la faccia in vista piana e ben rifinita, con gli spigoli arrotondati.
Difetti di planarità, verificati con un regolo della lunghezza di 4 m, superiori a 5 mm comporteranno automaticamente il rifiuto del pannello che l'Appaltatore dovrà allontanare dal cantiere a sua cura e spese. Al piede dei pannelli dovrà essere realizzato un bordino di rifinitura in malta cementizia.
Nei giunti verticali fra i pannelli dovranno essere inseriti profilati in PVC di idonea sagomatura, atti a trattenere materiali di granulometria superiore a 0,5 mm ed aventi superfici dei fori e/o fessure non inferiore a 50 cm² per metro quadrato di pannello per consentire un facile drenaggio delle acque presenti nel rilevato.
Particolari cautele dovranno essere adottate nel compattamento del rilevato a ridosso dei pannelli facendo eventualmente ricorso anche a pestelli pneumatici per non danneggiare le strutture.
Relativamente agli scavi, l'Appaltatore dovrà rispettare rigorosamente i disegni di Progetto; eventuali eccedenze dovranno essere colmate con getti di conglomerato cementizio a sua cura e spese.
Quando previsto in Progetto, i muri avranno paramento a faccia vista realizzato:

- con lastre in porfido o in pietra locale di equivalente qualità, dello spessore non inferiore a 2 cm, disposte secondo le indicazioni di Progetto ed inglobate nel getto;
- con elementi geometrici in rilevo, di qualsiasi forma prescritta da Progetto, realizzati con apposite matrici in gomma.

20.9.5 Dossier di prequalifica

L'Appaltatore, per ciascun stabilimento di produzione e per ogni elemento prefabbricato che intende impiegare, è tenuto a sottoporre all'approvazione del Direttore dei Lavori un dossier di qualifica almeno 15 giorni prima dell'inizio della produzione contenente:

i) la certificazione del sistema di controllo della produzione (FPC) di calcestruzzo e la certificazione del Sistema di Gestione per la Qualità secondo UNI EN 9001 dell'impianto di produzione certificato da un organismo terzo indipendente;
j) i disegni costruttivi redatti sulla base degli elaborati di progetto esecutivo;
k) per gli elementi che non vengono realizzati esattamente con le geometrie e con le armature indicate negli elaborati del progetto esecutivo oltre ai disegni costruttivi è richiesta anche la relativa relazione di calcolo strutturale redatta mantenendo gli stessi principi utilizzati nel progetto esecutivo in termini di valutazione della sicurezza e vita nominale dell'opera e firmata da un ingegnere abilitato all'esercizio della professione. In questo caso la documentazione da sottoporre all'esame della Direzione Lavori, dovrà pervenire almeno 30 giorni prima dell'inizio della produzione e non entro 15 giorni come indicato in testa a questo paragrafo. Qualora gli elementi prefabbricati vengano realizzati con le geometrie e con le armature indicati negli elaborati del progetto esecutivo è sufficiente riportare questa indicazione nella nota di trasmissione alla Direzione Lavori dei documenti componenti il dossier di qualifica;
l) la marcatura CE ove applicabile per l'elemento prefabbricato in questione;
m) la dichiarazione del direttore dello stabilimento di produzione in cui si afferma che per il confezionamento delle miscele saranno utilizzati solo costituenti conformi ai requisiti di cui al § 20.5 del presente capitolato in quanto non tutti questi requisiti sono fissati entro i limiti di legge ma possono anche essere di qualità superiore;

n) una campionatura che costituirà il riferimento per la qualità della facciavista dei manufatti ove applicabile;
o) per i prefabbricati di produzione occasionale (§ 11.8.1 NTC2018) e comunque di particolare rilevanza strutturale, a insindacabile giudizio del Direttore dei Lavori, il Piano Generale di Fabbricazione e Controlli dello stabilimento di produzione con l'indicazione delle tecnologie, metodologie e sistemi di controllo utilizzati in impianto (PCQ riferito alla realizzazione dell'elemento prefabbricato oggetto di qualifica) per garantire la qualità attesa. Tale piano deve essere redatto in conformità alla norma di prodotto eventualmente applicabili e deve altresì contenere i seguenti controlli minimi:
    - controlli di accettazione di tutti i materiali
    - delle caratteristiche dimensionali e geometriche dell'armatura assemblata, di eventuali inserti;
    - della casseratura/stampi;
    - dei valori di tesatura/stagionatura/taglio trefoli;
    - dei getti;
    - della scasseratura.

    Il piano dovrà essere corredato da una procedura che identifichi le modalità di qualifica dei fornitori nonché le modalità di identificazione e rintracciabilità dei prodotti e di tenuta sottocontrollo delle strumentazioni di misura.

L'impiego di manufatti totalmente o parzialmente prefabbricati richiede la preventiva autorizzazione della Direzione Lavori che potrà essere rilasciata solo dopo aver esaminato la documentazione, verificato la previsione d'utilizzo del manufatto prefabbricato e del suo organico inserimento nel Progetto.

20.9.6 Documenti di accompagnamento delle forniture in cantiere

Le forniture in cantiere dovranno essere accompagnate, oltre che dalla Dichiarazione di Prestazione, da apposite istruzioni nelle quali vengono indicate le procedure relative alle operazioni di trasporto e montaggio degli elementi prefabbricati ai sensi del § 11.8.5 delle NTC 2018.
Tali istruzioni dovranno almeno comprendere, come previsto dal § 11.8.5 delle NTC 2018:
a) i disegni d'assieme che indichino la posizione e le connessioni degli elementi nel complesso dell'opera, compreso l'elenco degli elementi forniti con relativi contrassegni;
b) apposita relazione sulle caratteristiche dei materiali richiesti per le unioni e le eventuali opere di completamento;
c) le istruzioni di montaggio con i necessari dati per la movimentazione, la posa e la regolazione dei manufatti;
d) elaborati contenenti istruzioni per il corretto impiego e la manutenzione dei manufatti. Tali elaborati dovranno essere consegnati dal Direttore dei Lavori al Committente, a conclusione dell'opera;
e) per elementi di serie qualificati, certificato di origine firmato dal fabbricante, il quale con ciò assume per i manufatti stessi le responsabilità che la legge attribuisce al costruttore, e dal Direttore Tecnico responsabile della produzione. Il certificato, che deve garantire la rispondenza del manufatto alle caratteristiche di cui alla documentazione depositata presso il Servizio Tecnico Centrale, deve riportare il nominativo del progettista e copia dell'attestato di qualificazione rilasciato dal Servizio Tecnico Centrale;
f) documentazione, fornita per i prefabbricati di produzione occasionale (§ 11.8.1 NTC2018) e comunque di particolare rilevanza strutturale, attestante i risultati delle prove a compressione effettuate in stabilimento su cubi di calcestruzzo (estratto del Registro di produzione) e copia dei

certificati relativi alle prove effettuate da un laboratorio incaricato ai sensi dell'art. 59 del DPR n. 380/2001; tali documenti devono essere relativi al periodo di produzione dei manufatti;
g) le schede e documenti attestanti l'avvenuta effettuazione e l'esito dei controlli minimi di cui al § 20.9.5 lettera f).
Nello specifico dovrà essere consegnato al Direttore dei Lavori il certificato di origine firmato dal fabbricante, il quale con ciò assume per i manufatti stessi le responsabilità che la legge attribuisce al costruttore e al Direttore Tecnico responsabile della produzione. Il certificato, che deve garantire la rispondenza del manufatto alle caratteristiche di cui alla documentazione depositata presso il Servizio Tecnico Centrale, deve riportare il nominativo del progettista e copia dell'attestato di qualificazione rilasciato dal Servizio Tecnico Centrale.
Copia del certificato d'origine dovrà essere allegato alla relazione del Direttore dei Lavori di cui all'art. 65 del DPR n. 380/2001 (Relazione a struttura ultimata).
p) I disegni as built dell'opera prefabbricata.

20.10 Controlli in corso d'opera sulle miscele

La Direzione Lavori eseguirà controlli di accettazione e prelievi periodici delle miscele al loro ingresso in cantiere secondo le modalità e la frequenza indicate ai §§ 11.2.2, 11.2.4 e 11.2.5 delle NTC 2018, su miscele omogenee di conglomerato come definite al § 11.2.1 del citato Decreto per verificare la corrispondenza tra le caratteristiche dei materiali e degli impasti impiegati e quelle definite in sede di qualifica e l'utilizzo delle miscele previste per le varie parti delle opere.

20.10.1 Controlli di accettazione delle miscele all'arrivo in cantiere

Prima di accettare la fornitura in cantiere e di procedere con i getti e i prelievi, dovranno essere eseguiti, alla presenza di un incaricato della Direzione dei Lavori, i seguenti controlli:

- verificare che le condizioni ambientali (temperatura, vento, pioggia) siano compatibili con le specifiche di accettabilità del presente capitolato e di prequalifica. Si definisce comunque "ordinaria" la maturazione del calcestruzzo che avviene a temperatura ambiente (5÷32°C) con esclusione d'ogni intervento esterno di riscaldamento o raffreddamento. In caso di temperature dell'aria inferiori a 5°C e superiori a 32°C occorre il rispetto delle prescrizioni di cui ai rispettivi paragrafi di questo capitolato. Nel caso ci sia il rischio che pioggia o altra acqua corrente possano dilavare il cemento e i fini del calcestruzzo fresco durante il getto occorre procedere solo in presenza di adeguate protezioni a cura ed onere dell'Appaltatore. Le operazioni di getto possono iniziare e proseguire solo se tale verifica è soddisfatta;
- verificare che gli elementi contenuti nel documento di consegna (Rck, classe di consistenza, classe di esposizione, diametro massimo dell'aggregato, tipo di cemento, ecc.) siano conformi alle specifiche di qualifica per la parte d'opera in costruzione e respingere il carico in caso di loro mancata corrispondenza. Questo controllo deve essere fatto dall'Esecutore su tutte le forniture in ingresso e in contraddittorio con la Direzione Lavori quando è previsto il prelievo per la verifica delle resistenze (ogni 100 mc di miscela omogenea o giorno di getto nel caso di getti inferiori ai 100mc);
- verificare che il tempo intercorrente tra il confezionamento dell'impasto all'impianto (data di inizio carico in betoniera così come riportato nel documento di trasporto) e l'inizio delle operazioni di scarico non sia superiore a quanto accettato in fase di qualifica. Nel caso in cui tale tempistica non sia rispettata occorre sempre eseguire la prova di consistenza nelle modalità di cui al successivo paragrafo.

Le modalità dei controlli di accettazione vengono descritti nel paragrafo 20.10.6

20.10.2 Controlli e prove sul conglomerato cementizio fresco

In corso di lavorazione a suo carico l'Appaltatore deve eseguire, in presenza di personale della Direzione Lavori all'atto dell'esecuzione del prelievo per le prove obbligatorie di legge, i seguenti controlli con le modalità e frequenze riportate.
L'Appaltatore, per lo svolgimento dei controlli e prove del presente paragrafo, potrà avvalersi di un proprio tecnologo qualificato in materia di conglomerati cementizi il cui curriculum sarà stato condiviso anticipatamente con la Direzione Lavori.

Con frequenza giornaliera dovranno essere eseguiti i controlli di:

- *Temperatura della miscela:* quando al momento del getto la temperatura dell'aria è minore di 5°C occorre verificare la temperatura della miscela nel rispetto dei limiti di cui al § 20.12.7.2. Quando invece la temperatura dell'aria supera i 32°C la temperatura della miscela al momento del getto non deve superare il limite di cui al § 20.12.8.
- *Corretta miscelazione:* ispezione visiva per ogni giorno di getto su ogni miscela omogenea.
- *Contenuto d'aria:* la prova del contenuto d'aria secondo la Norma UNI EN 12350-7 è richiesta per tutti i calcestruzzi aerati. Quando il contenuto percentuale d'aria aggiunta non sarà quello preliminarmente stabilito, l'autobetoniera sarà allontanata dal cantiere;
- *Consistenza:* il controllo della consistenza deve essere fatto ogni 100 mc di miscela omogenea o giorno di getto nel caso di getti inferiori ai 100mc o con frequenze maggiori se ritenuto necessario dalla Direzione Lavori, secondo le modalità seguenti;
  - *Per CLS da asciutti a superfluidi*: La prova di consistenza si eseguirà misurando l'abbassamento al cono (slump), come disposto dalla Norma UNI EN 12350-2. Tale prova sarà considerata significativa per abbassamenti compresi 2 e 23 cm;
  - *Per CLS SCC:* La prova di consistenza si eseguirà in riferimento alla norma UNI EN 12350-8 misurando la classe di spandimento SF e la classe di viscosità t_{500} misurando il tempo di spandimento. Deve essere inoltre verificata la resistenza alla segregazione mediante setacciatura in riferimento alla UNI EN 12350-11;
  - *Per CLS a consistenza asciutta (soprattutto se con comportamento tixotropico):* Per abbassamenti inferiori a 2 cm si dovrà eseguire la prova con la tavola a scosse secondo la Norma UNI EN 12350-5 (diametro di spandimento alla tavola a scosse) o con l'apparecchio VEBE secondo la Norma UNI EN 12350-3;

  Se pompato, il conglomerato cementizio dovrà avere alla bocca di uscita della tubazione il valore dello slump di progetto. Se la consistenza non è quella prescritta, con tolleranza di ± 3 cm tra un impasto e l'altro nella stessa giornata di getto per la medesima opera, lo stesso non dovrà essere impiegato per l'opera ma scaricato in luogo appositamente destinato dall'Appaltatore o restituito all'impianto ove è stato prodotto. Si pone assoluto divieto all'aggiunta d'acqua al calcestruzzo fresco fornito in cantiere, a tal fine il serbatoio d'acqua della autobetoniera dovrà risultare sempre pieno all'atto del getto e il relativo rubinetto deve essere dotato di apposito sigillo di sicurezza da applicare sulla maniglia. In assenza di detto sigillo, sarà facoltà del Direttore dei Lavori prescrivere prove aggiuntive sul calcestruzzo per determinare il contenuto d'acqua, i cui oneri saranno a totale carico dell'Esecutore.

- A discrezione della DL e in ogni caso ogni 1000 mc di getto di miscela omogenea e comunque con frequenza minima settimanale la Direzione Lavori dovrà provvedere, in contraddittorio con l'Appaltatore e con laboratorio incaricato dalla Committente, a esegure i seguenti controlli:
- *Omogeneità*: la prova d'omogeneità sarà eseguita vagliando ad umido due campioni di conglomerato, prelevati a 1/5 e 4/5 dello scarico della betoniera, attraverso il vaglio a maglia quadra da 4 mm. La percentuale in peso di aggregato grosso nei due campioni non dovrà differire

più del 6%. Inoltre lo slump dei due campioni prima della vagliatura non dovrà differire più di 3 cm. Questo controllo deve essere fatto per ogni giorno di getto su ogni miscela omogenea;

- *Rapporto acqua/cemento-acqua essudata*: il rapporto acqua/cemento del conglomerato cementizio fresco dovrà essere controllato in cantiere, secondo la Norma UNI 11201, e l'acqua essudata (bleeding secondo UNI 7122).

Nel caso di calcestruzzi fibro-rinforzati saranno eseguite altresì le seguenti prove:

- *Contenuto di fibre*. Per fibre metalliche secondo la norma EN 14721. Per fibre polimeriche di classe II secondo EN 14488-7. Per fibre polimeriche di classe Ia e Ib si devono utilizzare i metodi di prova vigenti nel luogo di impiego. In tutti i casi si devono prelevare tre campioni per carico durante lo scarico dal primo, dal centrale e dal terzo e ultimo carico. La miscela sarà ritenuta conforme se sono soddisfatti entrambi i criteri della UNI EN 206 appendice B, prospetto B2:

- Prospetto B2

Applicabile a	Criterio
Ogni campione	≥0,80 del valore minimo specificato
Media di 3 campioni da un carico	≥0,85 del valore minimo specificato

La Direzione Lavori si riserva la facoltà di prelevare quando lo ritenga opportuno, ulteriori campioni di materiali o di conglomerato cementizio da sottoporre ad esami o prove di laboratorio.

20.10.3 Ulteriori prove sul conglomerato cementizio indurito per la verifica della durabilità ed altri requisiti

Nel corso dei lavori, a discrezione della DL, la Direzione Lavori in contraddittorio l'appaltatore deve eseguire i seguenti ulteriori prelievi ottenuti da getti effettuati in cantiere, idonei all'esecuzione delle seguenti prove con le modalità e frequenze riportate:

- Contenuto di cloruri nel calcestruzzo: come definito nella norma UNI EN 14629. I limiti di accettabilità sono riportati nel § 20.4.3.
  Frequenza del controllo: una prova ogni 1.000 mc di miscela omogenea contenente armatura, se ritenuta necessaria dalla DL;
- Gelo e disgelo (solo per miscele con classe di esposizione XF): come definito nella norma UNI 7087. I limiti di accettabilità sono riportati nel § 20.4.4.1.
  Frequenza del controllo: una prova ogni 1000 mc di miscela omogenea con classe di esposizione XFn, se ritenuta necessaria dalla DL;
- Grado di compattazione: qualora la Direzione Lavori abbia dubbi sull'entità del costipamento, o rilevi difetti sulle facce a vista del calcestruzzo (es. vespai) può disporre la verifica della resistenza a compressione in opera del calcestruzzo da valutarsi mediante estrazione e successivo schiacciamento di carote. I limiti di accettabilità sono riportati nel § 20.10.6.4.
- Resistenza alla penetrazione d'acqua: come definito nella norma UNI EN 12390-8. I limiti di accettabilità sono riportati nel § 20.4.4.3.
  Frequenza del controllo: una prova ogni 1000 mc di miscela omogenea, se ritenuta necessaria dalla DL;
- Espansione contrastata (solo per miscele a ritiro compensato): come definito nella norma UNI 8148. I limiti di accettabilità sono riportati nel § 20.4.5.7.
  Frequenza del controllo: una prova ogni 1000 mc di miscela omogenea, se ritenuta necessaria dalla DL;

- Permeabilità delle pavimentazioni in calcestruzzo drenante come definito al §20.12.9, se ritenuta necessaria dalla DL.

20.10.4 Controlli sul calcestruzzo proiettato

20.10.4.1 Controlli sul calcestruzzo fresco

In corso di lavorazione l'Appaltatore deve eseguire, in contraddittorio con la Direzione Lavori, i seguenti controlli sul fresco con le modalità e frequenze di seguito riportate:

- *Consistenza (per miscele umide)*: la prova di consistenza si eseguirà misurando l'abbassamento al cono (slump), come disposto dalla Norma UNI EN 12350-2. Tale prova sarà considerata significativa per abbassamenti compresi 2 e 23 cm.
  Frequenza del controllo: ogni giorno di getto indipendentemente dalle categorie di ispezione di cui al § 20.4.5.3.2.4;
- *Rapporto acqua/cemento (per miscele umide)*: dovrà essere controllato in cantiere, secondo la Norma UNI 11201, se ritenuta necessaria dalla DL
  Frequenza del controllo: ogni giorno di getto indipendentemente dalle categorie di ispezione di cui al § 20.4.5.3.2.4, se ritenuta necessaria dalla DL;
- *Quantità aggiunta di accelerante*: registrazione della quantità aggiunta di accelerante.
  Frequenza del controllo in riferimento alle categorie di ispezione di cui al § 20.4.5.3.2.4:
  - categoria di ispezione 1 e 2 : nessuna registrazione;
  - categoria di ispezione 3: una per ogni giorno di getto;
- *Contenuto di fibre*: dovrà essere controllato in cantiere, secondo la Norma UNI EN 14488-7.
  Frequenza del controllo in riferimento alle categorie di ispezione di cui al § 20.4.5.3.2.4:
  - categoria di ispezione 1: una prova per ogni wbs;
  - categoria di ispezione 2: una prova ogni 100 m^3 di getto;
  - categoria di ispezione 3: una prova ogni 50 m^3 di getto.

20.10.4.2 Controlli sul calcestruzzo indurito

A lavorazione ultimata sulla miscela indurita l'Appaltatore deve eseguire, in contraddittorio con la Direzione Lavori, i seguenti controlli con le modalità e frequenze di seguito riportate:

- *Prova di resistenza del calcestruzzo proiettato giovane*: secondo la Norma UNI EN 14488-2, solo per gli interventi di stabilizzazione delle pareti di scavo.
  Frequenza del controllo in riferimento alle categorie di ispezione di cui al § 20.4.5.3.2.4:
  - categoria di ispezione 1: una prova per ogni 5.000 m^2 o una volta 2 due mesi;
  - categoria di ispezione 2: una prova per ogni 2.500 m^2 o una volta al mese;
  - categoria di ispezione 3: una prova per ogni 250 m^2 o 2 volte al mese.
- *Prova di resistenza a compressione*: secondo la Norma UNI EN 12504-1.
  Frequenza del controllo in riferimento alle categorie di ispezione di cui al § 20.4.5.3.2.4:
  - categoria di ispezione 1: una prova per ogni 500 m^3;
  - categoria di ispezione 2: una prova per ogni 100 m^3;
  - categoria di ispezione 3: una prova per ogni 50 m^3.
- *Massa volumica*: secondo la Norma UNI EN 12390-7.
  Frequenza del controllo in riferimento alle categorie di ispezione di cui al § 20.4.5.3.2.4:
  - categoria di ispezione 1: una prova per ogni 500 m^3;
  - categoria di ispezione 2: una prova per ogni 100 m^3;
  - categoria di ispezione 3: una prova per ogni 50 m^3.
- *Resistenza alla penetrazione d'acqua*: secondo la Norma UNI EN 12390-8, da non eseguire per gli interventi di stabilizzazione dei terreni.

Frequenza del controllo in riferimento alle categorie di ispezione di cui al § 20.4.5.3.2.4:
  - categoria di ispezione 1: una prova per ogni 1.000 m^2 e minimo una prova;
  - categoria di ispezione 2: una prova per ogni 500 m^2 e minimo 2 prove;
  - categoria di ispezione 3: una prova per ogni 250 m^2 e minimo 3 prove.

- *Resistenza al gelo/disgelo*: secondo la Norma UNI 7087 e solo per classi XF, da non eseguire per gli interventi di stabilizzazione dei terreni.
  Frequenza del controllo in riferimento alle categorie di ispezione di cui al § 20.4.5.3.2.4:
  - categoria di ispezione 1: una prova per ogni 1.000 m^2 e minimo una prova;
  - categoria di ispezione 2: una prova per ogni 500 m^2 e minimo 2 prove;
  - categoria di ispezione 3: una prova per ogni 250 m^2 e minimo 3 prove.
- *Aderenza*: secondo la Norma UNI EN 14488-4 (per la stabilizzazione pareti di scavo) e UNI EN 1542 (per il consolidamento delle opere) e non applicabile alle strutture indipendenti.
  Frequenza del controllo in riferimento alle categorie di ispezione di cui al § 20.4.5.3.2.4:
  - categoria di ispezione 1: una prova per ogni 1.000 m^2 e minimo una prova;
  - categoria di ispezione 2: una prova per ogni 500 m^2 e minimo 2 prove;
  - categoria di ispezione 3: una prova per ogni 250 m^2 e minimo 3 prove.
- *Spessore*: secondo la Norma UNI EN 14488-6.
  Frequenza del controllo in riferimento alle categorie di ispezione di cui al § 20.4.5.3.2.4:
  - categoria di ispezione 1: una prova per ogni 3.000 m^2;
  - categoria di ispezione 2: una prova per ogni 1.000 m^2;
  - categoria di ispezione 3: una prova per ogni 500 m^2.
- *Spessore del rivestimento del consolidamento delle gallerie*: con strumentazione topografica.
  Frequenza del controllo: su tutta la superficie con report topografico a cura dell'Appaltatore da sottoporre all'approvazione della Direzione Lavori.

Specificatamente per i calcestruzzi proiettati fibrorinforzati saranno eseguite le seguenti ulteriori prove:

- *Contenuto di fibre*: dovrà essere controllato in cantiere, secondo la Norma UNI EN 14488-7 quando non è possibile eseguire del contenuto di fibre sul fresco.
  Frequenza del controllo in riferimento alle categorie di ispezione di cui al § 20.4.5.3.2.4:
  - categoria di ispezione 1: una prova per ogni wbs;
  - categoria di ispezione 2: una prova ogni 100 m^3 di getto;
  - categoria di ispezione 3: una prova ogni 50 m^3 di getto.
- *Resistenza residua o capacità di assorbimento dell'energia*: dovrà essere controllato in cantiere, secondo la Norma UNI EN 14488-3 o UNI EN 14488-5.
  Frequenza del controllo in riferimento alle categorie di ispezione di cui al § 20.4.5.3.2.4:
  - categoria di ispezione 1: una prova per ogni 10.000 m^2 e minimo una prova;
  - categoria di ispezione 2: una prova per ogni 2.000 m^2 e minimo 2 prove;
  - categoria di ispezione 3: una prova per ogni 500 m^2 e minimo 3 prove.
- *Resistenza ultima alla flessione*: dovrà essere controllato in cantiere, secondo la Norma UNI EN 14488-3.
  Frequenza del controllo in riferimento alle categorie di ispezione di cui al § 20.4.5.3.2.4:
  - categoria di ispezione 1: una prova per ogni 10.000 m^2 e minimo una prova;
  - categoria di ispezione 2: una prova per ogni 2.000 m^2 e minimo 2 prove;
  - categoria di ispezione 3: una prova per ogni 500 m^2 e minimo 3 prove.
- *Resistenza a flessione di primo picco*: dovrà essere controllato in cantiere, secondo la Norma UNI EN 14488-3.
  Frequenza del controllo in riferimento alle categorie di ispezione di cui al § 20.4.5.3.2.4:

- categoria di ispezione 1: una prova per ogni 10.000 m^2 e minimo una prova;
- categoria di ispezione 2: una prova per ogni 2.000 m^2 e minimo 2 prove;
- categoria di ispezione 3: una prova per ogni 500 m^2 e minimo 3 prove.

Per i limiti di accettabilità delle prove vedere i criteri di conformità § 7.5 UNI EN 14487-1 e i valori di qualifica di cui al § 20.8.2.3.

20.10.4bis Controlli sul calcestruzzo fibrorinforzato FRC indurito

Per ogni miscela omogenea è obbligatorio fare almeno un prelievo di due campioni ogni 100 m^3 di getto, da sottoporre a prova di flessione secondo la EN 14651. Le prove saranno eseguite dopo 28 giorni di maturazione in ambiente controllato con temperatura T = 20 ± 2 °C e UR ≥ 95%, entro 45 giorni dal prelievo.
Per un numero totale di prelievi da miscela omogenea inferiore a 15, il controllo di accettazione è superato se il valore medio di $f_{R,1}$ e $f_{R,3}$ ($f_{R,1m}$, $f_{R,3m}$) rispetta tutti i requisiti di seguito indicati:

vi. $f_{R,1m}/ f^f_{ct,Lm}$ > 0,4
vii. $f_{R,1m}$ > 1,3 $f_{R,1k}$
viii. $f_{R,1min}$ > 0,7 $f_{R,1k}$
ix. $f_{R,3m}$ > 1,3 $f_{R,3k}$
x. $f_{R,3min}$ > 0,7 $f_{R,3k}$

ove i valori caratteristici $f_{R,1k}$ e $f_{R,3k}$ sono i valori nominali e si riferiscono alla classe di appartenenza dichiarata per il FRC.

Per un numero totale di prelievi da miscela omogenea uguale o superiore a 15, il controllo di accettazione è superato se il valore medio di $f_{R,1}$ e $f_{R,3}$ ($f_{R,1m}$, $f_{R,3m}$) rispetta tutti i requisiti di seguito indicati:

xi. $f_{R,1m}/ f^f_{ct,Lm}$ > 0,4
xii. $f_{R,1m}$ > $f_{R,1k}$ +1,48s
xiii. $f_{R,1min}$ > 0,7 $f_{R,1k}$
xiv. $f_{R,3m}$ > $f_{R,3k}$ +1,48s
xv. $f_{R,3min}$ > 0,7 $f_{R,3k}$

ove i valori caratteristici $f_{R,1k}$ e $f_{R,3k}$ sono i valori nominali e si riferiscono alla classe di appartenenza dichiarata per il FRC e ove "s" è lo scarto quadratico medio.

20.10.5 Prelievi dei conglomerati cementizi

Il prelievo dei campioni deve essere eseguito in modo tale che non sia possibile un cambiamento sostanziale delle proprietà e della composizione del calcestruzzo tra il momento del campionamento e quello della posa in opera. Pertanto, il prelievo del conglomerato per i controlli di accettazione si deve eseguire all'uscita della betoniera (non prima di aver scaricato almeno 0.3 m^3 di conglomerato e possibilmente a metà del carico), conducendo tutte le operazioni in conformità con le prescrizioni indicate nelle NTC2018 e nella norma UNI-EN 206.
Il numero minimo e la tipologia dei controlli di accettazione relativi alla classe di resistenza sarà conforme a quanto previsto al § 11.2.5 delle NTC2018 e consiste in un prelievo (calcestruzzo necessario a confezionare due/tre coppie di provini cubici lato 150 mm) ogni 100 mc di miscela omogenea o giorno di getto nel caso di getti inferiori ai 100 mc. E' obbligo del Direttore dei Lavori prescrivere ulteriori prelievi rispetto al numero minimo indicato tutte le volte che variazioni delle prestazioni reologiche (lavorabilità, acqua essudata, resistenza alla segregazione, diametro massimo dell'aggregato) dell'impasto possano far presumere una variazione di qualità del calcestruzzo stesso, tale da non poter più essere considerato omogeneo.

In particolare, i campioni di calcestruzzo devono essere preparati con casseforme rispondenti alla norma UNI EN 12390-1, confezionati e stagionati secondo le indicazioni riportate nella norma UNI EN 12390-2 e provati presso un laboratorio Ufficiale secondo la UNI EN 12390-3 determinando altresì la massa volumica secondo la UNI EN 12390-7. Le casseforme devono essere realizzate con materiali rigidi (acciao o PVC rigido escludendo l'impiego di casseforme in polistirolo) e al fine di prevenire deformazioni durante le operazioni di preparazione dei provini, devono essere a tenuta stagna e non assorbenti. La geometria delle casseforme deve essere cubica, di lato pari a 150 mm. Con il calcestruzzo di ciascun prelievo verranno confezionate almeno due coppie di provini per il calcestruzzo armato e almeno tre coppie di provini per il calcestruzzo armato precompresso. Il Direttore dei Lavori o un tecnico di sua fiducia provvederanno ad identificare ciascun provino mediante scritte indelebili su fascette di plastica inserite nella superficie del provino fresco e non rimovibili oppure mediante l'inserimento di microchip contenenti tutte le informazioni relativa al cantire, al giorno di prelievo, all'elemento cui il calcestruzzo è destinato).
I provini verranno lasciati nelle casseforme, protetti per evitare l'evaporazione dell'acqua e riposti in ambienti chiusi a temperatura tra 15 e 25 °C; gli stessi saranno appoggiati al di sopra di una superficie orizzontale piana in posizione non soggetta ad urti e vibrazioni in adeguate strutture predisposte dall'Impresa.
Il calcestruzzo campionato deve essere lasciato all'interno delle casseforme per almeno 16 ore (in ogni caso non oltre i 3 giorni. Trascorso questo termine, a cura dell'Impresa, i provini dovranno essere conservati, una volta rimossi dalle casseforme, in acqua alla temperatura costante di 20±2 °C, oppure in ambiente termostatato posto alla temperatura di 20±2 °C ed umidità relativa superiore al 95%. Nel caso di conservazione in acqua dei provini, il contenitore deve avere dei ripiani realizzati con griglie (è consentito l'impiego di reti elettrosaldate) per fare in modo che tutte le superfici siano a contatto con l'acqua.
L'Impresa sarà responsabile delle operazioni di corretta conservazione dei provini campionati e della loro custodia in cantiere prima dell'invio al Laboratorio Ufficiale incaricato di effettuare le prove di schiacciamento unitamente ad una domanda ufficiale di richiesta prove sottoscritta dalla Direzione Lavori, la quale allegherà a tale richiesta, copia del verbale di prelievo.
Qualora il Progettista e/o la Direzione dei Lavori abbiano necessita di prove complementari (per esigenze legate alla logistica di cantiere, alla rapida messa in servizio di una struttura o di porzioni di essa o alla messa in tensione dei cavi di precompressione) potrà prescrivere l'ottenimento di un determinato valore della resistenza caratteristica in tempi inferiori ai canonici 28 giorni o a temperature di maturazione diverse dai 20 °C. In questi casi, oltre al numero di provini previsti per ciascun controllo di accettazione, sarà confezionata un'ulteriore coppia di provini con le medesime modalità per opere in calcestruzzo armato e due ulteriori coppie per il calcestruzzo armato precompresso. Queste coppie di provini saranno maturate in adiacenza alla struttura o all'elemento strutturale per il quale è stato richiesto un valore della resistenza caratteristica a tempi e/o temperature diversi da quelli standard. Per getti massivi per il quali si richiede un valore minimo della resistenza caratteristica a breve termine (ad es. nel "rampaggio" di pile da ponte di grande spessore), i provini potranno essere maturati secondo un profilo di temperatura che segua quello del calcestruzzo in opera valutato attraverso opportuno termocoppie annegate nel getto.

20.10.5.1 Prelievi del calcestruzzo proiettato

Il riferimento per i prelievi del calcestruzzo proiettato è la norma UNI EN 14488-1.
Il prelievo di un campione fresco della miscela di base deve essere eseguito dal miscelatore o dalla pompa o lancia di proiezione con una paletta, in una serie di porzioni che devono essere combinate in modo da formare un campione omogeneo, in accordo alla EN 12350-1.

I campioni induriti possono essere tagliati dal materiale in sito o da un pannello di prova. Occorre tenere presente che le proprietà possono risultare diverse in ciascuno di questi luoghi di proiezione per cause dovute al processo di proiezione. Il Direttore dei Lavori deve pertanto scegliere il tipo di campione e il luogo di proiezione più appropriati, in base allo scopo del controllo di qualità e ai provini necessari per misurare una o più proprietà.
In sito i campioni devono essere prelevati da materiale proiettato dopo la presa, in accordo alla EN 12504-1.
In caso di utilizzo di pannelli di prova gli stampi devono essere posizionati con inclinazione di 20° rispetto alla verticale (salvo qualora sia specificato un orientamento diverso, per esempio controsoffitto) e il calcestruzzo deve essere proiettato adottando la stessa attrezzatura, tecnica, spessore dello strato per ogni passata e distanza di proiezione utilizzati per l'opera effettiva. Anche l'operatore deve essere lo stesso.
Il pannello deve essere protetto immediatamente dalla perdita di umidità utilizzando lo stesso metodo che si utilizza nella costruzione. I campioni devono essere siglati ai fini della successiva identificazione (miscela, luogo, data e operatore) con inchiostro o vernice indelebile. Il pannello non deve essere spostato nelle 18 h successive alla proiezione, salvo qualora sia stato concordato un periodo più breve. Dopodiché la maturazione deve continuare alle condizioni in sito per almento 7 giorni o fino al momento del prelievo dei campioni. I campioni devono essere prelevati dai campioni di prova mediante carotaggio o segati dal pannello e non devono includere materiale prelevato da aree difettose.
Il pannello deve essere costituito da uno stampo di acciaio o di altro materiale rigido non assorbente (lamiera di acciaio di almeno 4 mm o compensato di 18 mm di spessore). Le dimensioni minime della parte piana devono essere 500 mm x 500 mm per la proiezione manuale e 1000 mm x 1000 mm per la proiezione automatizzata. Le dimensioni effettive devono essere scelte tenendo in considerazione il tipo, il numero e le dimensioni dei campioni da prelevare. Lo spessore deve essere appropriato rispetto alle dimensioni dei provini da tagliare dal pannello, ma non deve essere minore di 100 mm. Devono essere prese le misure necessarie per evitare l'intrappolamento di materiale che rimbalza nello stampo (per esempio nei lati scanalati o fessurati).
Per le dimensioni delle carote il riferimento è rappresentato dal contenuto del § 20.10.6.4.

20.10.6 Resistenza dei conglomerati cementizi

La resistenza cubica dei conglomerati cementizi verrà controllata mediante i *controlli di accettazione*, che dovranno essere effettuati, per ciascuna opera o parte di opera, su tutte le miscele qualificate impiegate. Le resistenze di prelievo a 28 giorni (o a tempi diversi se richiesto) verranno determinate dal Laboratorio Ufficiale secondo le UNI EN 12390-3 e 4, e verranno utilizzate per verifica della conformità della resistenza del calcestruzzo impiegato a quella di Progetto.
Le prove a compressione vanno eseguite obbligatoriamente tra il 28° e il 30° giorno di maturazione.
La verifica verrà eseguita con il metodo statistico (tipo B) mentre solo per volumi di miscela omogenea minori di 1500 m^3 potrà essere utilizzato il metodo forfetario (tipo A).
In entrambi i casi (controllo Tipo A o B), nulla sarà dovuto all'Appaltatore se la resistenza R_{ck} risulterà maggiore di quella indicata negli elaborati progettuali.

20.10.6.1 Controlli di accettazione con metodo Tipo A

Un controllo di accettazione di tipo A è riferito ad un quantitativo di miscela omogenea non maggiore di 300 m^3 ed è rappresentato da tre prelievi,ciascuno dei quali eseguito su un massimo di 100 m^3 di getto. Per ogni giorno di getto va eseguito almeno un prelievo. Dovrà risultare per ogni gruppo di tre prelievi:

- $R_{c,min} \geq R_{ck} - 3.5$

- $R_{cm28} \geq R_{ck} + 3.5$

Dove:
$R_{c,min}$ = minore valore di resistenza dei prelievi (N/mm²);
R_{cm28} = resistenza media dei prelievi (N/mm²);
R_{ck} è la resistenza caratteristica di Progetto.
Nelle costruzioni con meno di 100 m^3 di getto di miscela omogenea è comunque obbligatorio il prelievo giornaliero.

20.10.6.2 Controlli di accettazione con metodo Tipo B

Il controllo di tipo B, riferito a una definita miscela omogenea, va eseguito con una frequenza non minore di un controllo ogni 1500 m^3 di calcestruzzo. Ogni controllo di accettazione di tipo B è costituito da almeno 15 prelievi, ciascuno dei quali eseguito su 100m^3 di getto di miscela omogenea. Per ogni giorno di getto va comunque effettuato almeno un prelievo.
Devono essere verificate le disuguaglianze:

- $R_{c,min} \geq R_{ck} - 3.5$
- $R_{cm28} \geq R_{ck} + 1.48\ s$

Dove:
s è lo scarto quadratico medio dei valori delle resistenze di prelievo;
$R_{c,min}$ = minore valore di resistenza dei prelievi (N/mm²);
R_{cm28} = resistenza media dei prelievi (N/mm²);
R_{ck} è la resistenza caratteristica di Progetto.
Non possono essere accettati calcestruzzi con coefficiente di variazione (s/Rm) superiore a 0,3, dove s è lo scarto quadratico medio e Rm è la resistenza media dei prelievi (N/mm^2). Inoltre, le NTC 2018 prevedono che con coefficiente di variazione superiore a 0,15 occorrono controlli più accurati, integrati con prove complementari di cui al §11.2.7 delle NTC 2018

20.10.6.3 Controllo della resistenza per tempi inferiori a 28 giorni

Per il calcestruzzo armato la prima coppia verrà provata a 7 giorni e la seconda a 28 giorni, salvo diverse indicazioni da progetto o della Direzione Lavori. Per il calcestruzzo armato precompresso si eseguiranno le prove a 3, 7 e 28 giorni, salvo diverse indicazioni da progetto o della Direzione Lavori. Il valore medio delle resistenze di ciascuna coppia verrà designato "resistenza di prelievo".
I valori delle resistenze di prelievo a 3 oppure a 3 e 7 giorni, verranno determinati presso il Laboratorio della Direzione dei Lavori e impiegati per confronto con i dati corrispondenti ottenuti in fase di qualifica all'impianto, per una contabilizzazione provvisoria in attesa dei dati a 28 giorni.
Nel caso che la resistenza ricavata dalle prove a 7 giorni risultasse inferiore a quella prevista, la Direzione Lavori, nell'attesa dei risultati ufficiali, potrà a suo insindacabile giudizio ordinare la sospensione dei getti dell'opera interessata senza che l'Appaltatore possa accampare per questo alcun diritto.

20.10.6.4 Stima della resistenza caratteristica del calcestruzzo messo in opera

Se dalle prove eseguite presso il Laboratorio Ufficiale, risultassero Non Conformità nei controlli di accettazione, la Direzione Lavori aprirà corrispondentemente delle Non Conformità che dovranno essere risolte, se possibile d'intesa con il Progettista, come stabilito nel seguito. Tutte le relative prove saranno a totale carico dell'Appaltatore. In particolare, a seguito di un mancato superamento del controllo di accettazione, la DL disporrà l'accertamento della resistenza a compressione in opera (resistenza in sito) sugli elementi strutturali realizzati con il calcestruzzo risultato non conforme al controllo di accettazione.
La resistenza in sito del conglomerato va calcolata secondo quanto previsto nella norma UNI EN

13791 al § 9.2 (per la stima della resistenza a compressione per la valutazione strutturale di un'opera esistente occorre considerare il § 8 non oggetto di questo articolo di capitolato).
Ciascuna zona di prova deve essere suddivisa in volumi di circa 30 m^3 intendendo per zona di prova uno o più elementi strutturali simili o componenti prefabbricati di calcestruzzo noti o che si suppone siano stati ottenuti da calcestruzzo con gli stessi costituenti e la stessa classe di resistenza a compressione o equivalenti al volume definito in associazione a prove di indentità per la resistenza a compressione. Qualora vi siano meno di 30 m^3 si può trattare come un unico volume, a condizione che il calcestruzzo sia stato fornito in un solo giorno e che non vi siano indicazioni che uno dei carichi possa essere diverso dagli altri. Il numero minimo di aree di prova per ogni volume è specificato nel prospetto 8 della norma UNI EN 13791 di seguito riportato per comodità di consultazione intendendo per area di prova un'area limitata selezionata per le misurazioni generalmente utilizzata per stimare un risultato di prova da utilizzare per la valutazione della resistenza a compressione in sito. Il numero di carote da prelevare è a discrezione della DL e dipende dal volume di calcestruzzo da controllare oltre che dal numero di elementi costruttivi realizzati. Si potrà fare utile riferimento in tal senso a quanto riportato nella EN 13791:2019 per una test region o small test region.

Prospetto 8 UNI EN 13791 - Criteri per la valutazione basata sui dati di prove su carote			
N. di volumi di circa 30 m^3 nella zona di prova	N. min di aree di prova per ciascun volume[a)]	Media dei risultati di prova su carote per la zona di prova[b)]	Risultato di prova più basso[b),c)]
1[d)]	3	-	≥ 0,85 ($f_{ck,spec} - M$)
da 2 a 4	2	≥ 0,85 ($f_{ck,spec}$+1)	≥ 0,85 ($f_{ck,spec} - M$)
da 5 a 6	2	≥ 0,85 ($f_{ck,spec}$+2)	≥ 0,85 ($f_{ck,spec} - M$)
a) per carote con diametro ≥ 75 mm il numero minimo di carote per ottenere un risultato di prova per ciascuna area di prova è 1. b) la resistenza delle carote può essere espressa come $f_{c,1:1core}$ o $f_{c,2:1core}$ in base al valore selezionato di $f_{ck,spec}$. c) dove *M* = 4 MPa per la classe di resistenza a compressione C20/25 o superiore. Pr C16/20, C12/15 e C8/10 il margine *M* deve essere ridotto rispettivamente a 3, 2 e 1. d) condizione che sia trattato come un unico volume. Qualora vi siano meno di 30m^3 si può trattare come unico volume a condizione che il calcestruzzo sia stato fornito in un solo giorno e che non vi siano indicazioni che uno dei carichi possa essere diverso dagli altri.			
Legenda: $f_{ck,spec}$: Resistenza caratteristica minimma di provini cilindrici 2:1 associata alla classe di resistenza a compressione specificata. Per esempio $f_{ck,spec}$ è 30 MPa per una classe di resistenza a compressione C30/37 $f_{c,1:1core}$ o $f_{c,2:1core}$: Resistenza a compressione di una carota determinata in conformità alla EN 12504-1. Se il rapporto lunghezza/diametro della carota è 1:1 si utilizza l'abbreviazione $f_{c,1:1core}$ e se il rapporto lunghezza/diametro della carota è 2:1 si utilizza l'abbreviazione $f_{c,2:1core}$.			

Utilizzando le procedure specificate nel § 6 della EN 13791, si preleva una carota in corrispondenza di ciascuna area di prova al fine di ottenere un risultato per ciascuna area di prova. Se entrambi i criteri indicati nel prospetto 8 della EN 13791 sono soddisfatti, la conformità della resistenza a compressione può essere accettata per la zona di prova in esame.

Per limitare al massimo l'impatto sulle strutture è prescritto il prelievo di carote avente il minor diametro possibile nel rispetto delle seguenti condizioni:

- Non minore di 75 mm;
- Maggiore di 3 volte il diametro massimo dell'aggregato in quanto diversamente l'aggregato avrebbe una influenza significativa sulla resistenza misurata.

Con lo stesso principio, di limitare al massimo l'impatto sulle strutture, si prescrive una lunghezza delle carote pari al diametro delle stesse (carote 1:1), con tolleranza ±2mm, e pertanto il risultato di resistenza di confronto, essendo il rapporto lunghezza/diametro pari ad 1, è rappresentato dalla resistenza cubica. Per il calcestruzzo normale e pesante, il coefficiente per convertire una carota 1:1

in una carota 2:1 (in cui il risultato di resistenza è da confrontare alla resistenza cilindrica) è 0,82 a meno che non sia giustificato un valore diverso mediante prove.
Si scarteranno le carote fratturate o con evidenti difetti. Le carote dovranno essere rettificate; non è ammessa cappatura con gesso. La planarità e parallelismo delle facce, conformi alla UNI EN citata, devono essere verificate con strumenti di opportuna sensibilità. Prima della prova di compressione le carote saranno conservate per 24-48 ore nell'ambiente di laboratorio. La determinazione della resistenza in situ della carota avverrà apportando al valore sperimentali opportuni coefficienti di correzione per tener conto dell'effetto di disturbo dovuto al carotaggio, della presenza nella carota di eventuali ferri di armatura, della direzione di carotaggio rispetto a quella del getto, etc. A tal proposito di potrà far utile riferimento alle LG e a norme o testi di letteratura sull'argomento.
Si specifica che le prove su carote non devono essere effettuate con una maturità del calcestruzzo inferiore a 28 giorni e devono essere effettuate in conformità alla norma UNI EN 12504-1. Nello specifico deve essere evitato, ove possibile, il carotaggio attraverso l'armatura. Diversamente occorre assicurarsi che le carote non contengano alcuna barra di armatura nella direzione dell'asse longitudinale o in prossimità di esso. Se si incontra un'armatura trasversale occorre registrare il suo diametro e la posizione (distanza dalla base della carota più vicina).
Il ripristino dei fori deve avvenire mediante malta fibrorinforzata premiscelata, tixotropica o colabile, leggermente espansiva.
Se il valore caratteristico di una serie di determinazioni di resistenza in sito non è inferiore all'85% di R_{ck} richiesto in progetto, l'elemento costruttivo relativamente alla sola qualità del calcestruzzo può essere ritenuto collaudabile; se invece detto valore caratteristico è inferiore all'85% di R_{ck}, il Direttore dei Lavori, sentito eventualmente il progettista, deve procedere al controllo della sicurezza della struttura in base alla resistenza in sito:

- Se tale controllo è soddisfacente il calcestruzzo può essere accettato e non sono richieste ulteriori azioni, salvo applicazione di una penale proporzionale al 15% (sul valore della lavorazione, per tutte le superfici ed i volumi per ogni 5 MPa del valore caratteristico in meno rispetto alla resistenza caratteristica. Il Direttore dei lavori potrà adottare ulteriori provvedimenti a seguito di una valutazione dell'effetto della resistenza ridotta sulla durabilità, in base alle prescrizioni della norma UNI 11104;
- Se le verifiche della sicurezza non sono soddisfacenti l'Appaltatore sarà tenuto, a sua totale cura e spese, alla demolizione e rifacimento dell'opera oppure all'adozione di quei provvedimenti che, proposti dallo stesso, per diventare operativi dovranno essere formalmente approvati dalla Direzioni Lavori, sentito eventualmente il Progettista.

20.10.6.5 Controlli della resistenza per i calcestruzzi proiettati

La conformità della resistenza a compressione per il calcestruzzo proiettato è valutata secondo il prospetto 14 della UNI EN 14487-1 che si riporta di seguito:

prospetto 14 UNI EN 14487-1 – Criteri di conformità per risultati di prova della resistenza a compressione			
Produzione	N. di risultati di prova "n" per la resistenza a compressione del gruppo	Criterio 1	Criterio 2
		Media f_{cm} di "n" risultanti in MPa	Qualsiasi risultato di prova individuale f_{ci} in MPa
Iniziale	3	$\geq f_{ck} + 4$	$\geq f_{ck} - 4$
Continua	15	$\geq f_{ck} + 1,48$	$\geq f_{ck} - 4$

Dove:
f_{ck} è la resistenza a compressione caratteristica;
δ è lo scarto tipo ottenuto da almeno 6 campioni.

Ogni risultato di prova individuale è la resistenza media a compressione di 5 carote prelevate da un singolo pannello di prova o in sito. Se il valore di una o due carote si scosta dalla media ± 20% i risultati non devono essere considerati nel calcolo, purchè la media sia ottenuta da almeno 3 carote.

20.11 Controlli sugli elementi prefabbricati

20.11.1 Controlli in stabilimento

Per i prefabbricati il Direttore dei Lavori deve eseguire visite di controllo presso lo stabilimento di prefabbricazione in contraddittorio e con l'assistenza dell'Appaltatore, in fase di qualifica iniziale e periodiche, con lo scopo di:

- Verificare la presenza di un processo di realizzazione degli elementi prefabbricati idoneo ad una produzione continua grazie all'uso di apparecchiature adeguate;
- Verificare la presenza di un sistema di controllo della produzione;
- Verificare la corretta posa delle armature metalliche (diametro, numero e posizione dei ferri, copriferro);
- Eseguire un prelievo in contraddittorio tra un rappresentante dello stabilimento, dell'Appaltatore e della Direzione Lavori di n. 3 spezzoni di acciaio di armatura o altro ritenuto significativo dalla direzione lavori;
- Al prelievo in contraddittorio di due coppie di provini di calcestruzzo;
- All'esecuzione in contraddittorio di parte o tutte le prove sul calcestruzzo fresco di cui al § 20.10.2.

Tutti i provini verranno spediti a cura ed onere del prefabbricatore presso il suo laboratorio incaricato ai sensi dell'art 59 del D.P.R. n. 380/2001.

20.11.2 Controlli sulle forniture all'arrivo in cantiere

Come prescritto al § 11.8.3.4 delle NTC2018 è necessario verificare che ogni elemento prefabbricato prodotto in serie arrivato in cantiere, sia accompagnato dal DDT, marcatura CE e DoP e comunque sia stato appositamente contrassegnato da marchiatura fissa, indelebile o comunque non rimovibile, in modo da garantire la rintracciabilità e la visibilità dopo la posa del fabbricante e dello stabilimento di produzione, nonché individuare la serie di origine dell'elemento.
Inoltre, per manufatti di peso superiore ad 8 kN, dovrà essere indicato in modo visibile, per lo meno fino all'eventuale getto di completamento, anche il peso dell'elemento.
Occorre altresì verificare che ogni singolo elemento sia integro da sbeccature, crepe o altro difetto causato da incauto trasporto e movimentazione degli elementi.
Inoltre sul 5% degli elementi si procederà alla verifica delle geometrie degli elementi prefabbricati rispetto ai documenti di progetto e di qualifica.
Per gli elementi facciavista è previsto altresì il controllo del rispetto della finitura accettata in fase di qualifica.
Tali verifiche devono essere eseguite in contraddittorio tra Direzione Lavori ed Appaltatore sia all'arrivo in cantiere delle forniture, sia dopo l'eventuale stoccaggio temporaneo nella aree di deposito dedicate e comunque al termine della movimentazione degli elementi prima della definitiva posa in opera.

20.11.3 Controlli sulla resistenza, sul copriferro e sulle armature degli elementi prefabbricati giunti in cantiere

Ad insindacabile giudizio della Direzione Lavori, potranno essere eseguite a campione prove di resistenza del calcestruzzo nel manufatto, mediante carotaggio, come previsto al § 20.10.6.4, della correttezza del copriferro e dell'armatura dell'elemento prefabbricato. Tali elementi non saranno impiegati nella realizzazione dell'opera e verranno smaltiti. Se tali prove dimostrassero la conformità degli elementi prefabbricati alle specifiche di progetto e di qualifica verranno compensati a parte così come gli eventuali oneri per il trasporto a discarica e lo smaltimento del materiale di risulta.

20.12 Modalità di esecuzione

Per quanto non esplicitamente indicato nella presente sezione e in progetto, in ottemperanza al § 4.1.7 delle NTC2018, si farà riferimento alla norma UNI EN 13670 "Esecuzione di strutture in Calcestruzzo" ed alle "Linee Guida per la messa in opera del calcestruzzo strutturale" pubblicate dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (settembre 2017).
In tutte le fasi esecutive, comprese le fasi di preparazione e di sistemazione finale delle aree, per gli aspetti e le problematiche relative a temi ambientali, quali impatti acustici e vibrazionali, emissioni in atmosfera, impatto sulle acque superficiali, sotterranee e sul suolo, impatti sulla componente fauna e vegetazione, si rimanda integralmente a quanto prescritto dalla Normativa Nazionale e Regionale vigente, alle prescrizioni degli Enti preposti alla tutela ambientale, nonché alle condizioni ambientali contenute nelle autorizzazioni ed alle disposizioni del Capitolato Ambientale e Piano di Gestione Terre/Piano di Utilizzo allegati al progetto esecutivo.

20.12.1 Programma e registro getti

L'Impresa esecutrice è tenuta a presentare, nei modi e nei tempi previsti dal Contratto, un programma dei getti che saranno eseguiti nelle giornate successive. Laddove il Contratto non riporti indicazioni al riguardo il programma getti deve essere consegnato almeno il giorno precedente l'esecuzione dei getti e deve contenere un elenco numerato in funzione delle attività previste con le seguenti indicazioni:

- data e ora di esecuzione del getto;
- ubicazione del getto (WBS opera, parte d'opera, direzione carreggiata, pk, ecc);
- R_{ck}, codice di riferimento del mix e classe di resistenza del conglomerato cementizio in accordo ai documenti di qualifica e di progetto;
- metri cubi di calcestruzzo previsti;
- impianto di betonaggio di provenienza;
- ragione sociale dell'impresa che esegue materialmente le operazioni di getto;
- eventuale utilizzo di pompa;
- durata e modalità di stagionatura.

Ogni variazione al programma deve essere comunicata (salvo casi dovuti a motivi di sicurezza), in forma scritta, con un preavviso minimo di 1 giorno.
Inoltre, l'Impresa esecutrice deve verificare per ogni singola miscela la relativa autorizzazione al getto, la rispondenza alle specifiche di progetto previste per l'opera o parte d'opera ove è previsto il getto, nonché la presenza di una specifica di stagionatura delle opere/parti d'opera da realizzare.
Si prescrive infine l'obbligo di mantenere compilato ed aggiornato un registro di tutti i getti eseguiti che ne consenta la rintracciabilità da consegnare settimanalemte alla Direzione Lavori.

20.12.2 Confezionamento dei conglomerati cementizi

I conglomerati cementizi possono essere confezionati solo in impianti dotati di processo industrializzato ed in possesso della certificazione FPC preventivamente accettati dalla Direzione Lavori. Pertanto, non occorrerà eseguire alcun esame dell'impianto da parte della Direzione Lavori stessa, la quale si limiterà ad acquisire la documentazione di prequalifica e di qualificare in contraddittorio le miscele all'impianto nelle modalità disciplinate dal presente capitolato.

20.12.3 Trasporto e consegna

Il trasporto dei conglomerati cementizi dall'impianto di betonaggio al luogo d'impiego dovrà essere effettuato con mezzi idonei al fine di evitare la possibilità di segregazione dei singoli componenti e

comunque tali da evitare ogni possibilità di deterioramento del conglomerato cementizio medesimo. Saranno accettate in funzione della durata e della distanza di trasporto, le autobetoniere e le benne a scarico di fondo ed, eccezionalmente, i nastri trasportatori. L'uso del nastro è, infatti, idoneo solo nel caso di calcestruzzi aventi classe di lavorabilità S1 – S2 (eventualmente anche S3). Il nastro di ritorno, ripulito mediante gli specifici raschia-nastro, deve rimanere liberato dalla malta o pasta cementizia. Per evitare la segregazione allo scarico è necessario predisporre, all'estremità del nastro, una tramoggia che permetta lo scarico verticale. Non sono ammessi gli autocarri a cassone o gli scivoli.
Ciascuna consegna di calcestruzzo, anche prodotto presso impianti interni al cantiere, dovrà essere accompagnata da un DdT (Documento di Trasporto) che dovrà riportare le seguenti informazioni:

- dichiarazione di conformità alle specifiche della UNI EN 206;
- classe di resistenza, di esposizione, del contenuto di cloruri, di consistenza;
- valori limite della composizione del cls (se specificati);
- tipo e classe del cemento, di additivo e di aggiunta (se specificati), tipo e contenuto di fibre (se specificate);
- D max dell'aggregato;
- dati di ciclo inteso come confronto tra composizione teorico e reale riferiti al carico trasportato;
- nome dell'impianto, n. di serie del DDT, data e ora di carico (cioè ora del primo contatto tra cemento e acqua), identificativo del veicolo, nome dell'acquirente, nome e ubicazione del cantiere precisando WBS e parte d'opera;
- quantità del cls in mc;
- ora di arrivo in cantiere del cls, ora di inizio scarico, ora di fine scarico.

L'appaltatore si impegna ad esibire settimanalmente detta documentazione e a consegnare alla Direzione Lavori copia in pdf dei DDT relativi ai getti eseguiti nel periodo.
L'uso delle pompe sarà consentito a condizione che l'Appaltatore adotti, a sua cura e spese, provvedimenti idonei a mantenere il valore prestabilito del rapporto acqua/cemento del conglomerato cementizio alla bocca d'uscita della pompa.

20.12.4 Operazioni preliminari alla posa dei conglomerati cementizi

Le operazioni di getto potranno essere avviate solo dopo l'esecuzione dei tracciamenti topografici da parte dell'Appaltatore e della verifica degli scavi, delle casseforme e delle armature metalliche da parte della Direzione Lavori.
Prima di effettuare qualsiasi getto di calcestruzzo di fondazione, dovrà essere predisposto sul fondo dello scavo, dopo aver eseguito la pulizia ed il costipamento dello stesso secondo le modalità previste dal presente art. 1 di questo capitolato, uno strato di calcestruzzo "magro" avente classe di consistenza e spessore secondo le previsioni progettuali con funzione di piano di appoggio livellato e di cuscinetto isolante contro l'azione aggressiva del terreno.

20.12.4.1 Stoccaggio e posa in opera delle armature per c.a.

La qualifica, l'accettazione e le prove sulle armature sono disciplinate all'articolo 24 del presente capitolato.

20.12.4.1.1 Stoccaggio delle barre e gabbie per c.a.

Alla consegna in cantiere, l'Impresa avrà cura di depositare l'acciaio in luoghi protetti dagli agenti atmosferici. In particolare, per quei cantieri posti ad una distanza inferiore a 2 km dal mare, le barre di armatura dovranno essere protette, con appositi teli, dall'azione dell'aerosol marino. I ferri d'armatura non devono per alcun motivo essere scaricati direttamente sul terreno per evitare che si

sporchino, al riguardo occorre posizionare un adeguato telo di separazione con appositi distanziatori rispetto al piano di appoggio. L'Appaltatore è responsabile della manutenzione delle aree di stoccaggio al fine di manterle in piena efficienza per tutta la durata del cantiere.

20.12.4.1.2 Posa in opera delle barre e gabbie per c.a.

Le gabbie d'armatura dovranno essere, per quanto possibile, composte fuori opera e i ferri sagomati negli stabilimenti.
Nella posa in opera delle armature devono essere rispettate le indicazioni progettuali in merito:
- al posizionamento;
- allo spessore del copriferro nominale;
- all'interferro;
- alle giunzioni.

In corrispondenza di tutti i nodi dovranno essere eseguite legature doppie incrociate in filo di ferro ricotto di diametro non inferiore a 0,6 mm, in modo da garantire l'invariabilità della geometria della gabbia durante il getto. In presenza di ferri d'armatura zincati od in acciaio inox, il filo utilizzato per le legature dovrà avere le stesse caratteristiche dell'acciaio da sottoporre a legatura. La legatura con punti di saldatura non è ammessa in cantiere ma solo negli stabilimenti di presagomatura.
Nella posa in opera delle armature metalliche entro i casseri è prescritto tassativamente l'impiego di opportuni distanziatori:
- al fondo delle cassaforme si useranno elementi prefabbricati in fibrocemento di sezione quadrata o triangolare, scegliendo prodotti di resistenza prossima a quella del conglomerato;
- lungo le pareti verticali si dovranno impiegare distanziatori ad anello in materiale plastico.

L'uso dei distanziatori dovrà essere esteso anche alle strutture di fondazione armate. I distanziatori utilizzati per garantire i copriferri ed eventualmente le reciproche distanze tra le barre di armatura, dovranno essere in plastica o a base di malta cementizia di forma e geometria tali da minimizzare la superficie di contatto con il cassero. In assenza di tali distanziatori la Direzione Lavori non darà il proprio assenso all'inizio delle operazioni di getto.
Per le barre in acciaio zincato il trattamento di zincatura a caldo potrà essere effettuato prima o dopo la lavorazione e piegatura delle barre, salvo diversa prescrizione che la Direzione Lavori si riserva d'impartire in corso d'opera. Quando risulti proprio indispensabile procedere in cantiere al taglio o alla piegatura di barre zincate, eventuali scagliature del rivestimento di zinco nella zona di piegatura ed i tagli dovranno essere trattati con ritocchi di primer zincante organico bi-componente, dello spessore di 80-100 µm.
Le giunzioni possono essere effettuate mediante:
- saldature ma solo presso gli stabilimenti di presagomatura e non in cantiere previo accertamento della saldabilità dell'acciaio in uso e della sua compatibilità con il metallo d'apporto, nelle posizioni o condizioni operative previste nel progetto esecutivo. Le saldature non devono essere eseguite in una parte curva o in prossimità di una curva dell'armatura. La saldatura per punti è ammessa solo per l'assemblaggio delle armature. Non deve essere permessa la saldatura delle armature di acciaio galvanizzato a meno di diverse specifiche prescrizioni, che indichino il procedimento da seguire per il ripristino della protezione;
- manicotto filettato;
- sovrapposizione.

La sovrapposizione deve essere calcolata in modo da assicurare l'ancoraggio di ciascuna barra; in ogni caso la lunghezza di sovrapposizione, per le barre rette, non deve essere minore di 20 volte il diametro e la prosecuzione di ciascuna barra deve essere deviata verso la zona compressa. La distanza mutua (intraferro) nella sovrapposizione non deve superare 4 volte il diametro.
L'Appaltatore, con riferimento alla UNI EN 13670, dovrà adottare inoltre tutti gli accorgimenti

necessari affinché le gabbie mantengano la posizione di Progetto all'interno delle casseforme durante le operazioni di getto.
È a carico dell'Appaltatore l'onere della posa in opera delle armature metalliche, anche in presenza d'acqua o fanghi bentonitici, nonché i collegamenti equipotenziali.
In tutte le fasi esecutive, comprese le fasi di preparazione e di sistemazione finale delle aree, per gli aspetti e le problematiche relative a temi ambientali, quali impatti acustici e vibrazionali, emissioni in atmosfera, impatto sulle acque superficiali, sotterranee e sul suolo, impatti sulla componente fauna e vegetazione, si rimanda integralmente a quanto prescritto dalla Normativa Nazionale e Regionale vigente, alle prescrizioni degli Enti preposti alla tutela ambientale, nonché alle condizioni ambientali contenute nelle autorizzazioni ed alle disposizioni del Capitolato Ambientale allegato al progetto esecutivo.

20.12.4.2 Armatura di precompressione

L'Appaltatore dovrà attenersi rigorosamente alle prescrizioni contenute nei calcoli statici e nei disegni esecutivi per tutte le disposizioni costruttive, ed in particolare per quanto riguarda:
- il tipo, il tracciato, la sezione dei singoli cavi;
- le fasi d'applicazione della precompressione;
- la messa in tensione da uno o da entrambi gli estremi;
- le eventuali operazioni di ritaratura delle tensioni;
- i dispositivi speciali come ancoraggi fissi, mobili, intermedi, manicotti di ripresa, ecc.

Oltre a quanto prescritto dalle vigenti norme di legge si precisa che, nella posa in opera delle armature di precompressione, l'Appaltatore dovrà assicurarne l'esatto posizionamento mediante l'impiego d'appositi supporti, realizzati per esempio con pettini in tondini d'acciaio. Per quanto riguarda l'iniezione nei cavi di precompressione e la tesatura in cantiere, si rimanda all'articolo specifico del presente capitolato.

20.12.4.3 Casseforme e posa in opera

L'Impresa comunicherà preventivamente alla Direzione Lavori il sistema e le modalità esecutive che intende adottare per realizzare i casseri e le relative opere di sostegno, ferma restando l'esclusiva responsabilità dell'Impresa stessa per quanto riguarda la progettazione e l'esecuzione di tali opere provvisionali e la loro rispondenza a tutte le norme di legge ed ai criteri di sicurezza che comunque possono riguardarle. Il sistema prescelto dovrà comunque essere atto a consentire la realizzazione delle opere in conformità alle disposizioni contenute nel progetto esecutivo.
L'Appaltatore dovrà progettare le cassaforme e le relative strutture di contrasto in modo da resistere alla spinta idrostatica di un battente di calcestruzzo fluido (in particolare per manufatti di altezza rilevante gettati velocemente e con conglomerato di consistenza S5 o SCC) pari alla parete della cassaforma.
Nel caso di casseratura a perdere, inglobata nell'opera occorre verificare la sua funzionalità, se è elemento portante, e che non sia dannosa, se è elemento accessorio.
Le casseforme dovranno essere atte a garantire superfici di getto regolari ed a perfetta regola d'arte; in tal senso l'Appaltatore provvederà, quando necessario alla posa di opportuni ponteggi ed impalcature, previa presentazione ed approvazione da parte della Direzione Lavori dei relativi progetti. Le parti componenti i casseri debbono essere a perfetto contatto e sigillate con idoneo materiale per evitare la fuoriuscita di boiacca cementizia.
Il Direttore dei Lavori, a suo insindacabile giudizio, può richiedere l'allontanamento immediato di quei casseri ritenuti rovinati o non più idonei all'uso e la sostituzione con altri nuovi senza che ciò possa costituire diritto per richieste di indennizzo di alcuna natura, né diretto sul costo dei casseri, né indiretto per eventuali ritardi nell'esecuzione dei getti.

Dovranno essere impiegati prodotti disarmanti aventi i requisiti di cui alle specifiche della Norma UNI 8866; le modalità d'applicazione dovranno essere quelle indicate dal produttore evitando accuratamente aggiunte eccessive e ristagni di prodotto sul fondo delle casseforme.
Il disarmante impiegato non deve macchiare o danneggiare la superficie del conglomerato. A tale scopo saranno usati prodotti efficaci per la loro azione specifica escludendo i lubrificanti di varia natura. Nel caso di utilizzo di casseforme impermeabili, per ridurre il numero delle bolle d'aria sulla superficie del getto, si dovrà fare uso di disarmante con agente tensioattivo in quantità controllata e la vibrazione dovrà avvenire contemporaneamente al getto.
In generale, a parità di caratteristiche tecniche, si dovrà preferire prodotti più sostenibili dal punto di vista ambientale.

Si dovranno rimuovere dall'interno dei casseri e della superficie dei ferri d'armatura eventuali residui polvere, terriccio o di ghiaccio o di brina eventualmente venutasi a formare durante le ore notturne.
Dovunque sia possibile, gli elementi dei casseri saranno fissati nell'esatta posizione prevista utilizzando fili metallici liberi di scorrere entro tubetti di materiale PVC o simile, di colore grigio, destinati a rimanere incorporati nel getto di conglomerato cementizio, armato o non armato.

20.12.4.4 Predisposizione di fori, tracce, cavità, ammorsature, oneri vari

L'Appaltatore avrà a suo carico il preciso obbligo di predisporre in corso d'esecuzione quanto è previsto nei disegni costruttivi o sarà successivamente prescritto di volta in volta in tempo utile dalla Direzione Lavori, circa fori, tracce, tirafondi, piastre, cavità, incassature ecc. nelle solette, nervature, pilastri, murature, ecc., per la posa in opera d'apparecchi accessori quali giunti, appoggi smorzatori sismici, pluviali, passi d'uomo, passerelle d'ispezione, sedi di tubi e di cavi, opere d'interdizione, sicurvia, barriere antirumore, parapetti, mensole, segnalazioni, parti d'impianti.
Nell'esecuzione dei manufatti contro terra il progetto dovrà tenere conto, in numero sufficiente ed in posizione opportuna, dell'esecuzione di appositi fori per l'evacuazione delle acque di infiltrazione. I fori dovranno essere ottenuti mediante preventiva posa in opera nella massa del conglomerato cementizio di tubi a sezione circolare o di profilati di altre sezioni di PVC o simili.
Tutte le conseguenze per la mancata esecuzione delle predisposizioni così prescritte dalla Direzione Lavori, saranno a totale carico dell'Appaltatore, sia per quanto riguarda le rotture, i rifacimenti, le demolizioni d'opere di spettanza dell'Appaltatore stesso, sia per quanto riguarda le eventuali opere d'adattamento d'infissi o impianti, i ritardi, le forniture aggiuntive di materiali e la maggiore mano d'opera occorrente da parte dei fornitori.

20.12.5 Getto del calcestruzzo

L'Appaltatore deve verificare la conformità dell'armatura al progetto nonché la geometria plano-altimetrica dei casseri con rilevo topografico da trasmettere alla Direzione Lavori prima di avviare le operazioni di getto.
Solo a seguito della verifica con esito positivo degli scavi, delle casseforme, delle armature metalliche e di tutte le predisposizioni di cui al punto 20.12.4.4 da parte della Direzione Lavori, e dei controlli di cui al § 20.10.1, l'Impresa potrà avviare le operazioni di getto.
Nel caso di getti contro terra, roccia, ecc., si deve controllare che la pulizia del sottofondo, il posizionamento d'eventuali drenaggi, la stesura di materiale isolante o di collegamento, siano eseguiti in conformità alle disposizioni di Progetto e delle presenti Norme.
Lo scarico del conglomerato dal mezzo di trasporto dovrà avvenire con tutti gli accorgimenti atti ad evitare la segregazione e favorire il flusso attraverso le armature e le parti più difficili da raggiungere nelle casseforme. A questo scopo il conglomerato dovrà scendere verticalmente al centro della cassaforma con un'altezza di caduta libera che, indipendentemente dal sistema di movimentazione

e getto, non deve essere superiore ad 80 cm e sarà steso, mediante rastrelli o stagge, in strati orizzontali di spessore limitato e comunque non superiore a 50 cm misurati dopo la vibrazione. Nel caso di getti di notevole estensione i punti di getto non dovranno distare più di cinque metri uno dall'altro (salvo l'impiego di calcestruzzo autocompattante).
È vietato scaricare il conglomerato in un unico cumulo e distenderlo con l'impiego del vibratore; se necessario si farà uso di tubi getto o si getterà mediante pompaggio però solo in presenza di calcestruzzi aventi classe di lavorabilità S4 – S5, o autocompattanti (SCC). Affinché l'operazione di pompaggio possa procedere in modo soddisfacente, è necessario che l'impasto sia alimentato in modo continuo, risulti uniforme, di buona qualità, omogeneamente mescolato e correttamente dosato, con aggregati di adeguato assortimento granulometrico.
Nel caso di getti verticali ed impiego di pompa, qualora le condizioni operative lo permettano e soprattutto con i calcestruzzi autocompattanti, si suggerisce di immettere il calcestruzzo dal fondo. Questo accorgimento favorisce la fuoriuscita dell'aria e limita la presenza di bolle d'aria sulla superficie. L'obiettivo è raggiunto fissando al fondo della cassaforma un raccordo di tubazione per pompa, munito di saracinesca, collegato al terminale della tubazione della pompa.
Il conglomerato cementizio sarà posto in opera e assestato con ogni cura in modo che le superfici esterne si presentino lisce e compatte, omogenee e perfettamente regolari ed esenti anche da macchie o chiazze. Per la finitura superficiale delle solette è prescritto l'uso di stagge vibranti o attrezzature equivalenti.
Eventuali ferri (filo, chiodi, reggette) che con funzione di legatura di collegamento casseri od altro, dovessero sporgere da getti finiti, dovranno essere tagliati almeno 1,5 cm sotto la superficie finita e le cavità risultanti saranno accuratamente sigillati con malta fine di cemento espansivo.
Quando previsto in Progetto, le murature in conglomerato cementizio saranno rivestite sulla superficie esterna con paramenti speciali in pietra, laterizi od altri materiali da costruzione; in tal caso i getti dovranno procedere contemporaneamente al rivestimento ed essere eseguiti in modo da consentire l'adattamento e l'ammorsamento.
Qualora la Società dovesse affidare i lavori di protezione superficiale dei conglomerati cementizi a ditte specializzate, nulla è dovuto all'Appaltatore per gli eventuali oneri che dovessero derivarle dalla necessità di coordinare le rispettive attività.
Quando il conglomerato cementizio deve essere gettato in presenza d'acqua, si dovranno adottare gli accorgimenti approvati dalla Direzione Lavori, necessari per impedire che l'acqua lo dilavi. Si farà uso a tale scopo di tubo getto, adottando gli accorgimenti necessari affinché venga realizzata una separazione all'interno del tubo tra l'acqua e il calcestruzzo in fase di getto iniziale. A regime il tubo getto dovrà essere pieno di calcestruzzo ed inserito per almeno 50 cm nel calcestruzzo già gettato. La Direzione Lavori dovrà vietare che il tubo getto venga sollevato ed abbassato per facilitare il flusso del conglomerato.

20.12.6 Getti massivi e di lunghezza elevata

Qualora debbano realizzarsi getti massivi non dovrà essere superata all'interno dei getti la temperatura di 70°C e la massima differenza di temperatura nella sezione del manufatto dopo la rimozione delle casseforme non dovrà essere superiore a 35°C. La Direzione Lavori può richiedere a suo insindacabile giudizio, la misura in continuo della temperatura nel nucleo del getto e all'estradosso della gabbia di armatura o, in assenza di essa, a 3 cm dalla superficie libera da casseri. Tale misurazione sarà un onere a carico dell'Appaltatore. Qualora il gradiente di temperatura tra il nucleo e la superficie libera da casseri del getto sia superiore a 35°C occorre monitorare accuratamente l'eventuale presenza di fessurazioni e nel caso procedere all'apertura di una non conformità. La formazioni di fessure deve essere trattata nelle modalità di cui al § 20.13.2.
Il getto dovrà rimanere, per almeno 4 giorni consecutivi (preferibilmente 7 giorni), entro casseri

ricoperti dall'esterno con materassini termoisolanti che riducano il gradiente termico tra nucleo e periferia del getto. Quando le superfici non casserate avranno terminato la fase di presa, occorrerà procedere alla stesa dei materassini anche in queste zone. Sarà obbligatorio procedere alla maturazione dei getti (con le modalità di cui al § 20.12.14) per ulteriori 3 giorni consecutivi alla rimozione dei casseri. Dovranno inoltre evitarsi metodi di stagionatura che favoriscono un rapido raffreddamento della superficie esterna dei manufatti (come ad esempio la bagnatura in contiunuo delle superfici con acqua); al contrario sarà utile il mantenimento prolungato dei casseri (se isolanti). Qualora, per particolari esigenze costruttive, si debba procedere con una rapida rimozione delle casseforme (sempre su esplicita autorizzazione della Direzione Lavori), la superficie dei getti dovrà essere prontamente ricoperta con fogli di polietilene e materassini coibenti per almeno 4 giorni (preferibilmente 7 giorni).
Nei casi di getti di lunghezza elevata allorché per le necessità operative i casseri devono essere rimossi in tempi brevi (1 o 2 giorni), si può prendere in considerazione l'impiego di falsi casseri coibentati che devono rimpiazzare in tempi molto brevi (poche ore) i casseri veri a cura ed onere dell'Appaltatore.

20.12.7 Getti in clima freddo

Una temperatura particolarmente rigida può produrre, sulla superficie del calcestruzzo non opportunamente protetta, effetti di sfarinamento o di scagliatura. Inoltre il calcestruzzo rimane comunque esposto al rischio di gelate e quindi a danni irreversibili, fino a quando non abbia raggiunto una resistenza meccanica alla compressione, pari ad almeno 5 N/mm^2.
Per evitare danni ai conglomerati cementizi in condizioni di clima freddo, occorre quindi rispettare le seguenti prescrizioni in merito a:
- Limitazioni all'esecuzione dei getti quando la temperatura dell'aria è minore di 5°C;
- Limitazioni della temperatura del calcestruzzo al momento della messa in opera;
- Mantenimento della temperatura del calcestruzzo dopo il getto.

Al fine di poter mettere in atto correttamente e verificare le prescrizioni riguardanti le temperature di getto, l'Appaltatore deve esporre in cantiere un termometro in grado di indicare le temperature minime e massime giornaliere.

20.12.7.1 Limitazioni all'esecuzione dei getti quando la temperatura dell'aria è minore di 5°C

In condizioni di temperatura ambientale inferiore a 5 °C il getto potrà essere eseguito solo nel caso vengano rispettate le seguenti prescrizioni:

- nel caso in cui la temperatura dell'aria sia compresa fra 0°C e 5°C, la produzione e la posa in opera del conglomerato cementizio devono essere sospese a meno che non sia garantita una temperatura dell'impasto, durante la fase di getto, entro i limiti indicati nel successivo paragrafo;
- per temperature comprese fra -4°C e 0°C, potranno essere eseguiti esclusivamente getti relativi a fondazioni, pali e diaframmi, a condizione che sia garantita una temperatura dell'impasto, durante la fase di getto, entro i limiti indicati nel successivo paragrafo;
- salvo situazioni eccezionali, da sottoporre comunque a preventiva approvazione del Direttore dei Lavori, non si deve procedere all'esecuzione di alcun getto quando la temperatura dell'aria esterna è inferiore a –4°C.

In ogni caso l'Appaltatore deve scegliere per il getto le ore più calde della giornata.

20.12.7.2 Limitazioni della temperatura del calcestruzzo al momento della messa in opera

Quando al momento del getto la temperatura dell'aria è minore di 5 °C, allo scopo di impedire danni

per effetto del congelamento del calcestruzzo, la temperatura minima della miscela al momento della messa in opera è in funzione della sezione minima del manufatto da realizzare e deve rispettare i limite della seguente tabella:

Minima dimensione della sezione, mm			
300 (solette)	300-900 (muri)	900-1800	> 1800 (pile e plinti)
Minima temperatura ammessa del calcestruzzo al momento della messa in opera, °C			
13	10	7	5

Le temperature minime delle miscele indicate possono essere raggiunte ad esempio mediante un adeguato sistema di preriscaldamento degli inerti e/o dell'acqua di impasto all'impianto di betonaggio, con l'avvertenza che la temperatura raggiunta dall'impasto non sia superiore a 25°C. In alternativa, è possibile utilizzare, sotto la responsabilità dell'Impresa, additivi acceleranti di indurimento (confrome alla UNI EN 934-2) e dovranno essere utilizzati cementi di classe non inferiori alla 42.5R. Il ricorso ad additivi acceleranti di indurimento (conformi alla UNI EN 934-2), deve essere autorizzato dalla D.L., e il loro impiego è a cura ed onere dell'Appaltatore.

20.12.7.3 Coibentazione

Quando la maturazione del calcestruzzo avviene in presenza di climi freddi o in condizioni climatiche particolarmente sfavorevoli (forte vento, variazioni repentine di umidità ecc.) fino a quando la resistenza a compressione del calcestruzzo abbia raggiunto 5 MPa, occorre, a cura ed onere dell'Appaltatore, coibentare le superfici.
La coibentazione dei manufatti deve essere realizzata con le modalità seguenti:

- per i getti con ampie superfici orizzontali (solette) si deve ricorrere a materassini isolanti di lana di vetro o di roccia oppure in polistirolo (polistirene, ecc.) da applicare subito dopo la rifinitura delle superfici;
- per i getti in cassero (plinti, pile e pulvini) si devono usare cassaforme coibentate.

In funzione del tipo di manufatto e della temperatura minima prevedibile, la seguente tabella indica la Resistenza termica minima (R = m².°C/W) della cassaforma coibentata o del materassino da utilizzare.

Spessore minimo, mm	Temp. Minima prevista, °C	Solette	Pile, muri	Pulvini
< 300	Fino a –5	0.8		
	Fino a –15	1.41		
500-1200	Fino a –5		0.5	
	Fino a –15		0.7	
> 1800	Fino a –15			.35

Per valutare l'efficacia delle misure adottate dall'Appaltatore, la Direzione dei Lavori può richiedere

l'installazione di termocoppie, a cura ed onere dell'Appaltatore, in corrispondenza delle superfici, vertici e spigoli allo scopo di verificare, ogni ora, la temperatura del calcestruzzo. Sono da preferire sistemi automatici muniti di data-logger.
Al termine del periodo di protezione necessario alla maturazione, il calcestruzzo deve essere raffreddato gradatamente per evitare il rischio di fessure provocate dalla differenza di temperatura tra parte interna ed esterna. Si consiglia di allontanare gradatamente le protezioni facendo in modo che il calcestruzzo raggiunga gradatamente l'equilibrio termico con l'ambiente.

20.12.8 Getti in clima caldo

Temperature elevate influenzano la qualità sia del calcestruzzo fresco che di quello indurito provocando una troppo rapida evaporazione dell'acqua di impasto ed una velocità di idratazione del cemento eccessivamente elevata.
I principali potenziali problemi per il calcestruzzo fresco riguardano:
- gli effetti di una più rapida perdita della lavorabilità del conglomerato,
- riduzione del tempo di presa
- i rischi della fessurazione da ritiro plastico,
- disidratazione rapida della superficie libera dei manufatti dopo la presa,

I principali potenziali problemi per il calcestruzzo indurito riguardano:
- riduzione della resistenza a 28 giorni,
- maggior ritiro per perdita di acqua,
- probabile insorgenza di fessure per effetto dei gradienti termici, specialmente se con miscele con classe di resistenza elevata e con spessore minimo superiore 0,5 m (si veda anche paragrafo sui getti massivi);
- forte variabilità nella qualità dell'aspetto della superficie dovuta alle differenti velocità di idratazione.

Per ovviare a tali potenziali problemi, durante la stagione calda, se la prevedibile temperatura ambiente supera i 32 °C, la temperatura del calcestruzzo fresco non dovrà essere superiore a 30 °C. A tale scopo si dovranno adottare opportuni accorgimenti, a cura ed onere dell'Appaltatore, quali:
- il raffreddamento dell'acqua se sufficiente e degli aggregati se necessario mediante innaffiamento con acqua fredda; in questo caso il sistema per la misura del contenuto d'acqua dell'aggregato dell'impianto di confezionamento del calcestruzzo dovrà essere verificato quotidianamente mediante la misura del rapporto acqua/cemento secondo UNI 11201;
- l'uso di ghiaccio in sostituzione di parte dell'acqua di impasto, avendo cura di computarne l'esatta quantità nel calcolo del rapporto a/c affinché il valore prescritto non subisca alcuna variazione;
- l'impiego di additivi ritardanti di presa e/o superfluidificanti con caratteristiche collaterali ritardanti per il mantenimento della lavorabilità conformemente alle indicazioni riportate nel presente capitolato e alle specifiche di qualifica preventivamente autorizzati dalla Direzione Lavori;
- raffreddamento delle casseforme metalliche mediante preventivi getti esterni di acqua fredda entro la temperatura massima di 32° C con tolleranza di 5°C;- adeguata protezione delle superfici del getto per evitare eccessive variazioni termiche tra l'interno e la parte corticale dei getti;
- esecuzione dei getti al mattino, alla sera o di notte.

La Direzione Lavori procederà a misure della temperatura del calcestruzzo fresco che verrà rifiutato qualora questa risulti superiore al limite suddetto.

20.12.9 Getti di calcestruzzi drenanti di pavimentazioni stradali

La stesa verrà eseguita negli spessori prescritti, impiegando macchine vibrofinitrici in perfetto stato

di efficienza e dotate di automatismo di autolivellamento. È consigliabile la presenza di una squadra di supporto per le lavorazioni di finitura.
Nel caso di interventi in spazi ridotti, si consiglia l'impiego di stagge vibranti o "roller screed", unitamente a frattazzo meccanico dotato di disco in teflon.
Nessuna operazione di rullatura è necessaria dopo la stesa con finitrice stradale, pertanto le caratteristiche di finitura e regolarità superficiale richieste dovranno essere ottenute immediatamente dopo la posa in opera. Dopo l'inizio del fenomeno di presa del calcestruzzo non dovranno essere eseguite ulteriori operazioni di finitura e regolarizzazione dell'estradosso.
Il giunto di ripresa sarà ottenuto terminando la stesa dello strato a ridosso di una tavola, e togliendo la tavola stessa al momento della ripresa del getto. In caso di mancato uso della tavola, sarà necessario, prima della ripresa del getto, provvedere a tagliare l'ultima parte del getto precedente, in modo che si ottenga una parete verticale per tutto lo spessore dello strato.
La realizzazione di giunti di contrazione non risulta indispensabile, fatto salvo eventuali necessità tecniche legate agli spessori e/o alla conformazione geometrica della pavimentazione. Qualora la realizzazione di giunti di contrazione si ritenesse necessaria, i tagli dovranno essere di norma eseguiti su materiale fresco, mediante l'impiego di apposita attrezzatura, secondo indicazioni della D.L..
Il transito di cantiere sarà ammesso sullo strato, non prima del terzo giorno dopo quello in cui è stata effettuata la stesa, e limitatamente ai mezzi gommati.
La Direzione Lavori provvederà ad eseguire prove di permeabilità misurata in sito mediante un contenitore cilindrico (permeabilimetro conforme alla normativa belga) del diametro interno pari a 75 mm ed altezza pari a 390 mm dotato di scala graduata. Il tempo necessario per lo svuotamento di un dato volume d'acqua contenuta dal recipiente permette di misurare la permeabilità della pavimentazione che dovrà essere pari ad almeno 20 l/s calcolato su una media di cinque misurazioni la cui localizzazione sarà a discrezione della D.L.. Le misure di permeabilità dovranno essere eseguite ogni 5.000 m^2 di superficie pavimentata. Se la superficie complessiva della pavimentazione è inferiore a 5.000 m^2 la misura di permeabilità sarà comunque da eseguire su cinque misurazioni.

20.12.10 Calcestruzzo proiettato

Le istruzioni di esecuzione sono tratte dalla UNI EN 14487-2 a cui si rimanda per tutto quanto di seguito non specificato.

20.12.10.1 Lavori preparatori per il rinforzo del terreno

Tutte le rocce staccate o di qualità mediocre devono essere rimosse. Le perdite di acquiferi devono essere convogliate in tubi, tubi flessibili o altri sistemi di drenaggio onde evitare danni a scapito della qualità del calcestruzzo proiettato. Deve essere installata tutta la strumentazione di rilevamento geomeccanico specificata nel progetto.
Polvere, detriti e altri depositi devono essere rimossi mediante getto d'acqua pressurizzato prima della proiezione.
La necessità di ulteriore bagnamento preliminare prima di procedere alla proiezione deve essere considerata tenendo presente l'assorbimento del supporto e il conseguente rischio di pregiudicare il calcestruzzo proiettato.
Per la corretta gestione delle acque refluee derivanti dalla lavorazione, si rimanda alle disposizioni del Capitolato Ambientale.

20.12.10.2 Lavori preparatori per la riparazione, il consolidamento e per strutture indipendenti

È essenziale che il calcestruzzo proiettato sia applicato a una superficie perfettamente pulita, ruvida e priva di difetti. I metodi raccomandati sono l'idropulitura ad alta pressione o sabbiatura in grado di incidere la superficie del supporto.

20.12.10.3 Armatura

L'armatura di acciaio può essere a rete, a barre o fibre. Per il rinforzo del terreno è possibile incorporare nel calcestruzzo proiettato tralicci e nervature di acciaio, con specifica materiali separata. Inoltre:

- L'armatura deve essere fissata in modo tale da restare in posizione e non vibrare durante il processo di proiezione;
- Ove siano incorporati due o più strati di armatura a rete, lo strato sottostante dovrebbe essere incassato nel calcestruzzo proiettato prima del fissaggio del successivo strato soprastante (non applicabile a sovrapposizioni necessarie tra uno strato e l'altro) che deve essere fissato a una distanza dal precedente strato di calcestruzzo proiettato pari ad almeno 2 volte la dimensione massima dell'aggregato.

20.12.10.4 Proiezione

Di norma dovrà essere utilizzata la proiezione per via umida. Quella per via secca potrà essere impiegata solo dietro esplicita autorizzazione della DL per opere all'esterno e nel rispetto delle norme sulla sicurezza del lavoro eventualmente anche con l'impiego di prodotti antipolvere.
La proiezione ottimale, e quindi la velocità di uscita della miscela, dipende dalla distanza tra lancia e superficie che deve essere determinata in base alle condizioni in sito per assicurare: la massima compattazione ed adesione al supporto, l'incapsulamento completo dell'armatura e il minimo rimbalzo. Non devono verificarsi spinte o scivolamenti del calcestruzzo proiettato. Lo scostamento dalla distanza e angolazione ottimali della lancia può produrre aumento di rimbalzo e riduzione qualitativa del calcestruzzo proiettato.
Per supporto roccioso in genere la distanza raccomandata è di 1 -2 m. Lo spessore specificato del calcestruzzo proiettato può necessitare dell'applicazione di due o più strati al fine di evitare avvallamenti e ammassi. Ciò vale in particolare per lavori in elevazione. Lo spessore di ciascuno strato di calcestruzzo dipende da numerosi parametri e deve essere basato sulle condizioni in sito e sulla composizione della miscela. Lo spessore dello strato può essere aumentato mediante l'impiego di additivi (per esempio acceleranti), aggiunte (per esempio fumi di silice) o l'impiego di cementi a presa rapida.
Se trascorre un tempo considerevole tra la messa in opera di strati diversi al fine di ottenere lo spessore totale specificato, occorre pulire la superficie dello strato precedentemente proiettato mediante aria compressa, idrolavaggio ad alta pressione, spazzolamento o sabbiatura e bagnamento preliminare. Per la corretta gestione delle acque refluee derivanti dalla lavorazione, si rimanda alle disposizioni del Capitolato Ambientale.

Per l'applicazione su contorni rocciosi irregolari e aspri (per esempio avanzamento utilizzando esplosivo) può essere specificata la necessità di uno strato supplementare di pareggiamento. In tal caso occorre eseguire quest'ultimo prima di tutto.
Il calcestruzzo proiettato sul posto deve essere di composizione omogenea senza iclusione di rimbalzo. Il materiale di rimbalzo sciolto e da sovraproiezione deve essere rimosso dalle aree circostanti e dal supporto prima di applicare il calcestruzzo proiettato.
Durante la proiezione su o attraverso armature occorre considerare attentamente le conseguenze di rimbalzo e di effetti ombra. Sebbene l'effetto ombra sia inevitabile, devono essere fatti tutti gli sforzi necessari per minimizzare i possibili effetti negativi prestando particolare attenzione a quanto

segue:

- Garantire una sufficiente velocità di flusso d'aria attorno alla barra. Per soddisfare questa condizione occorre mantenere la distanza appropriata tra lancia e barre di armatura oppure utilizzare una corrente d'aria più forte per il trasporto della miscela;
- Completare l'incapsulamento dell'armatura appena possibile assicurandosi di aver ottenuto il copriferro richiesto. Si noti che i requisiti di copriferro sono gli stessi applicabili sia a superfici proiettate grezze sia a superfici gettate lisce;
- Evitare scarsità di compattazione se si proietta calcestruzzo con fibre di acciaio su altri tipi di armatura;
- I supporti precedentemente bagnati devono essere privi di acqua corrente.

20.12.10.5 Finitura della superficie

Siccome la finitura a mano del calcestruzzo proiettato fresco può essere dannosa per l'adesione e la resistenza, in generale il calcestruzzo proiettato deve essere lasciato così come si presenta appena proiettato a meno che le proprietà del materiale proiettato non consentano altrimenti e siano documentate.
Se è richiesta una rugosità superficiale particolare, è possibile utilizzare un trattamento aggiuntivo, per esempio applicando uno strato di finitura trattabile fino al raggiungimento della rugosità desiderata.

20.12.10.6 Stagionatura e protezione

La maturazione è necessaria al fine di ridurre al minimo il ritiro e garantire adeguata durabilità e forza di aderenza inerstrato. Al completamento della proiezione, la superficie deve essere subito messa a maturazione.
Per calcestruzzo che deve essere esposto solo alle condizioni delle classi di esposizione X0 o XC1. La maturazione può essere ottenuta mediante l'impiego di un agente di curing (agente stagionante applicato a spruzzo) sulla superficie del calcestruzzo oppure mediante un additivo ritentore d'acqua aggiunto al calcestruzzo durante la miscelazione. Qualore si preveda l'applicazione di un sussessivo strato di calcestruzzo proiettato su quello protetto con l'agente di curing sarà necessario effettuare una operazione di lavaggio a bassa pressione trascorse almeno 24 ore dall'applicazione dello stagionante. L'effetto del prodotto di maturazione utilizzato deve essere verificato mediante la qualfica di cui al § 20.8.2.3.

20.12.11 Compattazione

Per la compattazione del getto verranno adoperati vibratori a parete o ad immersione allo scopo di minimizzare il contenuto d'aria intrappolata (e garantire il volume di aria aggiunta tramite additivo aerante per rendere il calcestruzzo resistente al gelo) fino al contenuto fisiologico in relazione al diametro massimo. Durante l'uso, si dovrà inserire ed estrarre lentamente il vibratore nel calcestruzzo fresco allo scopo di evitare difetti localizzati. Nel caso si adoperi il sistema di vibrazione ad immersione, l'ago vibrante deve essere introdotto verticalmente per l'intero spessore del getto fresco, per 5-10 cm in quello sottostante che deve essere ancora lavorabile e non aver iniziato la presa, da punto a punto nel calcestruzzo, ogni 50 cm circa. La durata della vibrazione dovrà essere adeguata alla classe di consistenza del calcestruzzo e protratta per il tempo necessario a garantire, in opera, una resistenza a compressione caratteristica pari ad almeno l'85% di quella prevista in progetto. Indicativamente, la permanenza dell'ago in ogni punto deve essere protratta per un tempo pari a quello riportato nella Tabella che segue.

Classe di consistenza	Tempo minimo di immersione dell'ago nel calcestruzzo – (s)
S1	25 – 30
S2	20 – 25
S3	15 – 20
S4	10 – 15
S5	5 – 10
F6	0 – 5
SCC	non necessita compattazione (salvo indicazioni specifiche della D.L.)

L'Appaltatore è sempre tenuto a verificare, prima di iniziare le operazioni di getto, che l'armatura presente nelle opere in c.a. consenta la possibilità di un utilizzo idoneo di vibratori. Nel caso non si riesca a garantire una corretta modalità di compattazione l'Appaltatore è tenuto ad adoperare un calcestruzzo autocompattante.
Nel caso di un calcestruzzo autocompattante senza vibrazione, è possibile raggiungere una distanza di scorrimento orizzontale di circa 10 metri; tale distanza, comunque, dipende anche dalla densità delle armature. È vietato l'impiego dei vibratori per distribuire l'eventuale calcestruzzo a bassa consistenza scaricato sulle casseforme.
La Direzione Lavori potrà disporre la verifica dell'efficacia della compattazione nelle modalità indicate al § 20.10.3. Qualora la compattazione non sia entro i limiti definiti la Direzione Lavori potrà ricorrere a misure adeguate, fino alla sospensione dei lavori.
Informazioni estese per la compattazione del calcestruzzo sono contenute nella ACI 309 "Guide for Consolidation of Concrete" dell'American Concrete Institute.
Deve essere garantita la continuità del funzionamento delle attrezzature, possibilmente anche mediante apparecchiature di riserva, allo scopo di evitare rallentamenti e/o interruzioni delle operazioni di costipamento.
Per la gestione degli eventuali impatti acustici e vibrazionali, si rimanda alle disposizioni contenute nel Capitolato Ambientale.

20.12.12 Riprese di getto

La Direzione Lavori avrà la facoltà di prescrivere, ove e quando lo ritenga necessario, che i getti siano eseguiti senza soluzione di continuità così da evitare ogni ripresa, anche se ciò comporta che il lavoro debba essere condotto a turni, durante le ore notturne ed anche in giornate festive, senza che all'Appaltatore non spetti nulla di più di quanto previsto contrattualmente.Tra le successive riprese di getto non dovranno aversi distacchi o discontinuità o differenze d'aspetto e colore.

20.12.12.1 Getto di calcestruzzo fresco su calcestruzzo fresco

L'Impresa dovrà aver verificato, in fase di qualifica, che le caratteristiche della miscela possiedano requisiti tali da rendere compatibili i due getti, tenendo presente il tempo necessario per il ricoprimento del primo getto, il mantenimento della lavorabilità nel tempo, il tempo di presa del calcestruzzo già gettato. All'atto del getto dello strato successivo, la consistenza dello strato di primo getto deve essere almeno tale da permettere la penetrazione della vibrazione per uno spessore di qualche centimetro e non deve aver iniziato la presa. A tal fine, l'Impresa potrà fare uso di additivi ritardanti, in modo da garantire tempi massimi per le interruzioni, senza compromettere le caratteristiche di monoliticità. In ogni circostanza, l'appaltatore è tenuto a mettere in atto tutte le precauzioni opportune affinchè non si generino giunti freddi e/o si manifestino fessurazioni tra i due

strati di getto.

20.12.12.2 Getto di calcestruzzo fresco su calcestruzzo indurito

L'impresa deve predisporre una superficie di ripresa, realizzando una scarifica meccanica del calcestruzzo indurito, procedendo, prima del nuovo getto, al lavaggio della superficie di ripresa con acqua in pressione, in modo da eliminare la malta e lasciare esposto l'aggregato grosso ed ottenere una elevata rugosità (asperità di circa 5 mm). In questo modo si effettua anche la saturazione del calcestruzzo indurito. Per la corretta gestione delle acque reflue derivanti dalla lavorazione, si rimanda alle disposizioni del Capitolato Ambientale.
E' possibile in alternativa spruzzare additivo ritardante sulla superficie del conglomerato cementizio fresco subito prima della sospensione del getto; dopo che la massa del conglomerato sarà indurita si provvederà (entro 24 ore) all'eliminazione della malta superficiale non ancora rappresa, mediante getto d'acqua, ottenendo una superficie di ripresa scabra.
Se l'interruzione dei getti si protrae per tempi non superiori a 20 ore, è ammessa la realizzazione di manufatti monolitici mediante posa in opera di un ultimo strato contenente additivo ritardante, dosato in modo tale da prolungare la presa per il periodo necessario. Su questo, ancora capace di accogliere un vibratore, potrà essere gettato lo strato successivo e i due strati potranno essere vibrati simultaneamente. Impiegando questa tecnologia, si dovrà impedire l'essiccamento del calcestruzzo dello strato di attesa, mediante coperture impermeabili o teli mantenuti bagnati.
L'Appaltatore dovrà sottoporre all'approvazione della Direzione Lavori la miscela ritardata, eseguendo anche prove di presa in calcestruzzo.
In ogni circostanza, l'appaltatore è tenuto a mettere in atto tutte le precauzioni opportune affinchè non si generino giunti freddi e/o si manifestino fessurazioni tra i due strati di getto.

20.12.13 Giunti

I giunti di discontinuità sia in elevazione che in fondazione sono necessari per evitare irregolari e imprevedibili fessurazioni delle strutture stesse, per effetto di escursioni termiche, di fenomeni di ritiro e di eventuali assestamenti.
I giunti dovranno essere conformi alle indicazioni di progetto e saranno ottenuti ponendo in opera, con un certo anticipo rispetto al getto, appositi setti di materiale idoneo, da lasciare in posto, in modo da realizzare superfici di discontinuità (piane, a battente, a maschio e femmina, ecc.) affioranti faccia a vista, secondo linee rette continue o spezzate.
E' tassativamente vietata l'esecuzione di giunti obliqui formanti angolo diedro acuto (muro andatore, spalla, ponte obliquo, ecc.). In tali casi, occorre sempre modificare l'angolo diedro acuto, in modo tale da formare con le superfici esterne delle opere da giuntare angoli diedri non inferiori ad un angolo retto, con facce piane di conveniente larghezza in relazione al diametro massimo degli inerti impiegati nel confezionamento del conglomerato cementizio di ogni singola opera.
Nel caso sia prevista la tenuta idraulica e quindi l'installazione di giunti tipo "water stop" in materiale bentonitico idroespansivo (o di altra natura purchè di equivalenti caratteristiche espandenti), oppure la formazione di giunti di dilatazione o contrazione questi saranno opportunamente fissati in maniera tale da non interagire con le armature.

20.12.14 Stagionatura (maturazione) dei conglomerati cementizi

A getto ultimato dovrà essere curata la stagionatura dei conglomerati cementizi in modo da evitare un rapido asciugamento delle superfici esposte all'aria dei medesimi (favorito dal clima asciutto e ventilato) e la conseguente formazione di fessure da ritiro plastico, usando tutte le cautele ed impiegando i mezzi più idonei allo scopo, fermo restando che il sistema proposto dall'Appaltatore

dovrà essere approvato dalla Direzione Lavori in fase di qualifica di cui al § 20.8.1.
Le superfici del conglomerato cementizio non casserate dovranno essere protette dalla rapida evaporazione dell'acqua di impasto e dall'essiccamento degli strati superficiali. Questi fenomeni si manifestano in maniera più intensa in presenza di grandi superfici piane (solette), in caso di temperature elevate, bassa umidità e forte vento. Per consentire una corretta stagionatura è necessario immediatamente dopo il getto, soprattutto nel periodo invernale, mantenere costantemente umide le superfici non casserate mediante:

- l'applicazione, di specifici film di protezione mediante la distribuzione nebulizzata di additivi stagionanti (agenti di curing) conformi a quanto indicato nella Norma UNI 8656;
- l'irrorazione continua del getto con acqua nebulizzata, con temperature della stessa non inferiori di oltre 10°C rispetto a quelle della superficie del getto;
- la copertura delle superfici del getto con fogli di polietilene, sacchi di iuta o tessuto non tessuto mantenuto umido, in modo che si eviti la perdita dell'acqua di idratazione;
- la creazione attorno al getto, con fogli di polietilene od altro, di un ambiente mantenuto saturo di umidità;
- la creazione, nel caso di solette e getti a sviluppo orizzontale, di un cordolo perimetrale (in sabbia od altro materiale rimovibile) che permetta di mantenere la superficie completamente ricoperta da un costante velo d'acqua.

Per la valutazione del tempo necessario al mantenimento delle misure adottate per consentire la corretta stagionatura, a cura ed onere dell'Appaltatore, occorre rispettare i tempi di cui al prospetto F.2 della UNI EN 13670 che si riporta sotto per comodità.

Temperatura calcestruzzo superficiale (t), °C	Periodo di maturazione minimo, espresso in giorni [a]		
	Sviluppo di resistenza del calcestruzzo [c] [d]		
	$(f_{cm2} / f_{cm28}) = r$		
	Rapido $r \geq 0{,}50$	Medio $0{,}50 > r \geq 0{,}30$	Lento $0{,}30 > r \geq 0{,}15$
$t \geq 25$	1,5	2,5	3,5
$25 > t \geq 15$	2,0	4	7
$15 > t \geq 10$	2,5	7	12
$10 > t \geq 5$ [b]	3,5	9	18

a) Più l'eventuale periodo di presa maggiore di 5 h.
b) Per temperature minori di 5 °C, la durata dovrebbe essere estesa per un periodo uguale al tempo trascorso al di sotto di 5 °C.
c) Lo sviluppo della resistenza del calcestruzzo è il rapporto della resistenza a compressione media a 2 giorni rispetto alla resistenza a compressione media a 28 giorni, determinata dalle prove iniziali o basata su prestazioni note di calcestruzzo di composizione paragonabile (vedere EN 206-1).
d) Per uno sviluppo di resistenza del calcestruzzo molto lento, si dovrebbero indicare particolari requisiti nella specifica di esecuzione.

Al fine di disporre indicazioni più chiare ed di immediata applicazione rispetto a quanto previsto dalla norma UNI EN 13670, si può fare utile riferimento alla seguente tabella per individuare il numero minimo di giorni necessari alla maturazione umida del calcestruzzo.

Classe di resistenza del calcestruzzo	≤ C25/30		>C25/30	
Esposizione della struttura	All'interno	All'esterno	All'interno	All'esterno
Periodo di esecuzione del getto	Aprile - Ottobre		Aprile - Ottobre	
	3	7	3	5
Periodo di esecuzione del getto	Novembre - Marzo		Novembre - Marzo	
	7	10	5	7

20.12.15Maturazione accelerata con trattamenti termici (es. a vapore)

La maturazione accelerata dei conglomerati cementizi con trattamenti termici sarà permessa qualora siano state condotte indagini sperimentali sul trattamento che si intende adottare che dimostrino il raggiungimento della resistenza meccanica e i requisiti di qualifica e salvo deroga del Direttore dei Lavori viene esclusa per i conglomerati gettati in opera.
La maturazione accelerata a vapore deve essere eseguita osservando le prescrizioni che seguono:

- la temperatura del conglomerato cementizio, durante le prime 3 h dall'impasto non deve superare 30°C; dopo le prime 4 h dall'impasto non deve superare 40°C;
- la velocità di riscaldamento non deve superare 15 °C/h;
- la temperatura massima del calcestruzzo non deve in media superare 65°C;
- il calcestruzzo deve essere lasciato raffreddare con una velocità di raffreddamento non maggiore di 10 °C/h;
- la differenza di temperatura tra quella massima all'interno del conglomerato cementizio e ambiente a contatto con il manufatto non dovrà superare i 10 °C;
- durante il raffreddamento e la stagionatura occorre ridurre al minimo la perdita d'umidità per evaporazione facendo uso di teli protettivi o applicando antievaporanti;
- il controllo, durante la maturazione, dei limiti e dei gradienti di temperatura, dovrà avvenire con apposita apparecchiatura che registri l'andamento delle temperature nel tempo, sia all'interno che sulla superficie esterna dei manufatti.

20.12.16 Disarmo e scasseratura

Durante il periodo della stagionatura, i getti dovranno essere riparati da urti, vibrazioni e sollecitazioni d'ogni genere. La rimozione delle armature di sostegno dei getti dovrà essere effettuata quando siano state sicuramente raggiunte le prescritte resistenze negli elaborati di progetto e comunque mai prima di 24 ore. In assenza di specifici accertamenti, l'Appaltatore dovrà attenersi a quanto stabilito nel prospetto F.1 della UNI EN 13670 (corrispondente ad una resistenza del calcestruzzo superficiale uguale al 35% della resistenza caratteristica specificata) che si riporta sotto per comodità.

Temperatura calcestruzzo superficiale (t), °C	Periodo di maturazione minimo, espresso in giorni [a]		
	Sviluppo di resistenza del calcestruzzo[c] [d]		
	$(f_{cm2} / f_{cm28}) = r$		
	Rapido $r \geq 0{,}50$	Medio $0{,}50 > r \geq 0{,}30$	Lento $0{,}30 > r \geq 0{,}15$
$t \geq 25$	1,0	1,5	2,5
$25 > t \geq 15$	1,0	2,5	5
$15 > t \geq 10$	1,5	4	8
$10 > t \geq 5$ [b]	2,0	5	11

a) Più l'eventuale periodo di presa maggiore di 5 h.
b) Per temperature minori di 5 °C, la durata dovrebbe essere estesa per un periodo uguale al tempo trascorso al disotto di 5 °C.
c) Lo sviluppo della resistenza del calcestruzzo è il rapporto della resistenza a compressione media a 2 giorni rispetto alla resistenza a compressione media a 28 giorni, determinata dalle prove iniziali o basata su prestazioni note di calcestruzzo di composizione paragonabile (vedere EN 206-1).
d) Per uno sviluppo di resistenza del calcestruzzo molto lento, si dovrebbero indicare particolari requisiti nella specifica di esecuzione.

Qualora sia assolutamente necessario rimuovere i casseri prima che sia trascorso il tempo minimo di stagionatura definito nel prospetto F.1 della UNI EN 13670, ciò deve essere fatto previa autorizzazione della Direzione Lavori e dovranno essere predisposte azioni atte a garantire il completamento della stagionatura umida, utilizzando una o più precauzioni tra quelle di seguito elencate:

- l'applicazione, sulle superfici scasserate, di specifici film di protezione mediante la distribuzione nebulizzata di additivi stagionanti (agenti di curing);
- l'irrorazione continua del getto con acqua nebulizzata, assicurandosi che la temperatura della stessa non si discosti di oltre 10°C rispetto a quella della superficie del calcestruzzo;
- la copertura delle superfici del getto con fogli di polietilene, sacchi di iuta o tessuto non tessuto mantenuto umido, in modo che si eviti la perdita dell'acqua di idratazione;
- la creazione attorno al getto, con fogli di polietilene od altro, di un ambiente mantenuto saturo di umidità.

Le eventuali irregolarità o sbavature, qualora ritenute tollerabili dalla Direzione Lavori, dovranno essere asportate mediante bocciardatura ed i punti difettosi dovranno essere ripresi accuratamente con malta cementizia a ritiro compensato immediatamente dopo il disarmo.
Eventuali elementi metallici, quali chiodi o reggette che dovessero sporgere dai getti, dovranno essere tagliati almeno 1,0 cm sotto la superficie finita e gli incavi risultanti verranno accuratamente sigillati con malta fine di cemento ad alta adesione a cura ed onere dell'Appaltatore.
Per la gestione dei rifiuti derivanti dalla lavorazione, si rimanda alla normativa vigente e alle disposizioni contenute nel Capitolato Ambientale.

20.12.17 Montaggio degli elementi prefabbricati

Gli elementi prefabbricati dovranno essere movimentati, posati in cantiere e collegati tra loro nelle modalità fornite dal produttore e riportate nelle relative istruzioni di montaggio e/o nelle norme UNI di riferimento.
Nel caso in cui gli elementi prefabbricati siano destinati alla realizzazione di impalcati stradali in linea, per scavalchi e per gallerie artificiali e comunque ad insindacabile giudizio del Direttore dei Lavori, occorre che le operazioni di varo siano qualificate secondo la procedurea Q3 di cui al § 25.11 a cui si rimanda.

20.12.18 Protezione catodica delle solette d'impalcato di ponti e viadotti

Di norma la Società provvede direttamente, tramite Appaltatore specializzato, alla fornitura e posa in opera degli impianti per la protezione catodica delle solette d'impalcato di ponti e viadotti.
Qualunque sia la tipologia dell'impianto l'Appaltatore dovrà tenere conto, nei propri programmi di lavoro, dei tempi occorrenti per la loro fornitura e posa in opera e dovrà coordinarsi in tal senso con l'Appaltatore specializzato.
L'Appaltatore, quando espressamente previsto, resta obbligato inoltre a prestare assistenza alla posa in opera degli impianti.

20.13 Tolleranze di esecuzione e non conformità

La Direzione Lavori procederà sistematicamente, sia in corso d'opera che a struttura ultimata di prefabbricati e di getti eseguiti in cantiere, alla verifica delle quote, delle dimensioni indicate nel progetto esecutivo e alla qualità dei getti. Fermo restando quanto già disciplinato per i controlli e le prove sul conglomerato cementizio fresco si riportano i seguenti limiti di accettabilità oltre i quali la Direzione Lavori provvederà ad aprire un rapporto di non conformità.

20.13.1 Prefabbricati - Tolleranze di produzione

Per i manufatti prefabbricati, se non diversamente specificato dagli elaborati di progetto, sono ammessi scostamenti (tolleranze) "ΔL" rispetto alle principali dimensioni dei manufatti pari a (espresse in mm):

- $\Delta L = \pm(9+L/1000) \geq 10$ mm

dove L è la dimensione considerata (lunghezza, larghezza, profondità, spessore, etc). I valori dati si riferiscono a misure rilevate a 20°C di temperatura dopo una sufficiente maturazione del getto. Essi non comprendono gli effetti deformativi dei carichi applicati e della precompressione.
Per il posizionamento delle armature, sempre a meno di specifiche da elaborati di progetto o successive, si adotterà per la tolleranza il seguente valore

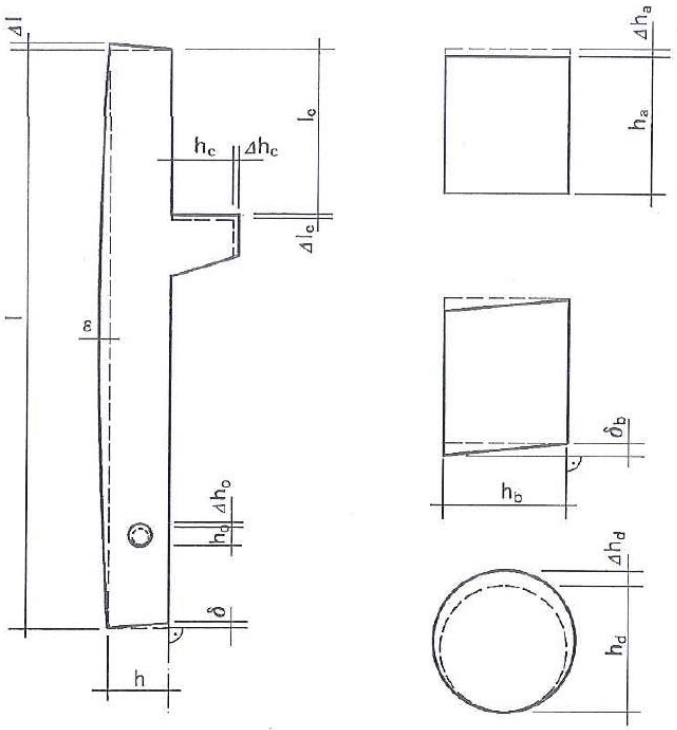
- δ = ±10 mm

eccetto che per il ricoprimento controcassero per il quale si assume

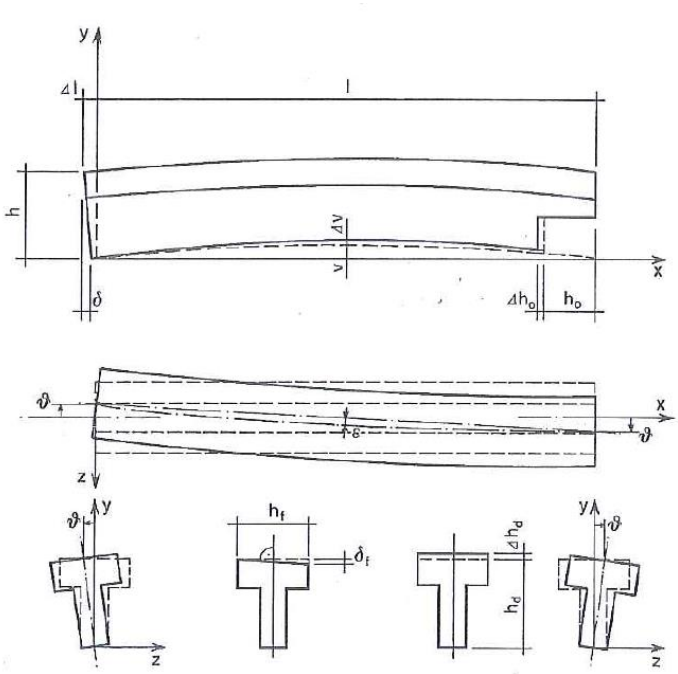
- δ = -5 mm δ = +10 mm.

20.13.1.1 Elementi monodimensionali

Oltre a quelle generali riportate precedentemente, per gli elementi monodimensionali (travi, piedritti pile, piedritti spalle, pulvini) vengono date di seguito le tolleranze di produzione descritte nelle figure successive.



Tolleranze di produzione – Piedritti o simili



Tolleranze di produzione – Travi o simili

I valori limite delle tolleranze dati di seguito si riferiscono a misure rilevate a 20°C di temperatura dopo una sufficiente maturazione del getto. Essi non comprendono gli effetti deformativi dei carichi applicati e della precompressione o altri sistemi permanenti di coazione.
Rispetto a quelli dati nel seguito, si potranno adottare valore diversi, purchè specificati nella documentazione di progetto e compatibili con la corretta esecuzione delle opere.
Qui di seguito sono indicate le tolleranze; tutti i valori sono espressi in mm.

- lunghezza "l" e misure lunghe (l>100cm) $\Delta l = \pm(9+L/1000)$;
- spessori "h" e misure corte (l<100cm) $\Delta h = \pm 10$;
- squadratura "δ" e misure angolari $\delta = \pm h/1000$;
- rettilineità "ε" in ogni piano principale $\varepsilon = \pm l/700$;
- svergolamento "θ"dei piani principali $\theta = \pm l/700$;
- inflessioni "v" nel piano verticale $\Delta v = \pm l/700$.

Per le dimensioni di fori ed aperture si possono assumere valori 1,5 volte quelli delle tolleranze "Δh" e "δ" sopra indicati.
Per il posizionamento di detti fori si possono assumere valori 1,5 volte quelli delle tolleranze "Δl" e "Δh" sopra indicati.
Per le inflessioni delle travi in precompresso si può assumere un valore 1,5 volte quello della tolleranza "Δv" sopra indicato; ciò include gli effetti delle tolleranze di precompressione.
Per la valutazione delle tolleranze di costruzione di un accoppiamento in opera si applicano i criteri del successivo paragrafo 20.13.3.

20.13.2 Prefabbricati - Tolleranze di montaggio

Le tolleranze di montaggio riguardano il posizionamento di ciascun componente rispetto alle fondazioni ed ai restanti componenti, con particolare riguardo a quelli adiacenti.
Le seguenti tolleranze sono espresse in mm:

- tracciamento al piano fondazioni $\Delta L = \pm(9+l/1000) \leq 30$;
- quota al piano fondazioni $\delta = \pm 20$;
- posizionamento locale sulla base di appoggio $\delta = \pm 10$;

- verticalità (o "fuori piombo") $\delta = \pm(9+h/1000)$;

con "l" lato della maglia strutturale e "h" altezza dell'elemento.

20.13.3 Prefabbricati - Tolleranze di costruzione

Le tolleranze di costruzione, che derivano da una catena di deviazioni elementari di tracciamento, di produzione e montaggio, possono valutarsi combinando secondo criteri probabilistici le singole tolleranze della catena stessa. Il metodo seguente può essere considerato normalmente soddisfacente:

- $\delta = \delta_{max} + [\Sigma(\delta_i)^2]^{1/2}$;

dove δ è il valore della tolleranza dell'accoppiamento considerato;

δ_{max} è il valore massimo della catena di tolleranze;

δ_i sono gli altri valori della catena di tolleranze.

20.13.4 Dimensioni e quote

Quanto riportato di seguito e riferito alle sole coponenti finite gettate in opera.

Gli scostamenti ammissibili (tolleranze) "S" rispetto alle dimensioni e/o quote dei progetti sono riportate di seguito per i vari elementi strutturali:

- Fondazioni: plinti, platee, solettoni, ecc.:
  - posizionamento rispetto alle coordinate di progetto: S = ± 3,0cm
  - dimensioni in pianta: S = - 3,0 cm o + 5,0 cm
  - dimensioni in altezza (superiore): S = - 0,5 cm o + 3,0 cm
  - quota altimetrica estradosso: S = - 0,5 cm o + 2,0 cm
- Strutture in elevazione: pile, spalle, muri, ecc.:
  - posizionamento rispetto alle coordinate degli allineamenti di progetto: S = ±2,0 cm
  - dimensione in pianta (anche per pila piena): S = - 0,5 cm o + 2,0 cm
  - spessore muri, pareti, pile cave o spalle: S = - 0,5 cm o + 2,0 cm
  - quota altimetrica sommità: S = ± 1,5 cm
  - verticalità per H ≤600 cm: S = ± 2,0 cm
  - verticalità per H > 600 cm: S = ± 2,0 cm ± H(cm)/1200
- Solette e solettoni per impalcati, solai in genere:
  - spessore: S = -0,5 cm o + 1,0 cm
  - quota altimetrica estradosso: S = ± 1,0 cm
- Vani, cassette, inserterie:
  - posizionamento e dimensione vani e cassette: S = ± 1,5 cm
  - posizionamenti inserti (piastre, boccole): S = ± 1,0 cm

In ogni caso, gli scostamenti dimensionali negativi non devono ridurre i copriferri minimi prescritti dal progetto. Per le tolleranze sopra riportate sono possibili variazioni qualora:

- nel progetto esecutivo siano stati indicati valori differenti per gli scostamenti ammessi;
- la Direzione dei Lavori, per motivate necessità, faccia esplicita richiesta di variazione dei valori senza che ciò possa dare diritto all'Appaltatore ad alcuna pretesa.

Qualora si evidenziassero dei superamenti delle tolleranze di cui sopra, oltre ai necessari ripristini a cura ed onere dell'Appaltatore che dovranno essere approvati dal Direttore dei Lavori, verrà applicata la penale a titolo definitivo del 10% sull'intera parte d'opera interessata.

20.13.5 Fessure

In caso di formazioni di fessure nel copriferro, la massima apertura superficiale ammessa senza dover ricorrere alle operazioni di ripristino, sarà funzione della classe di esposizione della struttura.

Salvo diversa indicazione del progettista, potranno prendersi come riferimento i limiti riportati al §4.1.2.2.4 delle NTC2018, incrementati di 0,1 mm per tener conto che essi si riferiscono al valore dell'apertura della fessura in corrispondenza dell'armatura e non in superficie:

- per armature poco sensibili (acciai per c.a. non precompresso, inossidabili, zincati o rivestiti con specifici prodotti tipo UNI EN 1504-7):
  < 0,4 + 0,1 mm: per classi di esposizione X0, XC1, XC2, XC3, XF1;
  < 0,3 + 0,1 mm: per classi di esposizione XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3;
  < 0,2 + 0,1 mm per classi di esposizione XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4;
- per armature sensibili, ovvero acciai per c.a.p.:
  < 0,3 + 0,1mm: per classi di esposizione X0, XC1, XC2, XC3, XF1;
  < 0,2 + 0,1 mm: per classi di esposizione XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3;
  < 0 + 0,1 mm: per classi di esposizione XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4.

Qualora si rilevino in superficie fessure di apertura superiori ai limiti sopra indicati, l'Impresa dovrà provvedere a sua cura a:

- per aperture < 0,1mm: nessun intervento;
- per aperture superiori a 0,1 mm ma < 0,4 mm: applicazione di protettivi superficiali filmogeni conformi alla UNI EN 1504-2 da scegliere in funzione dell'esposizione delle strutture agli agenti atmosferici con l'obiettivo di eliminare il pericolo della carbonatazione previa approvazione della Direzione Lavori;
- per aperture > 0,4 mm: sigillatura delle fessure mediante prodotti da iniezione conformi a UNI EN 1504-5 ed applicazione di protettivi superficiali filmogeni conformi alla UNI EN 1504-2 da scegliere in funzione dell'esposizione agli agenti atmosferici delle strutture con l'obiettivo di eliminare il pericolo della carbonatazione previa approvazione della Direzione Lavori.

Qualora si evidenziassero fessure, oltre ai ripristini di cui sopra, se l'incidenza dell'area fessurata risulterà superiore al 10% dell'area totale della parte d'opera di riferimento, su tali superfici (o volumi) verrà applicata la penale del 25% per tutti i prezzi ed i sovraprezzi con i quali è stato compensato il lavoro non idoneo.
Nei casi di danni più severi o per particolari criticità della struttura, eventuali interventi di demolizione e rifacimento delle strutture danneggiate potranno essere disposti dalla Direzione Lavori dopo opportuno approfondimento di indagini sullo stato fessurativo della struttura a cura ed onere dell'Appaltatore.
e/o precompressi.

20.13.6 Regolarità dei getti

La regolarità dei getti, verificata con un'asta rettilinea della lunghezza di 2,00 m che in ogni punto dovrà aderirvi uniformemente nelle due direzioni longitudinale e trasversale, è ammessa soltanto per scostamenti inferiori a 10 mm.
Eventuali irregolarità o sbavature dovranno essere asportate mediante bocciardatura e i punti incidentalmente difettosi dovranno essere ripresi accuratamente con malta cementizia a ritiro compensato immediatamente dopo il disarmo; ciò qualora tali difetti o irregolarità siano contenuti nei limiti che la Direzione Lavori, a suo insindacabile giudizio, riterrà tollerabili fermo restando in ogni caso che le suddette operazioni ricadranno esclusivamente e totalmente a carico dell'Appaltatore.
Quando le irregolarità siano mediamente superiori a 10 mm, la Direzione Lavori ne imporrà la regolarizzazione a totale cura e spese dell'Appaltatore mediante uno strato di materiali idonei che, secondo i casi e ad insindacabile giudizio della Direzione Lavori potrà essere costituito da:

- malte o betoncini reoplastici a base cementizia a ritiro compensato;
- conglomerato bituminoso del tipo usura fine, per spessori non inferiori a 15 mm.

Qualora l'irregolarità riguardi superfici di calcestruzzo destinate al traffico veicolare tipo le piste di

esazione, la malta di ripristino deve essere fibrorinforzata con fibre metalliche rigide.
Qualora si evidenziassero superfici irregolari, oltre ai ripristini di cui sopra, se l'incidenza dell'area irregolare risulterà superiore al 10% dell'aera totale della parte d'opera di riferimento, su tali superfici (o volumi) verrà applicata la penale del 25% per tutti i prezzi ed i sovraprezzi con i quali è stato compensato il lavoro non idoneo.

20.13.7 Calcestruzzo proiettato

20.13.7.1 Spessore

Nel caso di spessori minori a quelli minimi previsti nel Progetto, verificati nelle modalità indicate nel § 20.10.4.2, si dovrà provvedere al ripristino con un ulteriore strato di calcestruzzo proiettato e, nel caso di mancanza di spessore fino al 20% del minimo previsto, verrà applicata una penale sia al prezzo del calcestruzzo proiettato che delle eventuali armature metalliche pari al 10%, ogni 5% o frazione di sottospessore.

20.13.7.2 Regolarità della superficie

Il controllo della finitura è indispensabile per garantire il necessario copriferro, l'uniformità dello spessore e un regolare supporto all'eventuale impermeabilizzazione.
La finitura della superficie del calcestruzzo proiettato, nel caso di superficie a vista o di supporto all'impermeabilizzazione, dovrà essere tale che il rapporto tra il diametro (anche equivalente) della singola irregolarità e la sua profondità/sporgenza non sia maggiore di 0.10. Tutte le irregolarità che non rientrano in questa tolleranza dovranno essere ripristinate con aggiunta di calcestruzzo proiettato garantendone l'aderenza con le stesse modalità operative attuate per l'esecuzione di uno strato successivo indicate al § 20.12.10.4. Tutti gli eventuali spigoli dovranno essere arrotondati con raggio maggiore di 0.30 m.

20.13.8 Resistenza caratteristica

Qualora la resistenza caratteristica riscontrata a seguito dei controlli di accettazione di tipo A o B e per i controlli di accettazione del calcestruzzo proiettato risultasse minore di non più del 10% rispetto a quella della classe indicata nei calcoli statici e nei disegni di progetto, la Direzione Lavori, d'intesa con il Progettista, effettuerà una determinazione sperimentale della resistenza meccanica del conglomerato in opera e, successivamente, una verifica della sicurezza.
Qualora tale verifica confermi una resistenza caratteristica in opera minore di non più del 15% rispetto alla resistenza caratteristica di progetto, l'elemento strutturale è da ritenersi collaudabile.
Nel caso in cui la resistenza caratteristica riscontrata risulti minore di quella richiesta di oltre il 15%, l'Impresa sarà tenuta, a sua totale cura e spesa, alla demolizione ed al rifacimento dell'opera, oppure all'adozione di quei provvedimenti che, proposti dalla stessa, dovranno essere formalmente approvati dalla Direzione Lavori, d'intesa con il Progettista, per diventare operativi. Nel caso la Direzione Lavori accetti di adottare i provvedimenti proposti dall'Appaltatore l'importo afferente il volume di conglomerato che non soddisfa i requisiti di progetto verrà decurtato in misura pari al 50% del suo valore.
Nessun indennizzo sarà dovuto all'Impresa se la classe di resistenza risulterà maggiore di quella indicata nei calcoli statici e nei disegni di progetto.
Le stesse modalità verranno applicate ai manufatti prefabbricati.

20.13.9 Altre prove e durabilità

Qualora le prove di cui al § 20.10.3 non rientrino nei limiti prefissati nel presente capitolato o nel progetto, non sono previste penali a titolo definitivo. Tuttavia, l'Appaltatore sarà tenuto a sua cura e

spese a proporre e mettere in opera tutti gli accorgimenti ritenuti necessari ed approvati dalla Direzione Lavori per mitigare le carenze riscontrate con le seguenti precisazioni:

- *Resistenza alla penetrazione d'acqua (ove richiesto)*: in attesa di acquisire dati che permettano la definizione di requisiti rigorosi e definitivi gli eventuali accorgimenti ritenuti necessari saranno a carico del Committente. Tali accorgimenti ritenuti necessari saranno invece a carico dell'Appaltatore qualora sugli stessi getti non insistano altre non conformità o se i valori di resistenza alla penetrazione d'acqua non conformi siano ritenuti, ad insindacabile giudizio della Direzione Lavori, frutto di una esecuzione non a regola d'arte del confezionamento, trasporto, getto o maturazione delle miscele cementizie.
- *Permeabilità delle pavimentazioni in calcestruzzo drenante*: qualora il valore richiesto in capitolato o progetto non venga rispettato con una tolleranza del 10% verrà applicata la penale del 25% per tutti i prezzi ed i sovraprezzi con i quali è stato compensato il lavoro non idoneo. Qualora il valore della permeabilità sia inferiore al 25% di quello atteso il Direttore dei Lavori potrà ordinare, a totale cura e spese dell'Appaltatore, la demolizione e il rifacimento del tratto di pavimentazione drenante.

20.13.10 Stoccaggio ferri e gabbie di armatura

Dalla 3° non conformità rilevata dalla Direzione Lavori in merito ad uno stoccaggio non conforme dei ferri e gabbie di armatura rispetto ai contenuti del § 20.12.4.1, verrà applicata una penale a titolo definitivo pari alla 10% della fornitura non conforme.

20.14 Realizzazione di superfici in calcestruzzo faccia a vista

Per le opere con specifica funzione architettonica, l'Appaltatore deve garantire una finitura superficiale a perfetta regola d'arte, priva di discontinuità cromatiche e difetti di getto. La conformità di tali superfici sarà valutata in base ai requisiti di tolleranza e qualità definiti negli articoli:

• 20.12.4.3 Casseforme e posa in opere
• 20.12.5 Getto del calcestruzzo
• 20.13.6 Regolarità dei getti

L'obiettivo è l'ottenimento di superfici che non necessitino di alcun intervento di ripresa o correzione post-disarmo.

Art. 21 Post tensionamento e iniezione nei cavi di precompressione

21.1 Generalità e campo di applicazione

Nelle strutture in conglomerato cementizio armato precompresso con il sistema di post-tensione si differenzia come di seguito:

- Interna aderente: il cavo è contenuto nel getto di calcestruzzo; la trasmissione della forza di presollecitazione avviene mediante ancoraggi di estremità e l'aderenza è sviluppata con la guaina, tramite la malta di cemento iniettatavi, quindi col calcestruzzo tramite la guaina stessa corrugata. Tale sistema è per sua stessa natura non sostituibile.
- Interna scorrevole: il cavo è contenuto nel getto di calcestruzzo e la trasmissione della forza di presollecitazione avviene unicamente mediante gli ancoraggi di estremità, essendo l'armatura di post-tensione libera di scorrere all'interno del condotto. Tale sistema può prevedere la sostituibilità degli elementi in tensione.
- Esterna scorrevole: il cavo è collocato esternamente al getto di calcestruzzo e la forza di presollecitazione è applicata unicamente mediante gli ancoraggi di estremità, essendo l'armatura di post-tensione libera di scorrere all'interno del condotto (per tutta la sua lunghezza o, nel caso di deviatori iniettati, nei soli tratti compresi fra gli stessi). Tale sistema può prevedere la sostituibilità degli elementi in tensione.
- Esterna aderente: il cavo è collocato esternamente al getto di calcestruzzo e la forza di presollecitazione è applicata unicamente mediante gli ancoraggi di estremità. Nel caso in cui però i condotti siano iniettati con miscela di cemento e la zona di ancoraggio non preveda un sistema di separazione fra la miscela di cemento e l'interfaccia con la struttura, il sistema diviene di fatto aderente nelle zone d'estremità e quindi non sostituibile.

Nel caso di post-tensione esterna è preferibile avere sempre un sistema di tipo sostituibile, così da consentire una adeguata ispezione e manutenzione completa dei cavi.

Nel caso sia necessario che le guaine vengano iniettate, allo scopo di assicurare l'aderenza e proteggere i cavi dopo il tensionamento dalla corrosione, si distinguono i seguenti casi:

- Nelle strutture di nuova realizzazione con boiacca di cemento reoplastica, fluida, pompabile a ritiro compensato e con un leggero effetto espansivo.
- Nelle strutture esistenti invece, ove il grado di riempimento dei tubi è variabile, le iniezioni devono avvenire con miscele a bassa viscosità. A seconda del tipo di guaine da riempire, del loro numero e del loro grado di riempimento, dovrà essere deciso il tipo di materiale da usare (resine epossidiche pure o caricate o boiacche di cemento pronte all'uso) e le modalità d'iniezione (iniezione tradizionale, da più fori oppure iniezioni sotto vuoto). Nel caso di riempimento di guaine completamente vuote saranno sempre usati materiali di tipo cementizio.

21.2 Normativa di riferimento

- Raccomandazioni Aicap – Realizzazione e gestione del calcestruzzo strutturale presollecitato con armatura post-tesa – Parte prima: Installazione dei componenti di sistemi di post tensione qualifica delle organizzazioni specialistiche e del loro personale. Parte seconda: Regole operative di progettazione ed esecuzione
- Raccomandazioni Aicap – Realizzazione e gestione del calcestruzzo strutturale presollecitato con armatura post-tesa – Parte terza: Qualifica delle OSP e del loro personale. Regolamento Applicativo
- UNI EN 13670: Esecuzione di strutture di calcestruzzo

- UNI EN 445: Boiacca per cavi di precompressione - Metodi di prova:
- UNI EN 446: Boiacca per cavi di precompressione - Procedimento di iniezione della boiacca
- UNI EN 447: Boiacca per cavi di precompressione - Requisiti di base
- UNI EN 197-1 - Cemento - Parte 1: Composizione, specificazioni e criteri di conformità per cementi comuni
- UNI EN 196-3: Cemento - Parte 3: Determinazione del tempo di presa e della stabilità
- UNI EN 196-1:Cemento-Parte 1:Determinazione delle resistenze meccaniche
- UNI EN 13263-1: Fumi di silice per calcestruzzo
- UNI EN 934-2: Additivi per calcestruzzo, malta e malta per iniezione - Parte 2: Additivi per calcestruzzo - Definizioni, requisiti, conformità, marcatura ed etichettatura
- UNI EN 934-4: Additivi per calcestruzzo, malta e malta per iniezione - Parte 4: Additivi per malta per iniezione per cavi di precompressione - Definizioni, requisiti, conformità, marcatura ed etichettatura
- UNI EN 1008: Acqua d'impasto per il calcestruzzo
- ETAG 013: Linea Guida per il Benestare Tecnico Europeo di Sistemi di post-tensione per la precompressione di strutture
- EAD 160004-00-0301: Kit di post-tensionamento per la precompressione di strutture
- EAD 160027-00-0301: Prodotti di riempimento speciali per kit di post-tensionamento
- FIB Bulletin n. 75: Polymer-duct systems for internal bonded post-tensioning
- FIB Bulletin n. 97: External Tendons for Bridges
- UNI EN 523: Guaine in fogli di acciaio per cavi di precompressione - Terminologia, prescrizioni, controllo della qualità
- UNI EN 12201-1: Sistemi di tubazioni di materia plastica per la distribuzione dell'acqua, e per scarico e fognature in pressione - Polietilene (PE) - Parte 1: Generalità
- UNI EN 12201-2: Sistemi di tubazioni di materia plastica per la distribuzione dell'acqua, e per scarico e fognature in pressione - Polietilene (PE) - Parte 2: Tubi

21.3 Criteri di accettazione

21.3.1 Specifiche per la qualifica

Il fabbricante del kit di post-tensionamento per la precompressione dei cavi dovrà pervenire alla marcatatura CE e DoP sulla base della pertinente ETA (Valutazione Tecnica Europea in conformità al documento EAD 160004-00-0301 di cui al § 21.2 o più recenti aggiornamenti) oppure dovrà possedere un Certificato di Valutazione Tecnica rilasciato dal Presidente Superiore dei Lavori Pubblici con sistema di attestazione della conformità di tipo 1+.

Il produttore della boiacca da iniettare nelle guaine contenenti i cavi post tesi dovrà pervenire alla marcatatura CE e DoP sulla base della pertinente ETA (Valutazione Tecnica Europea in conformità al documento EAD 160027-00-0301 di cui al § 21.2 o più recenti aggiornamenti) oppure dovrà possedere un Certificato di Valutazione Tecnica rilasciato dal Presidente Superiore dei Lavori Pubblici con sistema di attestazione della conformità di tipo 1+.
I test di prova e i requisiti di base della boiacca di riempimento delle guaine devono essere citati nella ETA e devono essere conformi rispettivamente alle norme UNI EN 445 e 447.

In generale, laddove il contratto o i documenti di gara prevedano l'utilizzo di acciai o altri materiali con ridotta emissione di CO_2 nell'atmosfera rispetto a dei valori di riferimento o laddove prevedano l'utilizzo di elementi composti da materiale riciclato, occorre rispettare i requisiti definiti in detti documenti e le prescrizioni specifiche contenute in questo articolo di capitolato. Inoltre il Direttore

dei Lavori potrà richiedere della certificazione integrativa o l'esecuzione di prove ulteriori per la verifica del rispetto dei valori di CO_2 dichiarati dall'Appaltatore, delle percentuali del materiale riciclato o di qualsiasi altro parametro, senza che ciò possa dare diritto a richieste di maggiori costi o tempi.

Inoltre, a partità di caratteristiche tecniche, si dovrà preferire prodotti ad elevate prestazioni ambientali (ad es. biodegradabilità).

21.3.2 Boiacca per l'iniezione dei cavi

21.3.2.1 Generalità sui materiali costituenti la boiacca

I singoli materiali e la boiacca da utilizzare devono essere conformi alla UNI EN 447. La boiacca può essere pronta all'uso (aggiunta di sola acqua alla miscelazione) oppure prodotta specificatamente per l'opera da realizzare.

21.3.2.1.1 Cemento

Devono impiegarsi esclusivamente cementi, dotati di marcatura CE e DoP in conformità alla norma europea armonizzata UNI EN 197-1 con sistema di attestazione della conformità di tipo 1+, tipo CEM I (cemento Portland) o a qualsiasi altro tipo consentito per l'iniezione di boiacca nei cavi.
Nel caso di boiacche confezionate in cantiere, sarà preferibile l'impiego di cemento tipo II A-L o tipo IV di classe 42,5 o 42,5R. L'utilizzo di tale classe di cementi dovrà comunque essere adottato in caso di temperature comprese tra 5 e 10°C e in generale quando siano previste resistenze meccaniche alte sia alle brevi che alle lunghe stagionature.

21.3.2.1.2 Acqua

L'acqua deve essere conforme alla UNI EN 1008.

21.3.2.1.3 Additivi

Gli additivi sono utilizzati per modificare le proprietà della boiacca nello stato fresco e/o indurito e devono essere muniti di attestato CE in conformità ai requisiti della norma UNI EN 934-4 o della UNI EN 934-2 come richiesto dalle NTC2018 e con sistema di attestazione della conformità di tipo 2+.

21.3.2.1.4 Aggiunte

La boiacca può contenere fumi di silicie che devono essere muniti di attestato CE in conformità ai requisiti della norma UNI EN 13263 -1 con sistema di attestazione della conformità di tipo 1+. Se consentito sul luogo di utilizzo la boiacca può contenere altre aggiunte previste per il calcestruzzo, in conformità alla sezione 5 della UNI EN 206.

21.3.2.2 Boiacche cementizie per le iniezioni nei cavi di strutture in c.a.p. nuove

21.3.2.2.1 Generalità

La boiacca non deve contenere più di:

- Cloruro (CL^-) ≤ 0,10% del peso del cemento
- Solfato (SO_3^{2-}) ≤ 4,5% del peso del cemento
- Ioni di solfuro (S^{2-}) ≤ 0,01% del peso del cemento

Questi valori sono la somma di cloruro, solfati, solfiti e solfuri presenti nei materiali costituenti. Non è ammessa l'aggiunta intenzionale di cloruro o solfato né di altri agenti che possano provocare l'espansione mediante formazione di gas capaci di innescare fenomeni di corrosione. In particolare, l'additivo specifico contenuto sia nel prodotto pronto all'uso che in quello usato nella preparazione

della boiacca in cantiere dovrà conferire caratteristiche di elevata fluidità, espansione di origine chimica (per es. espansivo a base di ossido di calcio) e assenza di bleeding.

21.3.2.2.2 Prova del setaccio

La boiacca deve essere sottoposta a prova secondo la EN 445 e non deve rimanere alcun grumo nel setaccio.

21.3.2.2.3 Fluidità

La fluidità della boiacca durante il periodo di iniezione deve essere misurata mediante uno dei metodi riportati nella norma UNI EN 445 e la boiacca deve avere i valori del prospetto 1 della UN EN 447 di seguito riportato per comodità di consultazione:

Metodo di prova indicato nella EN 445		Subito dopo l'omogenizzazione	30 min dopo l'omogenizzazione[1)] o qualsiasi altro periodo specificato dal fabbricante della boiacca
Cono Metodo dell'estensione della boiacca	Tempo (in s) a = estensione media (in mm)	$t_0 \leq 25$ s $a_0 \geq 140$ mm	$1{,}2\ t_0 \geq t_{30} \geq 0{,}8\ t_0$ e $t_{30} \leq 25$ s $1{,}2\ a_0 \geq a_{30} \geq 0{,}8\ a_0$ e $a_{30} \geq 140$ mm
1) Il tempo di omogenizzazione deve essere misurato dal momento in cui tutti i materiali sono nella mescolatrice.			

Le misurazioni della fluidità subito dopo l'omogenizzazione sono denominate t_0 (metodo del cono) e a_0 (metodo dell'estensione della boiacca), le misurazioni della fluidità eseguite dopo 30 min dalla lomogenizzazione, vale a dire 30 min dopo le prime misurazioni, sono denominate t_{30} e a_{30}. La boiacca deve essere sempre conservata in movimento fino al campionamento per le misurazioni t_{30} e a_{30}.

21.3.2.2.4 Essudamento

L'essudamento della boiacca deve essere sufficientemente basso per impedire un'eccessiva segregazione e sedimentazione dei materiali della boiacca.
Se sottoposto a prova con il metodo con stoppino di cui alla UNI EN 445 per la media di tre risultati, l'essudamento non deve essere maggiore di 0,3% del volume iniziale della boiacca dopo 3h mantenuta a riposo.
Se sottoposto a prova con il metodo con tubo inclinato di cui alla UNI EN 445, l'essudamento non deve essere maggiore di 0,3% del volume iniziale della boiacca dopo 3h mantenuta a riposo.

21.3.2.2.5 Variazione di volume

La resistenza di volume riscontrata può essere solo in aumento e non in diminuzione. Sottoposto a prova in conformità al metodo riportato nella EN 445 la variazione di volume della boiacca a riposo per 24h deve essere compresa nell'intervallo tra +0,5% e +5% con esplicito divieto di avere variazioni di volumi negative che comporterebbero la presenza di aria intorno ai cavi.

21.3.2.2.6 Resistenza

Se non diversamente specificato a progetto la resistenza della boiacca valutata in conformità al metodo riportato nella norma EN 445 deve essere conforme ai seguenti valori:

- a 28 gg ≥ 30 N/mm^2

21.3.2.2.7 Tempo di presa

Il tempo di presa della boiacca deve essere misurato secondo la UNI EN 196-3 e deve essere conforme a quanto segue:

- Presa iniziale della boiacca ≥ 3 h;
- Presa finale della boiacca ≤ 24 h.

21.3.2.2.8 Massa volumica

La massa volumica fluida deve essere misurata in conformità al metodo della norma UNI EN 445 e deve essere dichiarata in qualifica.

21.3.2.2.9 Aderenza

L'aderenza della boiacca all'acciaio dovrà risultare di almeno 15 MPa a 7 gg e di almeno 17 MPa a 28 gg (prova secondo Rilem-CEB-FIP RC6-78).

21.3.2.3 Miscele a bassa viscosità per le iniezioni dei cavi di **strutture in c.a.p. esistenti**

21.3.2.3.1 Generalità

Il presente paragrafo regola l'esecuzione d'iniezioni con miscele a bassa viscosità delle guaine di cavi di precompressione di strutture in c.a.p. esistenti, con grado di riempimento variabile. A seconda del tipo di guaine da riempire, del loro numero e del loro grado di riempimento, dovrà essere deciso il tipo di materiale da usare (resine epossidiche pure o caricate o boiacche di cemento pronte all'uso) e le modalità d'iniezione (iniezione tradizionale, da più fori oppure iniezioni sotto vuoto). Nel caso di riempimento di guaine completamente vuote saranno sempre usati materiali di tipo cementizio di cui al precedente § 21.3.3.

21.3.2.3.2 Iniezione con sistemi epossidici

Il sistema deve possedere i seguenti requisiti:

- Tipo di resina: sistema epossidico costituito unicamente da resina bicomponente (A+B), pigmentato solo su richiesta della Direzione Lavori. La Direzione Lavori, a seconda delle presumibili dimensioni dei vuoti all'interno delle guaine ed in relazione alle circostanze emerse durante il lavoro d'iniezione, potrà ordinare l'uso di cariche (per esempio cemento) che comunque dovranno essere di natura basica o neutra
- Tempo di presa: riferito al sistema epossidico puro. Dovrà essere compatibile con le esigenze del lavoro e comunque non inferiore a 2 h. Per particolari condizioni operative la Direzione Lavori potrà richiedere tempi di presa superiori. Il 'POT-LIFE' è misurato (secondo SECAM) alla temperatura 20±1 °C e umidità relativa del 65% ±5% in bicchiere di vetro della capacità di 100 cm³ su quantità di 50 cm³ di miscela (media su 5 prove)
- Viscosità: riferita al sistema epossidico puro, non dovrà essere superiore a 180 cps a 20±1 °C ed umidità relativa di 65% ±5%. La sua determinazione potrà essere fatta mediante misura diretta o con tazza FORD 4 termostatata (media su 5 prove)
- Ritiro: dovrà risultare minore dello 0,1% misurato secondo norma UNI-PLAST 4285 (media su 5 prove). Comportamento in presenza d'acqua: l'eventuale presenza d'acqua nelle guaine non dovrà costituire impedimento alla policondensazione della miscela
- Protezione chimica dei ferri d'armatura: la miscela dovrà avere pH basico, compreso tra 10,5 e 12,5; tale valore sarà misurato sulla resina miscelata (A + B), nel rapporto di catalisi di fornitura, diluita con acqua distillata, per avere la necessaria bagnabilità del rilevatore.

21.3.2.4 Attrezzatura per per la miscelazione e l'iniezione della boiacca

21.3.2.4.1 Generalità

L'attrezzatura per l'iniezione della boiacca deve comprendere un miscelatore e una pompa, con tutti

i tubi di raccordo necessari, le valvole, i dispositivi di misurazione per acqua, cemento, additivi e aggiunte. E' richiesto altresì un serbatoio di riserva per il riempimento in maniera continua dei cavi di progetto dotato di un agitatore per conservare la boiacca in continuo movimento prima di essere pompata nelle guaine.
L'attrezzatura per l'iniezione deve essere tale da consentire il riempimento delle guaine senza interruzione e alla velocità compresa fra 6 e 12 m/min in cavi di diametro ø<10 cm, senza che la pressione superi 10 bar.
L'attrezzatura di iniezione della boiacca deve essere compatibile con il kit di post-tensionamento.
L'Appaltatore deve fornire in un disegno la posizione dei punti d'iniezione e di sfiato e un piano preciso di iniezione con indicazione della sequenza di iniezione e delle tempistiche previste.

21.3.2.4.2 Miscelatore

L'attrezzatura deve essere in grado di produrre boiacca omogenea che possieda un'equa distribuzione di cemento e un'equa dispersione di eventuali additivi e aggiunte di acqua. In genere è ritenuta idonea una impastatrice ad alta velocità, almeno 1500÷2000 giri/min. È proibito l'impasto a mano; il tempo di mescolamento sarà fissato di volta in volta in base ai valori del cono di MARSH modificato.
L'apparecchio dovrà essere costruito in acciaio inossidabile e avere la forma e le dimensioni che seguono: cono con diametro di base 15,5 cm, altezza 29 cm; ugello cilindrico diametro interno 1,0 cm, altezza 6 cm, riempimento fino a 1 cm dal bordo superiore; la fluidità della boiacca sarà determinata misurando il tempo totale di scolo del contenuto del cono, diviso per 1.77, e sarà ritenuta idonea quando detto tempo sarà compreso tra 15 e 25 s subito dopo l'impasto e tra 25 e 35 s a 30 min dall'impasto, operando alla temperatura di 20°C.

21.3.2.4.3 Pompa

La pompa deve essere in grado di garantire un flusso continuo di boiacca e di mantenere la pressione prevista per l'iniezione. Deve essere dotata di un manometro e di accessori per impedire pericolose pressioni durante l'iniezione della boiacca. Limitare la pressione della boiacca serve ad impedire lo scoppio dei tubi in entrata e in uscita, impedire il danneggiamento della struttura in calcestruzzo, proteggere l'apparecchiatura e le valvole dai danni e proteggere gli operatori.
L'utilizzo di una pompa con diversi attacchi presenta il vantaggio di potere essere adattata ai requisiti di condotti di diametro diverso.
Non è ammessa l'iniezione con aria compressa.

21.3.2.4.4 Tubi flessibili e collegamenti

Il diametro e la capacità della pressione nominale dei tubi flessibili per la boiacca devono essere compatibili con l'uscita della pompa, la pressione massima supportata e la lunghezza necessaria. I collegamenti dei tubi flessibili alle entrate dei condotti devono essere a tenuta.

21.3.2.4.5 Prove di iniezione

Si richiede una prova di iniezione con la boiacca di qualifica in un contesto rappresentativo delle condizioni di progetto.

21.3.3 Guaine e condotti

Con riferimento alla normativa in vigore, saranno seguite le seguenti prescrizioni:

a) I punti di fissaggio delle guaine debbono essere frequenti ed evitare un andamento serpeggiante;

b) Ad evitare sacche d'aria dovranno essere disposti sfiati nei punti più alti del cavo;
c) I condotti debbono avere forma regolare, preferibilmente circolare. La loro sezione deve essere conforme alle specifiche riportate a progetto e se non diversamente specificato:

- per cavi a fili, trecce o trefoli: $A_0 = 2 \bullet \sum_{i=1}^{i=n} \bullet a_i$

- per sistemi a barra isolata: $A_0 = 1{,}5 \bullet a$

dove «ai» è l'area del singolo filo, treccia o trefolo, «n» il numero di fili, trecce o trefoli costituenti il cavo ed «a» l'area della barra isolata. In ogni caso l'area libera del condotto dovrà risultare non minore a 4 cm².

d) Si devono evitare per quanto possibile brusche deviazioni o cambiamenti di sezione.
e) È tassativamente prescritta la disposizione di tubi di sfiato in corrispondenza di tutti i punti più elevati di ciascun cavo, comprese le trombette ed i cavi terminali. Ugualmente dovranno esserci tubi di sfiato nei punti più bassi dei cavi lunghi e con forte dislivello. All'entrata d'ogni guaina dovrà essere posto un rubinetto, valvola o altro dispositivo, atti a mantenere, al termine dell'iniezione, la pressione entro la guaina stessa per un tempo di almeno 5 h.

Nei sistemi di post-tensione interna aderente, le guaine che realizzano il condotto nel quale i trefoli sono alloggiati possono essere, conformemente alle indicazioni progettuali, di due tipi:

- in lamierino metallico corrugato, con marcatura CE e DoP conformi alla norma UNI EN 523 (con sistema di attestazione della conformità di tipo 4), che viene principalmente utilizzato in ambienti a media / bassa aggressività corrosiva.
- in polietilene (PE) corrugata, conformi al fib Bulletin 75 per i più alti livelli di protezione;

Le guaine sono fornite in lunghezze variabili fino a 11,8 metri: i singoli elementi vengono poi collegati mediante manicotti di accoppiamento; nel caso di guaine in plastica, è possibile termosaldare testa a testa i singoli elementi o ricorrere a speciali manicotti di giunzione;

Nei sistemi di post-tensione interna scorrevole (non aderente), le guaine che realizzano il condotto nel quale i trefoli sono alloggiati devono essere, conformemente alle indicazioni progettuali, di materiale plastico ("viplato", resina sintetica a base di polivinilcloruro).

Nei sistemi di post-tensione esterna i condotti dovranno essere, coerentemente alle indicazioni progettuali in polietilene HDPE (High-Density Polyethylene) in conformità all'annesso D della EAD 160004 e alle norme UNI EN 12201-2,1 con le eccezioni e le modifiche richiamate nel citato annesso D.

21.3.4 Ancoraggi dell'armatura di precopressione

Per gli ancoraggi è ammesso solo l'utilizzo di prodotti marcati CE od omologati sulla base della pertinente ETA (Valutazione Tecnica Europea) oppure dovranno possedere un Certificato di Valutazione Tecnica rilasciato dal Presidente Superiore dei Lavori Pubblici.

Gli ancoraggi terminali dell'armatura di precompressione dovranno essere conformi ai disegni di Progetto, composti essenzialmente da piastre di ripartizione e apparecchi di bloccaggio.

Per i cavi inguainati monotrefolo le piastre di ripartizione dovranno essere in acciaio zincato, a tenuta stagna; i cappellotti di protezione terminali dovranno essere zincati e provvisti di guarnizione in gomma antiolio, da calzare sui cilindretti e fissare con viti zincate ai terminali riempiti con grasso dopo la tesatura dei trefoli.

21.3.5 Tesatura e l'attrezzatura di messa in tensione

L'Appaltatore dovrà predisporre un programma di tesatura e delle istruzioni operative conformemente agli elaborati progettuali che dovranno includere:

- le specifiche delle attrezzature provvisionali utilizzate per la tesatura degli acciai (martinetti, centraline ecc);
- la descrizione delle modalità di montaggio delle carpenterie di ancoraggio e/o di deviazione, della posa della guaina, dei trefoli o barre nelle guaine e della loro protezione alla corrosione e da eventuali atti vandalici;
- l'identificazione delle fasi di costruzione in cui si deve effettuare la tesatura del cavo;
- all'interno di ogni fase interessata, l'ordine in cui i cavi devono essere tesati e, se necessario, i requisiti per le prove di attrito e le fasi di tesatura di ogni singolo cavo;
- per ogni cavo, la forza iniziale e l'allungamento corrispondente previsto con l'applicazione degli step di tiro dal valore della forza iniziale fino alla messa in tensione al valore di progetto;
- le tolleranze sulle forze iniziali e gli allungamenti, in accordo alle norme vigenti o alle specifiche del progetto;
- la calibrazione dei martinetti di tesatura a mezzo di apposito certificato, modalità di misura dell'allungamento, taglio delle fruste in eccesso. In ogni caso la tolleranza dei valori misurati non deve essere maggiore del 2% dei corrispondenti carichi applicati.

I martinetti di tesatura, multitrefolo o monotrefolo, dovranno essere scelti tra quelli previsti dal sistema di post-tensione, secondo l'ETA del sistema utilizzato. Di regola dovrà essere effettuata la tesatura contemporanea di tutti i tiranti, salvo casi particolari di comprovata difficoltà, preventivamente autorizzati dal Direttore dei Lavori in accordo con il Progettista, nei quali i tiranti potranno essere messi in tensione singolarmente.
Tutte le attrezzature devono subire la manutenzione ad intervalli regolari, come previsto dall'ETA e dovrà essere fornita apposita documentazione.

I martinetti con i cavi a trefoli devono essere provvisti di meccanismo per l'incuneaggio automatico dei morsetti: tale dispositivo è molto comune fra i moderni martinetti per tesatura.
I martinetti utilizzati devono essere quelli del sistema messo in opera: il titolare del sistema di post-tensione è l'unico in grado di fornire l'attrezzatura idonea.
L'attrezzatura di messa in opera è sempre composta da una centralina idraulica e da un martinetto di tesatura: tale binomio è sempre corredato da un certificato di calibrazione, emesso dal titolare del sistema. Tale certificato, con validità mai superiore ai 6 mesi per il manometro della centralina o per il manometro campione e 24 mesi per la calibrazione del martinetto, fornisce la correlazione fra la forza applicata dal martinetto e la pressione esercitata dalla centralina idraulica.
È infatti noto come gli attriti interni al sistema e le deformazioni elastiche dei dispositivi durante l'utilizzo possano generare perdite di carico tali da ridurre il valore teorico applicato, desumibile dalla semplice moltiplicazione di sezione di spinta del martinetto per pressione alla centralina idraulica.

21.3.6 Materiali protettivi diversi dalle boiacche

Se vengono usati materiali protettivi diversi dalle malte cementizie contemplate nella UNI EN 447 e nei § 21.3.3 e § 21.3.4, il riempimento delle guaine e degli ancoraggi nonché i prodotti di riempimento (grasso o cera) dovranno essere conformi alle ETA del sistema utilizzato.

21.3.7 Cavi in acciaio per c.a.p.

I requisiti di accettazione dei cavi da tesare sono riportati negli elaborati di progetto e devono essere qualificati, accettati e verificati come indicato nell'art. 24.5 di questo capitolato speciale di appalto.

21.4 Qualifica

21.4.1 Dossier di prequalifica

L'Appaltatore è tenuto ad effettuare la qualificazione iniziale (prequalifica) di ciascuna boiacca da impiegare e deve sottoporre all'esame della Direzione Lavori, almeno 40 giorni prima dell'inizio delle iniezioni, un DOSSIER DI PREQUALIFICA contenente:

- Certificazione del sistema gestione qualità secondo la norma ISO 9001 con scopo di certificazione relativo alle attività di posa in opera della post-tensione
- Il personale per la tesatura, la produzione e per l'iniezione delle boiacche deve essere in possesso dell'esperienza adeguata per eseguire i lavori di progetto. Tali operazioni devono essere eseguite solo da ditte e da personale specializzato che dovrà attenersi scrupolosamente alle indicazioni contenute nella procedura operativa. Il responsabile di cantiere della società installatrice della post tensione deve avere un certificato che attesti che è stato istruito dal titolare della ETA e che possiede la necessaria qualifica ed esperienza con il sistema di post tensione ed iniezione oggetto dei lavori e deve sempre presente durante le operazioni di tesatura, produzione e iniezione delle boiacche. Occorre fornire il curriculum di ciascun capo squadra che abbia anche maturato un'esperienza di almeno 5 anni negli ultimi 10, comprovata da specifica documentazione.
- La marcatura CE, DoP o ETA delle boiacche
- La documentazione comprovante la marcatura CE di ogni materiale costituente ciascuna boiacca in conformità ai contenuti del § 21.3.2.1 e altra documentazione del produttore utile (ex. schede tecniche)
- Le caratteristiche dell'impianto di miscelazione e le modalità di iniezione secondo i contenuti di cui al § 21.3.2.4 compreso l'elaborato con l'indicazione dei punti di iniezione, di sfiato ed eventuale scarico di cui al § 21.3.2.4.1 completo delle indicazioni afferenti la sequenza di iniezione e le tempistiche previste per ogni cavo
- I certificati di prova afferenti le prove iniziali di tipo sulle boiacche di cui al prospetto 2 della norma UNI EN 447 che si riporta sotto per comodità

Proprietà	Metodo di prova [1)]	Numero minimo delle prove
Omogeneità	Prova del setaccio	1 prova
Fluidità	Metodo del cono	1 prova subito dopo l'omogenizzazione 2 prove dopo 30 min dall'omogenizzazione
	Estensione della boiacca	
Essudamento	Prova con stoppino [2)]	3 prove
	Tubo inclinato	1 prova (due tubi)
Variazione di volume	Prova con stoppino [2)]	3 prove
Resistenza a compressione	Metà spezzate dei prismi	1 prova (due metà)
Tempo di presa	EN 196-3	1 prova
Massa volumica	Rapporto peso/volume	1 prova subito dopo l'omogenizzazione

1) Le prove devono essere in conformità alla EN 445. Possono essere utilizzati altri metodi di prova se è stata stabilita una correlazione o un rapporto sicuro tra i risultati dei metodi di prova e i metodi di riferimento della EN 445.
2) Le prove di essudamento e di variazione del volume sono eseguite sullo stesso campione.

- I certificati di prova afferenti le ulteriori prove iniziali indicate al § 21.3.2.2.3 per l'espansione, al § 21.3.2.2.6 per la resistenza a flessione a 7 e 28 gg e al § 21.3.2.2.9 per l'aderenza
- La marcatura CE, DoP o ETA del kit di post-tensionamento
- Le specifiche per l'attrezzatura di tesatura e le istruzioni di tesatura dei cavi secondo i contenuti del § 21.3.5
- I certificati di prova del sistema epossidico per la verifica dei requisiti di cui al § 21.3.2.3
- Le schede tecniche delle guaine o marcatura CE e DoP ove applicabile in conformità al § 21.3.3

- Le specifiche dei materiali protettivi di cui al § 21.3.6 eventualmente utilizzati

Le prove di prequalifica di tutte le miscele di cui sopra devono effettuarsi per mezzo di laboratori di cui all'articolo 59 del DPR 380/2001. La data riportata nel certificato non deve essere antecedente tre mesi rispetto alla loro trasmissione alla Direzione Lavori salvo quanto diversamente specificato dalle norme di settore. La prequalifica dovrà essere obbligatoriamente ripetuta ogni qual volta si prevedesse una variazione dei materiali, dei fornitori o dell'impianto.
I requisiti d'accettazione potranno inoltre essere accertati con ulteriori prove a cura della Direzione Lavori sia in fase di prequalifica presso il fornitore (controllo non vincolante per l'autorizzazione), sia in corso d'opera, prelevando il materiale in sito o ancora presso il fornitore, prima e dopo avere effettuato le lavorazioni.
Il Direttore dei Lavori, valutati positivamente i documenti afferenti la post-tensione e guaine, rilascerà specifica autorizzazione al loro impiego anche in pendenza delle prove di cui al seguente § 21.4.2.

21.4.2 Prove di qualifica delle boiacche

Le qualifiche sono sempre da eseguire in contraddittorio tra il personale dell'Appaltatore, della Direzione Lavori e del Produttore delle miscele. Il laboratorio utilizzato sarà quello accreditato incaricato dalla Commmittente/Direzione Lavori.
Ad insindacabile giudizio del Direttore dei Lavori la qualifica delle miscele potrà essere ripetuta ogni qual volta si prevedesse una variazione dei materiali, dei fornitori o delle attrezzature o si riscontrassero problemi sulle miscele nel corso dei lavori. Tutti gli oneri e gli eventuali ritardi causati dalle ripetizioni delle prove all'impianto di confezionamento saranno a totale carico dell'Appaltatore.
L'Appaltatore deve tenere conto dei tempi di qualifica nella programmazione delle sue attività. Allo scopo l'Appaltatore, entro 5 giorni dalla consegna del dossier di prequalifica, è tenuto ad organizzare ed iniziare la qualifica delle miscele con le attrezzature di miscelazione presentate in qualifica.
Tra le prove da eseguire risulta necessario altresì eseguire una prova di iniezione inidicata al § 21.3.5.5.
La qualifica consiste nell'effettuare le seguenti verifiche:

- Resistenza a compressione a 7 e 28 gg
- Resistenza a flessione a 7 e 28 gg
- Omogeneità
- Fluidità
- Essudamento
- Variazione di volume
- Tempo di presa

21.4.3 Autorizzazione alla produzione e alla iniezione delle boiacche

La Direzione Lavori autorizzerà l'inizio della produzione delle boiacche e a allo loro iniezione solo dopo aver esaminato ed approvato il DOSSIER DI PREQUALIFICA dei materiali e delle miscele avendo effettuato con esito positivo, le prove di qualifica in contraddittorio con l'Appaltatore.

21.5 Modalità esecutive

La messa in opera dei sistemi di post-tensione si articola in una serie di fasi elementari riassumibili in:

- posa degli ancoraggi e della relativa armatura di frettaggio;
- posa delle guaine;
- infilaggio;

- messa in tensione;
- iniezione.
- Ingrassaggio
- Sigillatura

Nel caso di sistemi a barre, la posa avviene contemporaneamente per ancoraggi, barre e guaine.

Le operazioni di cui sopra possono essere eseguite solo ditte specializzate e da personale dotato di adeguata esperienza e qualificato in accordo al § 21.4 e in conformità ai documenti della qualifica stessa approvati dal Direttore dei Lavori.

I materiali soggetti a corrosione o danneggiamento, come l'acciaio da post-tensione, le guaine, gli ancoraggi, gli accoppiatori, i cavi preconfezionati e i cavi allestiti in cantiere, devono essere protetti dalle azioni dannose durante il trasporto e lo stoccaggio anche provvisorio ed anche quando installate nella struttura prima della protezione permanente. I materiali che presentano elementi significativi di danneggiamento non devono essere usati e devono essere sostituiti con materiale idoneo.

In tutte le fasi esecutive, comprese le fasi di preparazione e di sistemazione finale delle aree, per gli aspetti e le problematiche relative a temi ambientali, quali impatti acustici e vibrazionali, emissioni in atmosfera, impatto sulle acque superficiali, sotterranee e sul suolo, impatti sulla componente fauna e vegetazione, si rimanda integralmente a quanto prescritto dalla Normativa Nazionale e Regionale vigente, alle prescrizioni degli Enti preposti alla tutela ambientale, nonché alle condizioni ambientali contenute nelle autorizzazioni ed alle disposizioni del Capitolato Ambientale e Piano di Gestione Terre/Piano di Utilizzo allegati al progetto esecutivo.

21.5.1 Posa degli ancoraggi

La posa in opera degli ancoraggi deve avvenire secondo le procedure fornite dal titolare del sistema di post-tensione impiegato, qualificate secondo i contenuti del § 21.4 ed approvate dal Direttore dei Lavori. In particolare, le armature locali di frettaggio, nonché i recessi necessari alle successive operazioni di tesatura, devono essere conformi a quelli previsti dal sistema impiegato. In linea generale è possibile indicare che:

- nella maggior parte dei casi viene fissato il corpo fusione/piastra e il successivo raccordo posteriore che porta alla guaina in lunghezza corrente;
- l'asse longitudinale della spirale (o delle staffe) di frettaggio deve essere allineato con quello dell'ancoraggio, così da consentire una corretta diffusione delle tensioni all'atto della tesatura;
- il primo giro della spirale di frettaggio (o la prima delle staffe deputate a tale funzione) deve essere quanto più possibile vicino alla superficie esterna d'applicazione del carico al fine di evitare fenomeni di rottura localizzata del calcestruzzo a causa della concentrazione degli altissimi sforzi. Per la definizione delle armature di frettaggio locali (staffe o spirali) si rimanda agli ETA dei singoli titolari di sistemi;
- nella fase di getto del calcestruzzo deve essere prestata la massima attenzione a che non si abbia nelle zone della testata segregazione di inerti (vespai);
- la guaina prevista alla fine dell'ancoraggio deve essere centrata con l'asse dello stesso e non presentare alcun punto angoloso anomalo;
- i punti di sfiato devono esser posizionati nel punto più alto. I sistemi in commercio presentano tendenzialmente un foro di sfiato sulla superficie frontale e/o sul corpo principale;

- i punti di iniezione nell'ancoraggio devono essere opportunamente sigillati prima del getto del calcestruzzo, onde evitare intasamenti anomali e dannosi.

Nel caso in cui il posizionamento dell'armatura di post-tensione avvenga prima del getto del calcestruzzo, i pannelli dei casseri dovranno prevedere opportuni fori per la fuoriuscita delle fruste dei trefoli/barre.
E' indispensabile, prima del getto del calcestruzzo, procedere alla verifica sistematica di tutti gli ancoraggi e del loro corretto posizionamento, in accordo ai disegni costruttivi di progetto.

21.5.2 Posa delle guaine

La posa in opera delle guaine deve avvenire secondo le specifiche geometrie planimetriche ed altimetriche previste nei disegni costruttivi dell'opera.
A seconda del tipo di sistema previsto è possibile identificare differenti tipi di guaine impiegate e modalità di posa.

21.5.2.1 Post-tensione interna aderente

Nel caso di sistemi interni aderenti, è previsto l'impiego di guaine in lamierino metallico oppure di guaine corrugate in materiale plastico.
Prima della posa le guaine devono essere accuratamente controllate, al fine di evitare l'impiego di parti danneggiate. I tratti non conformi devono essere rimossi e, nel caso di guaine interamente anomale, devono essere sostituite. Deve essere altresì verificato che le guaine si presentino libere da qualsiasi ostruzione interna.
Al fine di mantenere la guaina secondo il tracciato previsto da progetto e impedire qualsiasi fenomeno di galleggiamento o di spostamento durante il getto del calcestruzzo, è necessario ricorrere a periodici distanziatori, posizionati a distanza massima di 0,5 m, che va ridotta nel caso in cui le armature di siano inserite nella guaina prima del getto di calcestruzzo, a causa del peso del cavo. I distanziatori possono essere sia realizzati con barre di armatura piegate sia con elementi specifici prodotti allo scopo.
Va usata la massima attenzione durante l'eventuale vibrazione ad ago del calcestruzzo per evitare il danneggiamento delle guaine. A tal fine sarebbe opportuno utilizzare tubi matrice eventualmente rigonfiabili, da asportare una volta ultimato il getto.

21.5.2.2 Post-tensione interna scorrevole

Nel caso di sistemi interni scorrevoli è generalmente previsto l'impiego di trefolo in acciaio singolarmente protetto da vipla in plastica. In tal caso dunque non vi è posa della guaina ma direttamente del trefolo, secondo la geometria di progetto. Durante la fase di getto del calcestruzzo e successive operazioni di tesatura, la vipla in plastica garantisce la separazione fra trefolo e calcestruzzo, consentendo lo scorrimento.
In alternativa, si possono utilizzare trefoli nudi all'interno di una guaina nella quale si effettua l'iniezione con materiale soffice.

21.5.2.3 Post-tensione esterna

Nel caso di sistemi esterni la posa delle guaine deve avvenire portando in posizione gli elementi e facendoli provvisoriamente poggiare su strutture temporanee e sui setti nei quali il cavo sarà a contatto con la struttura.

21.5.3 Infilaggio dei cavi

L'infilaggio dei cavi nelle guaine può avvenire sia "spingendo" sia "tirando" i trefoli.
Il primo caso è il più comune e l'operazione avviene infilando uno a uno i trefoli mediante un'apposita attrezzatura "spingitrefolo".
Nel secondo caso l'intero fascio di trefoli di un cavo viene tirato all'interno della guaina mediante un argano, con filo pilota che funge da traino collegato ai trefoli con una calza avvolgente: tale operazione, date le significative forze di attrito sviluppate, può essere eseguita solamente dopo il getto del calcestruzzo, onde evitare danneggiamenti permanenti dei condotti.
L'infilaggio dei trefoli può avvenire sia prima sia dopo il getto di calcestruzzo. In generale è possibile indicare quanto segue.
L'infilaggio dei trefoli prima del getto permette di:

- evitare ogni problema che si dovesse verificare per ostruzione delle guaine a causa del getto del calcestruzzo.

L'infilaggio dopo il getto del calcestruzzo consente di:

- ridurre il numero di supporti per il fissaggio della guaina, dovendo questi sorreggere il solo condotto e non anche l'intero fascio di trefoli;
- non dover gestire le sovra-lunghezze dei trefoli fuoriuscenti dai casseri per il getto del calcestruzzo;
- minimizzare il tempo di esposizione alla corrosione fra l'infilaggio dei trefoli e l'iniezione delle guaine.

Adeguate misure di protezione dei condotti devono essere messe in atto al fine di impedire l'ingresso di materiali indesiderati nelle guaine prima della posa delle armature.
Adeguate misure di protezione delle armature di post-tensione devono essere messe in atto al fine di impedire l'innesco di fenomeni di corrosione, prima dell'iniezione finale del cavo.
È obbligatorio non superare i 30 giorni dall'infilaggio dei cavi alla loro iniezione. L'intervallo tra la tesatura e l'iniezione non deve superare i 14 giorni.

21.5.4 Messa in tensione

L'applicazione e/o il trasferimento della post-tensione a una struttura dovrà essere fatta progressivamente ed è ammessa soltanto quando la resistenza del calcestruzzo è uguale o maggiore della resistenza minima a compressione specificata nell'ETA del sistema di post-tensione impiegato, fermo restando anche le prescrizioni poste dal progetto strutturale.
Una volta posizionati il piattello e i morsetti su ciascuno dei trefoli del cavo, è possibile procedere all'utilizzo del martinetto, infilando ciascun trefolo nel corrispettivo foro individuale del martinetto.
La prima operazione consiste nell'eliminare gli attriti interni al cavo e rimuovere la cosiddetta "corda molle". Per fare ciò il carico viene usualmente portato fino a un valore base, tra il 15 e il 30% della forza di tesatura, per la misura degli allungamenti.

Spesso nel caso di cavi particolarmente lunghi, la corsa del martinetto di tesatura è insufficiente a garantire il completo allungamento in una sola operazione: in tal caso si rendono necessarie più sequenze, al termine di ciascuna delle quali i morsetti vengono incuneati e la corsa del martinetto riportata a 0.
L'Appaltatore deve procedere alla misura degli allungamenti del cavo che può essere effettuata in modi differenti ma sempre avendo come riferimento un punto fisso. Rilevando l'allungamento in corrispondenza della forza di tesatura, l'allungamento totale si ottiene per semplice proporzione. Le registrazioni delle tesature dovranno includere, almeno, per ogni cavo, la forza e l'allungamento in ogni fase di tesatura, e sarà registrata la loro conformità o non-conformità ai requisiti.

Generalmente, al termine della tesatura, è possibile tracciare un completo diagramma forza-allungamento, potendo ricostruire per estrapolazione lineare il tratto antecedente l'applicazione del valore base.
Sulle sovralunghezze dei trefoli uscenti posteriormente dal martinetto di tesatura vengono posizionate una o due "bandierine" la cui corsa rispetto alla camicia esterna del martinetto viene presa a riferimento dell'allungamento del cavo; oppure i trefoli vengono marcati allo spiccato dei morsetti con vernice spray (spostando il martinetto).
Sono possibili step intermedi per verificare la linearità.
Le operazioni di tesatura si svolgono sempre con riferimento primario alla forza applicata: gli allungamenti vengono misurati ed impiegati come verifica della corretta applicazione della forza.
In cantiere verrà verificata la conformità fra allungamenti reali e teorici in contraddittorio tra Installatore, Appaltatore e Direzione Lavori.
A tal riguardo, in accordo con la UNI EN 13670, si indicano le massime tolleranze ammesse per l'accettabilità dei risultati: ±10% sul singolo cavo, ±5% sulla media di tutti i cavi. Tali valori risultano essere indipendenti dalla lunghezza del cavo.
Nel caso di digressione dalle prestazioni specificate durante la tesatura, non sono permessi il taglio delle estremità del cavo o l'iniezione. Non dovranno essere effettuate lavorazioni che possano ostacolare la ritesatura. Queste saranno posticipate sino all'approvazione da parte del Direttore dei Lavori del rapporto con la revisione dei dati di tesatura.

21.5.5 Iniezione di boiacca nei cavi di strutture in c.a.p. nuove

L'iniezione della boiacca deve essere eseguita nell'intervallo di temperatura del calcestruzzo stabilito nel piano di qualità, generalmente compreso tra 5 e 35°C. In caso di temperature al di fuori del suddetto intervallo, possono prevedersi accorgimenti particolari per mantenere la temperatura della boiacca nell'intervallo. Nel caso si prevedesse gelo sia nella fase esecutiva sia nelle 48 h seguenti all'iniezione, occorre adottare opportuni accorgimenti per portare preventivamente a temperatura idonea (≥ 10°C) la struttura, per es. insufflando vapore dopo copertura della stessa con teli di polietilene. Si inietterà la malta che dovrà avere una temperatura non inferiore a 5°C (preferibilmente ≥ 10°C) al momento della iniezione (i materiali utilizzati verranno mantenuti al caldo, T ≥ 20°C). Si manterrà il riscaldamento della struttura per altre almeno 48 ore dal completamento dell'iniezione o comunque per tutto il tempo ritenuto necessario in accordo con la Direzione Lavori affinché siano scongiurati gli effetti del gelo sulla pasta di iniezione (raggiungimento di resistenze di almeno 6 MPa). Dopo il periodo di gelo bisogna assicurarsi che i condotti siano completamente liberi dal ghiaccio o brina. È vietato il lavaggio a vapore.
La sequenza d'iniezione, riportata nel protocollo d'iniezione, può così riassumersi:

- gli sfiati devono essere installati correttamente e numerati, chiusi e non ostruiti, aperti immediatamente prima dell'iniezione;
- i cavi devono essere soffiati con aria compressa subito prima dell'iniezione, per espellere l'acqua e il materiale estraneo e scoprire possibili ostruzioni; questa operazione viene normalmente omessa nei cavi a barre;
- azionare la pompa d'iniezione ed iniziare la miscelazione osservando la sequenza di carico dei componenti (acqua, cemento, additivo). Dopo la miscelazione la malta deve essere mantenuta in movimento continuo. È essenziale che l'impasto sia esente da grumi;
- controllata la consistenza della boiacca, connettere la pompa alla valvola più bassa del cavo e aprire la valvola di uscita della pompa facendo fluire la boiacca all'interno del cavo;
- procedere sinché la boiacca fuoriesce dal primo sfiato con consistenza omogenea a quella di
- ingresso, quindi chiudere lo sfiato;
- procedere ugualmente cogli sfiati successivi secondo il programma stabilito; quando la

boiacca fuoriesce omogenea anche dall'ultimo sfiato, chiuderlo e mantenere la pressione per ca. un minuto; qualora si dovessero rilevare cadute di pressione, occorre individuare il motivo della perdita;

- l'l'iniezione deve avvenire con continuità e non potrà essere assolutamente interrotta. In caso d'interruzioni dovute a causa di forza maggiore e superiori a 5 min, il cavo sarà lavato e l'iniezione andrà ripresa dall'inizio

21.5.5.1 Iniezione sottovuoto

Se opportunamente prevista, l'iniezione sottovuoto (vacuum assisted grouting) migliora la qualità dell'iniezione ed è da eseguire con apposita attrezzatura aspirante capace di generare un vuoto dell'ordine di 1 bar nelle cavità da iniettare e immettendo poi il materiale di riempimento..
Durante l'iniezione la guaina del cavo è sottoposta a un vuoto parziale, espellendo per il 75-90% l'aria contenuta. Il vuoto parziale realizzato riduce il rischio che l'aria si mescoli con la boiacca o che si formino sacche d'aria nei punti alti del condotto.
Per una corretta creazione del vuoto è necessario curare la sigillatura dei raccordi di guaina, tubi, valvole e ancoraggi.
L'attrezzatura aggiuntiva necessaria si compone di una pompa creatrice del vuoto, con serbatoio a tenuta di pressione oltre a particolari tubi e valvole.
Il procedimento è fortemente consigliato per:

- cavi orizzontali lunghi ove gli sfiati intermedi non possono espellere totalmente l'aria residua;
- cavi esterni ove gli sfiati non possono essere correttamente posizionati nei punti più alti;
- riparazione di cavi con guaine intasate.

21.5.6 Iniezioni di boiacca nei cavi di strutture in c.a.p. esistenti

Preliminarmente, sulle travi nelle quali è stato già individuato il presumibile tracciato dei cavi di precompressione mediante misure geometriche effettuate con riferimento ai disegni di Progetto e con l'ausilio di sondaggi eseguiti con apposita apparecchiatura elettromagnetica e/o ad ultrasuoni, si dovrà procedere alla localizzazione delle guaine mediante tasselli effettuati con microdemolitori (normalmente con un passo di 3÷4 m su ogni cavo partendo dal centro della trave).
Non tutti i tasselli serviti per localizzare e valutare lo stato delle guaine saranno attrezzati per l'iniezione, ma soltanto quelli più idonei; su di essi si applicheranno i tubetti d'iniezione provvisti d'apposita cuffia, da sigillare con paste collanti epossidiche, previa accurata pulizia del supporto; qualora la profondità del tassello sia rilevante, la pasta collante sarà stesa in più strati successivi.
Le stuccature dovranno essere impermeabili al tipo di materiale usato nell'iniezione e, nel caso d'iniezioni sottovuoto, dovranno permettere la formazione di quest'ultimo.
Tubetti d'iniezione saranno introdotti anche nei fori degli ancoraggi dei cavi, preliminarmente scoperti e puliti, eventualmente riperforati con trapano, quindi stuccati con la pasta di cui sopra.
I tasselli non utilizzati per l'iniezione delle guaine saranno chiusi mediante malta reoplastica fluida non segregabile, tixotropica, a basso calore d'idratazione, priva di ritiro, ad elevata resistenza meccanica ed elevato potere adesivo all'acciaio ed al conglomerato cementizio.
La stuccatura sarà rinforzata e supportata con una rete elettrosaldata debitamente ancorata, mediante saldature o legature alle armature esistenti.
Si procederà, inoltre, a stuccature e riparazioni di zone di conglomerato cementizio poroso, vespai ecc. in modo da chiudere possibili vie d'uscita dei materiali d'iniezione.
Tali stuccature saranno effettuate con paste cementizie reoplastiche a ritiro compensato o polimeriche o a base epossidica e, quando previsto dal Progetto, anche rinforzate con reti metalliche.
La scelta del materiale sarà subordinata alle condizioni specifiche di ogni singolo caso e sarà concordata con la Direzione Lavori

Dopo almeno 48 h dall'ultimazione della stuccatura, si procederà alla soffiatura all'interno delle guaine per eliminare eventuali sacche d'acqua e per valutare la consistenza dei vuoti nei vari tratti.
Si procederà quindi alla iniezione della miscela scegliendo il punto iniziale in base alle risultanze della soffiatura.
In linea di massima sarà conveniente partire dai fori d'iniezione in mezzeria della trave dove gran parte delle guaine sono ravvicinate e procedere sino alla fuoriuscita (se possibile) della miscela dai primi tubetti posti ai lati del punto d'iniezione.
Si inietteranno poi questi ultimi e, via via, quelli adiacenti, in successione, fino ad ottenere la fuoriuscita della miscela dalle testate dei cavi.
Naturalmente i tubi già iniettati dovranno essere man mano sigillati.
La pressione d'iniezione dovrà essere la più bassa possibile, compatibilmente con l'esigenza di ottenere un buon riempimento dei cavi e comunque in nessun caso si dovranno superare i 5 bar.

21.5.7 Operazioni di ingrassaggio

L'iniezione di grasso o cera deve essere effettuata a velocità costante e continua. Il volume iniettato deve essere paragonabile al volume libero teorico del condotto. Si deve considerare la variazione di volume in base alla temperatura. Al termine dell'iniezione, devono essere evitate perdite involontarie di grasso o cera dai condotti mediante sigillatura sotto pressione.
Materiali, collegamenti e attrezzatura devono essere idonei per l'intervallo di temperatura necessario per l'iniezione del grasso o della cera. Per le opere a elevate temperature possono essere necessarie precauzioni di sicurezza speciali.

21.5.8 Sigillatura

Gli ancoraggi devono essere sigillati dopo l'iniezione di malta o grasso/cera per assicurare una protezione dalla corrosione equivalente a quella fornitua lungo il cavo. Le zone di ancoraggio devono essere protette dall'acqua di drenaggio. Tutti gli sfiati e gli ingressi e le uscite della malta devono essere adeguataemnte sigillate e protette.

21.6 Controlli e prove

21.6.1 Controlli a carico dell'Appaltatore

L'Appaltatore è tenuto ad eseguire i seguenti controlli da trasmettere in apposito report (PCQ completo di allegati) alla Direzione Lavori al termine dell'attività di ogni WBS.
Per ogni tensionamento (cavo) e per ogni iniezione l'Appaltatore è tenuto a documentare in apposito report (scheda di controllo del PCQ specifico) l'esito delle seguenti verifiche da trasmettere alla Direzione Lavori:

1. rispondenza tra le forniture in arrivo in cantiere e i documenti seguenti:
   a. Copia del Documento di trasporto DDT
   b. Copia della Marcatura CE, DoP, ETA
2. Corretta posa degli ancoraggi secondo quanto indicato nel § 21.5.1
3. Corretta posa delle guaine secondo quanto indicato nel § 21.5.2
4. Corretto infilaggio dei trefoli secondo quanto indicato nel § 21.5.3
5. Corretto montaggio del kit di tesatura e della presenza dei certificati di taratura in corso di validità.
6. Corretta applicazione delle procedure di tesatura secondo quanto indicato nel § 21.5.4 e nei docimenti di qualifica
7. Rispondenza degli allungamenti reali con quelli attesi (riportare i valori secondo quanto indicato al § 21.5.4)

8. Corretta esecuzione delle procedure d'iniezione / applicazione di protezione permanente alternativa secondo quanto indicato nel § 21.5.5 e nei docimenti di qualifica e controllo delle boiacche secondo quanto disciplinato al § 21.6.1.1
9. Corretta esecuzione del taglio delle fruste e della sigillatura delle nicchie
10. Corretta sigillatura e protezione dalla corrosione degli ancoraggi

I controlli di cui ai punti 6, 7 e 8 dovranno essere notificati preliminarmente all'esezione della rispettiva fase lavorativa ed effettuati in contraddittorio con la Direzione Lavori, che ne attesta l'esito con firma sul report (Scheda di Controllo del PCQ specifico).

21.6.1.1 Boiacche di iniezione

Ogni giorno, preliminarmente alla prima operazione di iniezione, l'Appaltatore dovrà verificare la rispondenza delle caratteristiche delle miscele ai documenti di qualifica a mezzo del proprio laboratorio registrando i risultati sulla scheda di controllo del PCQ.
Solo ad esito positivo della conformità delle caratteristiche della miscela a quella qualificata, l'Appaltatore ne dà notifica alla Direzione Lavori che con il proprio laboratorio eseguirà le prove di cui al § 21.6.2.1.

21.6.2 Prove a carico della Direzione Lavori

I prelievi per i seguenti controlli di accettazione in cantiere devono essere eseguiti, in contraddittorio e con l'assistenza dell'Appaltatore.

21.6.2.1 Controlli sulle miscele cementizie di iniezione

Ogni giorno, la Direzione Lavori, con il proprio laboratorio, eseguirà le seguenti prove:

- sulle miscele fresche con frequenza giornaliera e almeno per ogni iniezione: omogeneità, massa volumica (pari ad almeno il 95% di quella teorica), fluidità in conformità alle specifica della prequalifica e progetto. Il peso specifico dovrà risultare pari ad almeno il 95% di quello teorico. Valori non conformi comporteranno l'impossibilità di eseguire le iniezioni;
- sulle miscele indurite con frequenza giornaliera e almeno per ogni iniezione: la resistenza a 7 e a 28 giorni. Si riterranno conformi le forniture la cui media per ogni WBS è ≥ al valore di progetto. A tal fine saranno confezionate almeno 2 coppie di campioni cubici, di dimensioni 10 x 10 cm di lato.

Art. 22 Ripristino, rinforzo e adeguamento di elementi strutturali in conglomerato cementizio

22.1 Campo di applicazione

Questo articolo di capitolato si applica agli interventi di ripristino di strutture in calcestruzzo, calcestruzzo armato o calcestruzzo armato precompresso, che presentino danni che diminuiscono il livello di durabilità della struttura e, quindi, della sua vita di esercizio oppure a interventi che prevedono rinforzi strutturali o adeguamenti.

22.1.1 Generalità

Si terrà presente, in linea generale, che scopo prioritario del ripristino delle strutture in conglomerato cementizio è ricreare la sagoma di Progetto del manufatto in corrispondenza dei punti degradati garantendo:

- monoliticità tra il vecchio calcestruzzo ed il materiale con cui viene eseguito il ripristino;
- resistenza agli agenti aggressivi dell'ambiente d'esercizio;
- l'assenza sulle superfici delle strutture di stati fessurativi di ampiezza superiore a quelle massime previste in base ai carichi agenti, all'aggressività dell'ambiente e alla sensibilità delle armature a corrosione, in modo da limitare l'ingresso di sostanze aggressive e i conseguenti fenomeni di aggressione del conglomerato cementizio e delle armature.

Per prolungare la vita utile della struttura sarà indispensabile garantire agli interventi di ripristino la massima durabilità, per questo si farà costante riferimento alla UNI EN 1504-9 al fine di identificare "i principi (strategie/obiettivi)" alla base dell'intervento ed, in particolare, sarà necessario:

- eseguire indagini per il riconoscimento delle cause dei fenomeni di degrado, per individuare le aree su cui intervenire e gli spessori di calcestruzzo incoerente e/o contaminato da asportare (attività da sviluppare in fase di progetto e/o in fase esecutiva laddove emergano situazioni non previste in fase progettuale);
- scegliere le tecniche d'intervento in funzione del tipo di elemento strutturale (orizzontale o verticale), degli spessori e dell'estensione dell'intervento;
- definire i requisiti che devono garantire i materiali utilizzati per il ripristino;
- scegliere i materiali verificando che le prestazioni fornite soddisfino i requisiti richiesti;
- definire nel Progetto in modo accurato ed inequivocabile le fasi esecutive;
- verificare, prima dell'inizio dei lavori, che i materiali proposti dall'Appaltatore rispettino le specifiche prestazionali richieste;
- eseguire controlli sia in fase preliminare, che in corso d'opera, che sulle opere finite.

22.2 Normativa di riferimento

- UNI EN 1504-1: Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Definizioni, requisiti, controllo di qualità e valutazione della conformità - Parte 1: Definizioni
- UNI EN 1504-2: Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Definizioni, requisiti, controllo di qualità e valutazione della conformità - Parte 2: Sistemi di protezione della superficie di calcestruzzo
- UNI EN 1504-3: Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Definizioni, requisiti, controllo di qualità e valutazione della conformità - Parte 3: Riparazione strutturale e non strutturale

- UNI EN 1504-6: Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Definizioni, requisiti, controllo di qualità e valutazione della conformità - Parte 6: Ancoraggio dell'armatura di acciaio
- UNI EN 1504-7: Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Definizioni, requisiti, controllo di qualità e valutazione della conformità - Parte 7: Protezione contro la corrosione delle armature
- UNI EN 1504-9: Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Definizioni, requisiti, controllo di qualità e valutazione della conformità - Parte 9: Principi generali per l'utilizzo dei prodotti e dei sistemi
- UNI EN 1504-10: Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Definizioni, requisiti, controllo di qualità e valutazione della conformità - Parte 10: Applicazione in opera di prodotti e sistemi e controllo di qualità dei lavori

22.3 Criteri di accettazione dei materiali per il ripristino di superfici degradate

I materiali da utilizzare per il ripristino e/o il rinforzo devono possedere la marcatura CE secondo la UNI EN 1504 parte 3 - specifica per la ricostruzione senza variazioni della geometria originaria degli elementi in calcestruzzo o il ringrosso (variazione) di sezioni di strutture in calcestruzzo - con sistema di attestazione di conformità di tipo 2+.
I materiali per il ripristino/adeguamento devono possedere i requisiti di cui ai §§ 22.3.1 e 22.3.6 mentre sono classificati nelle categorie di cui ai seguenti §§, 22.3.2, 22.3.3, 22.3.4 e 22.3.5.

22.3.1 Requisiti di carattere generale

Un materiale per il ripristino di strutture in calcestruzzo deve possedere i seguenti requisiti fondamentali.

- ***Elevata compatibilità con il calcestruzzo di supporto***
  - **Espansione contrastata a 24 ore con maturazione in aria**: la perfetta compatibilità con il calcestruzzo di supporto si ha utilizzando malte e betoncini ad espansione contrastata con maturazione in aria, la cui espansione iniziale consentirà di compensare il ritiro che i materiali cementizi svilupperanno inevitabilmente a seguito dell'evaporazione di parte dell'acqua dalla matrice indurita verso l'esterno. Per garantire in opera la monoliticità tra vecchia struttura e materiale utilizzato per il ripristino è necessario che quest'ultimo sia in grado di fornire adeguati valori di espansione contrastata sia a 24 ore che dopo qualche settimana con maturazione all'aria.
  - **Adesione al calcestruzzo indurito**: l'adesione tra vecchia struttura e materiale di ripristino deve essere conforme a quella riportata nelle tabelle relative alle prescrizioni di capitolato dei prodotti (misurata in condizioni ottimali di laboratorio) applicando un coefficiente riduttivo che tiene conto del passaggio di scala dal laboratorio al cantiere. Pertanto, l'adesione misurata direttamente sulle strutture ripristinate attraverso prove di pull-off (di cui si discuterà in dettaglio all'art. 22.7) potrà risultare inferiore rispetto al valore riportato nelle schede tecniche del materiale utilizzato e misurato in condizioni standardizzate di laboratorio. In particolare, la condizione ottimale è rappresentata da fatto che in una eventuale prova di strappo la rottura avvenga nel substrato in calcestruzzo oppure qualora avvenga all'interfaccia prodotto da ripristino/substrato il valore di rottura deve essere conforme a quello della classe di resistenza del prodotto opportunamente ridotto per tener conto che l'applicazione in cantiere avviene in condizioni operative e di temperatura diverse da quelle di laboratorio. Inoltre, il

prodotto/materiale utilizzato per la ricostruzione delle sezioni degli elementi in calcestruzzo deve essere contraddistinto da un coefficiente di dilatazione termica uguale o simile a quello del calcestruzzo originario.

- **Resistenza meccanica a compressione**: la resistenza meccanica a compressione del materiale utilizzato nella ricostruzione può essere inferiore a quella del calcestruzzo originario nel caso di interventi corticali con riporti in spessori di pochi centimetri, mentre deve risultare simile a quella del calcestruzzo di supporto o maggiore quando si eseguono interventi di adeguamento strutturale.
- **Modulo elastico**: per interventi corticali che riguardano, quasi esclusivamente, il copriferro ed ove la sezione ripristinata non contribuisce alla statica del manufatto, è necessario scegliere un sistema con un modulo di elasticità più basso di quello del calcestruzzo della struttura originaria. Per interventi di ricostruzione parziale – laddove gli spessori di materiale di ripristino sono consistenti e, quindi, ove la porzione di sezione ricostruita collabora alla portanza del manufatto – è necessario impiegare sistemi che abbiano un modulo di elasticità all'incirca uguale di quello del calcestruzzo dell'elemento in c.a. originario. Negli interventi che prevedono un aumento della sezione originaria di un manufatto, se il ringrosso prevede la collaborazione tra porzione ringrossata ed esistente, il modulo di elasticità del materiale da ripristino deve essere all'incirca uguale a quello del substrato originario. Invece, negli interventi di ringrosso strutturale, ove si prescinde in parte o in toto dalla presenza della struttura esistente affidando prevalentemente o completamente al ringrosso tutte le sollecitazioni agenti, al fine di incrementare al massimo la rigidezza della sezione ringrossata, questa deve essere realizzata con un materiale che possegga un modulo di elasticità superiore a quello del calcestruzzo originario.

- ***Elevata compatibilità con l'ambiente d'esercizio***: i materiali utilizzati per ripristinare strutture degradate devono possedere una resistenza agli agenti esterni superiore a quella del calcestruzzo di cui l'opera è costituita. La capacità del materiale da ripristino, di resistere agli agenti aggressivi presenti nell'ambiente, si riferisce principalmente all'acqua liquida, agli ioni Cl, all'anidride carbonica e all'ossigeno, che partecipano attivamente ai processi di corrosione. In strutture interrate o parzialmente interrate ove nel terreno e nelle acque sono presenti potenziali aggressivi per il calcestruzzo (ad es. i solfati) i materiali per la ricostruzione degli elementi danneggiati debbono possedere resistenza intrinseca all'aggressione di questi ioni. Nei riguardi delle sostanze aggressive il materiale da ripristino applicato deve naturalmente risultare il più possibile resistente alla penetrazione di questi fluidi (gas e/o sostanze disciolte in acqua in forma ionica). Tuttavia, tenendo presente, inoltre, che dopo la ricostruzione delle sezioni il copriferro potrebbe essere insufficiente per il ridotto spessore la durabilità degli elementi in calcestruzzo è demandata principalmente (o quasi esclusivamente) all'applicazione di protettivi filmogeni di cui all' art. 23.
- ***Resistenza alla fessurazione da ritiro plastico***: il materiale per il ripristino - ad eccezione delle malte per rasatura da applicare a spessore di pochi millimetri ove questa scelta è opzionale - deve contenere fibre non metalliche non strutturali (ad es. polipropilene, poliacrilonitrile, etc.) nella misura e del tipo adatto a contrastare il verificarsi delle fessure durante le prime ore dopo l'applicazione[1].
- ***Resistenza alla fessurazione da ritiro igrometrico***: per garantire la durabilità del ripristino il materiale di apporto deve avere una elevata resistenza alla fessurazione e garantire l'adesione

[1] Il ritiro plastico è compensato solo parzialmente dalle reazioni espansive idonee a compensare il ritiro igrometrico. Pertanto, è pertanto necessario prendere misure preventive quali: utilizzare materiali provvisti di fibre non metalliche non strutturali, saturare il sottofondo, frattazzare e/o stagionare a umido le parti esposte all'aria.

al calcestruzzo originario a lungo termine; la causa dei distacchi e dei quadri fessurativi è rappresentata dal ritiro igrometrico. Per questo motivo è fondamentale utilizzare materiali ad espansione contrastata in aria che garantiscano, nelle condizioni di esercizio, la compensazione del ritiro igrometrico del materiale di apporto.

- ***Resistenza alla diffusione dell'anidride carbonica gassosa***: requisito necessario per evitare il degrado per corrosione delle armature dovuta all'azione dell'anidride carbonica e dell'ossigeno dell'aria in presenza di acqua. Tuttavia, tenendo presente, inoltre, che dopo la ricostruzione delle sezioni il copriferro potrebbe essere insufficiente per il ridotto spessore, la durabilità degli elementi in calcestruzzo nei confronti dell'azione depassivante della CO_2 gassosa è demandata principalmente (o quasi esclusivamente) all'applicazione di protettivi filmogeni di cui all' art. 23.
- ***Resistenza alla diffusione dei cloruri***: i cloruri sono l'altro fattore che causa la corrosione delle armature. Gli ioni Cl^-, penetrando nel calcestruzzo, allorquando raggiungono all'interfaccia con l'armatura la concentrazione critica, provocano la corrosione dei ferri particolarmente pericolosa in quanto di tipo localizzato. La ridotta porosità della matrice cementizia del materiale di apporto è necessaria per limitare la penetrazione del cloruro. Tuttavia, tenendo presente che dopo la ricostruzione delle sezioni il copriferro potrebbe essere insufficiente per il ridotto spessore, la durabilità degli elementi in calcestruzzo nei confronti dell'azione depassivante dello ione Cl^- è demandata principalmente (o quasi esclusivamente) all'applicazione di protettivi filmogeni di cui all' art. 23.
- ***Resistenza a cicli di gelo-disgelo***: requisito fondamentale per le strutture in zone montane dove la temperatura oscilla intorno a 0°C e quando vi sono condizioni ambientali che rendono il calcestruzzo saturo di acqua. La durabilità degli elementi in calcestruzzo nei confronti dell'azione degradante dovuta alle alternanze termiche è demandata principalmente (o quasi esclusivamente) all'applicazione di protettivi filmogeni di cui all' art. 23. Ove questi rivestimenti non siano previsti è necessario richiedere al materiale di apporto una intrinseca resistenza ai cicli di gelo-disgelo da determinarsi secondo UNI/EN 12390-9, UNI CEN/TR 15177 o UNI 7087 in quanto la marcatura CE in accordo alla UNI EN 1504-3 non copre questa specifica proprietà dei materiali da ricostruzione.
- ***Riduzione del grado di saturazione***: la presenza d'acqua favorisce tutti i processi di degrado, una ridotta porosità del materiale di apporto è necessaria, quindi, per garantire la durabilità dell'intervento di ripristino. Tuttavia, tenendo presente, inoltre, che dopo la ricostruzione delle sezioni il copriferro potrebbe essere insufficiente per il ridotto spessore e che l'intervento potrebbe essere localizzato e non generalizzato sull'intera superficie dell'elemento in calcestruzzo, la riduzione del grado di saturazione del materiale di apporto è demandata principalmente (o quasi esclusivamente) all'applicazione di protettivi filmogeni di cui all' art. 23.

22.3.2 Malte cementizie polimero modificate per rasature

Tali malte contengono polimeri di natura organica che debbono garantire monoliticità con il supporto grazie all' adesione di questi prodotti incrementata dalla presenza del polimero. Possono essere utilizzate quando sia necessario eseguire rasature ad alto spessore (1-10 mm). Resta inteso che la natura e il dosaggio del polimero oltre che del cemento, delle aggiunte sia di tipo I che II, degli additivi riduttori d'acqua e del ritiro, del tipo e del dosaggio di fibre, degli aggregati presenti in questi prodotti sono individuati dal produttore. Al progettista e alla DL, per contro, è demandato il compito esclusivo di verificarne la conformità ai requisiti definiti all'art. 22.3.7.1.

22.3.3 Leganti, malte, betoncini e calcestruzzi a base cementizia aventi caratteristiche espansive

Questi prodotti sono certamente i più diffusi negli interventi di restauro; il loro requisito fondamentale è l'espansione contrastata[2] in aria che è caratteristica essenziale per garantire monoliticità tra vecchia struttura e materiale di ripristino. La scelta di questi prodotti dipende, inoltre, principalmente dalla facilità di applicazione in relazione alla geometria dell'elemento da sottoporre a ricostruzione, dalle caratteristiche elastiche rispetto al calcestruzzo di supporto e negli interventi strutturali dalle prestazioni meccaniche. Infine, questi prodotti debbono possedere una intrinseca resistenza nei confronti delle azioni aggressive ambientali anche se la durabilità degli elementi in calcestruzzo nei confronti dell'azione degradante promossa dall'ambiente (CO_2 e O_2 gassosi, Cl^-, acqua) è demandata principalmente (o quasi esclusivamente) all'applicazione di protettivi filmogeni di cui all'art. 23. Resta inteso che la natura e il dosaggio dell'agente espansivo oltre che del cemento, delle aggiunte sia di tipo I che II, degli additivi riduttori d'acqua e del ritiro, e del tipo e del dosaggio di fibre, degli aggregati presenti in questi prodotti sono individuati dal produttore. Al progettista e alla DL è demandato, per contro, il compito esclusivo di verificarne la conformità ai requisiti definiti agli art. 22.3.7.2, 22.3.7.3 e 22.3.7.5 e 22.3.7.7.

22.3.4 Malte a rapido indurimento

Questi materiali sono caratterizzati da un indurimento rapido che consente di ottenere in brevissimo tempo (poche ore), anche a temperature particolarmente basse (-5°C) elevate prestazioni meccaniche. L'impiego di queste malte si rende necessario nell'effettuazione di interventi di ripristino laddove è richiesta una rapida messa in esercizio della struttura. Resta inteso che la natura e il dosaggio del cemento impiegato, delle aggiunte sia di tipo I che II, degli additivi riduttori d'acqua e del ritiro, degli eventuali acceleranti di indurimento, del tipo e del dosaggio di fibre, degli aggregati presenti in questi prodotti sono individuati dal produttore. Al progettista e alla DL, per contro, è demandato il compito esclusivo di verificarne la conformità ai requisiti definiti agli art. 22.3.7.4 e 22.3.7.6.

22.3.5 Formulati a base di resine organiche

Si tratta principalmente di sistemi di tipo epossidico o vinilestere. Vengono impiegati nel settore del ripristino per interventi speciali di iniezione entro fessure di natura strutturale (non attribuibili al ritiro idraulico e/o alla mancanza di giunti), incollaggi strutturali, inghisaggi di barre di armature, ecc., che non potrebbero essere eseguiti con successo con i materiali cementizi. La loro principale caratteristica è legata alle elevate prestazioni meccaniche (conseguente alla solidità dei legami di polimerizzazione che s'innescano quando la resina si unisce all'indurente) e all'elevata adesione al calcestruzzo, all'acciaio e ai diversi materiali da costruzione.
Requisito specifico per i formulati utilizzati per l'iniezione di fessure è la bassissima viscosità che consente la massima penetrazione del sistema iniettante. Resta inteso che la natura delle resine impiegate e il rapporto resina-indurente di questi prodotti sono individuati dal produttore. Al progettista e alla DL, per contro, è demandato il compito esclusivo di verificarne la conformità ai requisiti definiti all'art. 22.3.7.8.

[2] Si intendono ad espansione contrastata malte, betoncini e calcestruzzi che compensano il ritiro igrometrico con una opportuna reazione espansiva nella fase iniziale dell'indurimento anche in assenza di maturazione umida dopo la fine della presa.

22.3.6 Classificazione dei materiali

I vari tipi di materiale sono così definiti:

MALTE PER RASATURE (MR)

- di tipo **MR1-R2**: malta cementizia, per rasature a basso spessore (1-3 mm), polimero modificata, premiscelata, tixotropica, monocomponente, **provvista di marcatura CE in accordo alla UNI EN 1504-3 per malte di classe R2.**
- di tipo **MR2-R3**: malta cementizia, per rasature ad elevate spessore (4-10 mm), polimero modificata, premiscelata, tixotropica, bicomponente, contenente fibre non metalliche non strutturali, **provvista di marcatura CE in accordo alla UNI EN 1504-3 per malte di classe R3.**

MALTE TIXOTROPICHE (MT)

- di tipo **MT1-R4**: malta cementizia, premiscelata, tixotropica, ad espansione contrastata in aria, con ritentore d'umidità liquido o in polvere, con fibre non metalliche non strutturali, con resistenza a compressione a 28 giorni superiore a 50 MPa, **provvista di marcatura CE in accordo alla UNI EN 1504-3 per malte di classe R4.**
- di tipo **MT2-R4**: malta cementizia, premiscelata, tixotropica, ad espansione contrastata in aria, con ritentore d'umidità liquido o in polvere, con fibre non metalliche non strutturali, con resistenza a compressione a 28 giorni superiore a 60 MPa e resistenza a compressione a 1 giorno superiore a 10 MPa, **provvista di marcatura CE in accordo alla UNI EN 1504-3 per malte di classe R4.**

MALTE COLABILI (MC)

- di tipo **MC1-R4**: malta cementizia, premiscelata, colabile, ad espansione contrastata in aria, con ritentore d'umidità liquido o in polvere, contenente fibre non metalliche non strutturali, **provvista di marcatura CE in accordo alla UNI EN 1504-3 per malte di classe R4**. La malta MC1-R4 può essere utilizzata anche per l'inghisaggio di barre filettate e tondini di armatura in fori realizzati nel calcestruzzo. In tal caso la malta deve essere **provvista di marcatura CE in accordo alla UNI EN 1504-6 o di ETA ai sensi della pertinente EAD per l'impiego previsto.**
- di tipo **MC2-R4-SFR**: malta cementizia, premiscelata, colabile, ad espansione contrastata in aria, con ritentore d'umidità liquido o in polvere, ad elevatissima duttilità, contenente fibre non metalliche non strutturali e fibrorinforzata con fibre metalliche di acciaio, **provvista di marcatura CE in accordo alla UNI EN 1504-3 per malte di classe R4**.
- di tipo **MC3-R4-SFR-RI**: malta cementizia, premiscelata, colabile, a rapido indurimento anche a basse temperature, contenente fibre non metalliche non strutturali e fibrorinforzata con fibre metalliche di acciaio, **provvista di marcatura CE in accordo alla UNI EN 1504-3 per malte di classe R4**.

BETONCINI COLABILI (B)

- di tipo **B1-R4**: betoncino cementizio colabile, ad espansione contrastata in aria, con ritentore d'umidità liquido o in polvere, contenente fibre non metalliche non strutturali. Tale prodotto può essere premiscelato e deve essere **provvisto di marcatura CE in accordo alla UNI EN 1504-3 per betoncini di classe R4** (e quindi non è necessaria prequalifica) oppure ottenuto aggiungendo alla malta MC1-R4 aggregati selezionati (in tale evenienza è necessario effettuare una prequalifica).
- di tipo **B2-R4-SFR**: betoncino cementizio, colabile, ad espansione contrastata in aria, con ritentore d'umidità liquido o in polvere, ad elevatissima duttilità, contenente fibre non metalliche non strutturali e fibrorinforzato con fibre metalliche di acciaio. Tale prodotto può essere premiscelato e deve essere **provvisto di marcatura CE in accordo alla UNI EN 1504-3 per betoncini di classe R4** (e quindi non è necessaria prequalifica) oppure ottenuto aggiungendo

alla malta MC2-R4-SFR aggregati selezionati (in tale evenienza è necessario effettuare una prequalifica).

- di tipo **B3-R4-SFR-RI**: betoncino cementizio, colabile, a rapido indurimento anche a basse temperature, contenente fibre non metalliche non strutturali e fibrorinforzato con fibre metalliche di acciaio. Tale prodotto può essere premiscelato e deve essere **provvisto di marcatura CE in accordo alla UNI EN 1504-3 per betoncini di classe R4** (e quindi non è necessaria prequalifica) oppure ottenuto aggiungendo alla malta MC3-R4-SFR-RI aggregati selezionati (in tale evenienza è necessario effettuare una prequalifica).

CALCESTRUZZO ESPANSIVO (CS)

- di tipo **CS-R4**: calcestruzzo di cemento, superfluido, a stabilità volumetrica, avente Rck ≥45 MPa, consistenza S5 o F5/F6, assenza di bleeding ed elevata pompabilità, ottenuto utilizzando un legante cementizio espansivo mescolato con acqua ed aggregati fini e grossi. Tale prodotto necessita obbligatoriamente di prove di prequalifica prima dell'impiego.

FORMULATI A BASE DI RESINE ORGANICHE

- di tipo **R-TIX**: sistema epossidico bicomponente, tixotropico, privo di solventi, per la sigillatura superficiale di lesioni di natura strutturale (derivanti ad esempio, da carenze nella resistenza a flessione, taglio, torsione o per inadeguata risposta a sollecitazioni di natura dinamica o indotte dal sisma), prima di effettuare l'iniezione con il sistema epossidico R-INJ, **provvisto di marcatura CE in accordo alla EN 1504-4**. Il sistema epossidico R-TIX può essere utilizzato anche per incollaggi strutturali.
- di tipo **R-INJ**: sistema epossidico bicomponente, a bassissima viscosità, priva di solventi, colabile, per l'iniezione di lesioni di natura strutturale (derivanti ad esempio, da carenze nella resistenza a flessione, taglio, torsione o per inadegauata risposta a sollecitazioni di natura dinamica o indotte dal sisma) **provvisto di marcatura CE in accordo alla EN 1504-5**.
- di tipo **R-GRO**: sistema epossidico bicomponente, colabile, a bassa viscosità, per l'inghisaggio di barre d'armatura in fori realizzati nel calcestruzzo **provvisto di marcatura CE in accordo alla EN 1504-6 o di ETA ai sensi della pertinente EAD per l'impiego previsto.**
- di tipo **R-TAS**: tassello chimico rapido in cartuccia bicompartimentale coassiale, a consistenza tixotropica a base di resina vinilestere priva di stirene per il fissaggio rapido di barre filettate e di tondini di armatura all'interno di fori realizzati nel calcestruzzo **provvisto di marcatura CE o di ETA ai sensi della pertinente EAD per l'impiego previsto.**

22.3.7 Requisiti prestazionali dei materiali

Nelle successive tabelle sono indicate le prestazioni minime richieste per i singoli tipi di materiale, salvo migliori caratteristiche definite nel Progetto.

22.3.7.1 MALTE PER RASATURA: MR

REQUISITI	MALTE PER RASATURA	
	MR1-R2	MR2-R3
Classificazione EN UNI 1504	R2	R3
Tipo	CC/PCC (1)	CC/PCC (1)
D_{max} aggregato [mm]	0,5	0,5
Spessore applicazione min/max [mm]	1-3	4-10
Lavorabilità	150-180 mm(2)	150-180 mm(2)
Adesione al calcestruzzo (UNI EN 1542)	> 2 MPa	> 2MPa
Resistenza alla carbonatazione	---------	Pass(3)
Assorbimento capillare	$\leq$ 0,5 kg·m^2·h$^{-0,5}$	$\leq$ 0,5 kg·m^2·h$^{-0,5}$
Compatibilità termica – Cicli di gelo-disgelo (UNI EN 13687-1)	≥2 MPa	≥2 MPa
Resistenza a compressione - 1 giorno - 7 giorni -28 giorni	 -- -- > 20 MPa	 > 10 MPa > 20 MPa > 30 MPa
Resistenza a trazione per flessione - 1 giorno - 7 giorni -28 giorni	 > 1 MPa > 3 MPa > 5 MPa	 > 2 MPa > 4 MPa > 6 MPa
Modulo elastico a 28 giorni(UNI EN 13412)	< 15 GPa	16 (± 2) GPa
Contenuto di cloruri (UNI EN 1015-17)	≤0,05%	≤0,05%

(1)Per strutture idrauliche o interrate preferibilmente CC, per strutture aeree preferibilmente PCC; per strutture aeree protette con rivestimenti superficiali CC o PCC

(2) Valori di spandimento al di fuori del range indicato possono comunque essere accettati, fermo restando che prove preliminari (campo prove) accertino che sia garantita l'applicazione a spruzzo o manuale e la pratica assenza di materiale di sfrido

(3)Il superamento della prova di resistenza alla carbonatazione è richiesto indipendentemente che le superfici dell'elemento ricostruito vengano o meno protette superficialmente con un rivestimento continuo

22.3.7.2 MALTE TIXOTROPICHE: MT

REQUISITI	MT1-R4	MT2-R4
Classificazione UNI EN 1504	R4	R4
Tipo	CC/PCC [1]	CC/PCC [1]
D_{max} aggregato [mm]	4	4
Spessore applicazione min/max [mm]	10-80	10-80
Resistenza a compressione a 28 giorni (UNI EN 12190)	≥ 50 MPa[2]	≥ 60 MPa[2]
Modulo elastico (E) a 28 giorni (UNI EN 13412)	24000 MPa[3] ± 2000 MPa	27 GPa[3] ± 2000 MPa
Adesione (UNI EN 1542)	≥2 MPa	≥2 MPa
Resistenza alla carbonatazione (UNI EN 13295)	Pass[4]	Pass[4]
Compatibilità termica – Cicli di gelo-disgelo (UNI EN 13687-1)	≥2 MPa	≥2 MPa
Assorbimento capillare (UNI EN 13057)	≤0,5kgm^{-2}h$^{-0,5}$	≤0,5kgm^{-2}h$^{-0,5}$
Contenuto di cloruri (UNI EN 1015-17)	≤0,05%	≤0,05%
Lavorabilità (UNI EN 13395-1)	150-200 mm[5]	150-200 mm[5]
Espansione contrastata all'aria (UNI 8147)	0,02% ÷ 0,04% inarcamento	0,02% ÷ 0,04% inarcamento
Resistenza alla fessurazione ("O ring test")	Nessuna fessura dopo 180 giorni	Nessuna fessura dopo 180 giorni
Impermeabilità all'acqua in pressione (UNI EN 12390-8)	≤ 5mm[6]	≤ 5mm[6]
Resistenza a compressione a 1 giorno (UNI EN 12190)	--	≥10 MPa[7]
Resistenza a trazione per flessione a 28 giorni (UNI EN 196-1)	≥4 MPa	≥4 MPa

[1]Per strutture idrauliche o interrate preferibilmente CC, per strutture aeree preferibilmente PCC; per strutture aeree protette con rivestimenti superficiali CC o PCC

[2]Per interventi di ricostruzione corticali ove la porzione di sezione ricostruita (generalmente il copriferro) non collabora con quella originaria potrà essere prescrittta una resistenza a compressione minore, ma in ogni caso ≥ 45 MPa

[3]Il modulo elastico potrà essere meglio specializzato in base alla tipologia di intervento di ricostruzione e al modulo di elasticità del calcestruzzo della struttura originaria (E_{cls}). Per interventi di ricostruzione del solo copriferro non strutturali e non collaboranti E = 20-24 GPa (MT-R4) e comunque inferiori a E_{cls}. Per interventi strutturali collaboranti E = E_{cls}. Per interventi di ringrosso strutturali con sezione originaria non collaborante E>E_{cls}.

[4]Il superamento della prova di resistenza alla carbonatazione è richiesto indipendentemente che le superfici dell'elemento ricostruito vengano o meno protette superficialmente con un rivestimento continuo

[5] Valori di spandimento al di fuori del range indicato possono comunque essere accettati, fermo restando che prove preliminari (campo prove) accertino che sia garantita l'applicazione a spruzzo o manuale e la pratica assenza di materiale di sfrido

[6] Solo per strutture idrauliche

[7]Solo se esistono particolari esigenze strutturali o se gli elementi ripristinati sono soggetti a vibrazioni derivanti dal passaggio di veicoli

22.3.7.3 MALTE COLABILI E FIBRORINFORZATE CON FIBRE METALLICHE: MC

REQUISITI	MC1-R4	MC2-R4-SFR(1)
Classificazione UNI EN 1504	R4	R4
Tipo	CC/PCC (2)	CC/PCC (2)
D_{max} aggregato [mm]	4	4
Spessore applicazione min/max [mm]	10-80	10-80
Resistenza a compressione a 28 giorni (UNI EN 12190)	≥ 60 MPa	≥ 60 MPa
Modulo elastico (E) a 28 giorni (UNI EN 13412)	≥ 25000 MPa(3)	≥ 25000 MPa(3)
Adesione (UNI EN 1542)	≥2 MPa	≥2 MPa
Resistenza alla carbonatazione (UNI EN 13295)	Pass(4)	Pass(4)
Compatibilità termica – Cicli di gelo-disgelo (UNI EN 13687-1)	≥2 MPa	≥2 MPa
Assorbimento capillare (UNI EN 13057)	≤ 0,5kgm^{-2}h$^{-0,5}$	≤ 0,5kgm^{-2}h$^{-0,5}$
Contenuto di cloruri (UNI EN 1015-17)	≤0,05%	≤0,05%
Lavorabilità (UNI EN 13395-1)	230-280 mm(5)	230-280 mm(5)
Espansione contrastata all'aria (UNI 8147)	0,02% ÷ 0,04% inarcamento	0,02% ÷ 0,04% inarcamento
Resistenza alla fessurazione ("O ring test")	Nessuna fessura dopo 180 giorni	Nessuna fessura dopo 180 giorni
Impermeabilità all'acqua in pressione (UNI EN 12390-8)	≤5mm(6)	≤5mm(6)
Resistenza a compressione a 1 giorno/7 giorni (UNI EN 12190)	≥20/40 MPa(7)	≥20/40 MPa(7)
Resistenza a trazione per flessione a 1 giorno/28 giorni (UNI EN 196-1)	≥5/8 MPa	>5/8 MPa
Resistenza a flessione residua media (UNI EN 14651) a: -CMOD 1 = 0,5 mm: (f_{R1}) -CMOD 2 = 1,5 mm: (f_{R2}) -CMOD 3 = 2,5 mm: (f_{R3}) -CMOD 4 = 3,5 mm: (f_{R4})	 - - - -	 >6 MPa >6 MPa >6 MPa >5 MPa
Classe di duttilità (f_{R3}/f_{R1})	--	> 0.80
Resistenza allo sfilamento di barre (8) – Spostamento [mm] con carico 75 kN (UNI EN 1881)	≤0.6 mm	------

(1)Per questi prodotti è obbligatorio il CVT qualora si preveda un utilizzo strutturale per le fibre in acciaio

(2)Per strutture idrauliche o interrate preferibilmente CC, per strutture aeree preferibilmente PCC; per strutture aeree protette con rivestimenti superficiali CC o PCC

(3)Il modulo elastico potrà essere meglio specializzato in base alla tipologia di intervento di ricostruzione e al modulo di elasticità del calcestruzzo della struttura originaria (E_{cls}). Per interventi di ricostruzione del solo copriferro non strutturali e non collaboranti E≥25 GPa (MC-R4). Per interventi strutturali collaboranti E = E_{cls}. Per interventi di ringrosso strutturali con sezione originaria non collaborante E>E_{cls}.

(4)Il superamento della prova di resistenza alla carbonatazione è richiesto indipendentemente che le superfici dell'elemento ricostruito vengano o meno protette superficialmente con un rivestimento continuo

(5) Valori di spandimento al di fuori del range indicato possono comunque essere accettati, fermo restando che prove preliminari (campo prove) accertino che sia garantita mediante applicazione a pompa o getto manuale il completo riempimento del cassero o di tasche realizzate nell'elemnto originario con assenza di vespai e difetti macroscopici

(6) Solo per strutture idrauliche

(7)Solo se esistono particolari esigenze strutturali o se gli elementi ripristinati sono soggetti a vibrazioni derivanti dal passaggio di veicoli

(8) Solo per malte da utilizzarsi per inghisaggi di barre filettate e tondini all'interno di fori in calcestruzzo. In questo caso è onere del progettista valutare tutte le possibili modalità di collasso del sistema diverse dallo sfilamento

22.3.7.4 MALTE COLABILI RINFORZATE CON FIBRE METALLICHE A RAPIDO INDURIMENTO

REQUISITI	MC3-R4-SFR-RI(1)		
Classificazione UNI EN 1504	R4		
Tipo	CC/PCC (2)		
D_{max} aggregato [mm]	4		
Spessore applicazione min/max [mm]	10-80		
Resistenza a compressione a 28 giorni (UNI EN 12190)	≥ 60 MPa		
Modulo elastico (E) a 28 giorni (UNI EN 13412)	≥ 25000 MPa(3)		
Adesione (UNI EN 1542)	≥2 MPa		
Resistenza alla carbonatazione (UNI EN 13295)	Pass(4)		
Compatibilità termica – Cicli di gelo-disgelo (UNI EN 13687-1)	≥2 MPa		
Assorbimento capillare (UNI EN 13057)	≤ 0,5kgm^{-2}h$^{-0,5}$		
Contenuto di cloruri (UNI EN 1015-17)	≤0,05%		
Lavorabilità (UNI EN 13395-1)	200-280 mm(5)		
Espansione contrastata all'aria (UNI 8147)	0,02% ÷ 0,04% inarcamento		
Resistenza alla fessurazione ("O ring test")	Nessuna fessura dopo 180 giorni		
Impermeabilità all'acqua in pressione (UNI EN 12390-8)	≤5mm(6)		
Resistenza a compressione (UNI EN 12190)	-5°C(7)	0°C(7)	20°C
-4 ore	10 MPa	14 MPa	23 MPa
-8 ore	15 MPa	18 MPa	30 MPa
-24 ore	18 MPa	23 MPa	40 MPa
-7giorni	27 MPa	32 MPa	50 MPa
Resistenza a trazione per flessione a 1 giorno/28 giorni (UNI EN 196-1)	≥5/8 MPa		
Resistenza a flessione residua media (UNI EN 14651) a:			
-CMOD 1 = 0,5 mm: (f_{R1})	>6 MPa		
-CMOD 2 = 1,5 mm: (f_{R2})	>6 MPa		
-CMOD 3 = 2,5 mm: (f_{R3})	>6 MPa		
-CMOD 4 = 3,5 mm: (f_{R4})	>5 MPa		
Classe di duttilità (f_{R3}/f_{R1})	> 0,80		

(1) Per questi prodotti è obbligatorio il CVT qualora si prevede un utilizzo strutturale per le fibre in acciaio

(2)Per strutture idrauliche o interrate preferibilmente CC, per strutture aeree preferibilmente PCC; per strutture aeree protette con rivestimenti superficiali CC o PCC

(3)Il modulo elastico potrà essere meglio specializzato in base alla tipologia di intervento di ricostruzione e al modulo di elasticità del calcestruzzo della struttura originaria (E_{cls}). Per interventi di ricostruzione del solo copriferro non strutturali e non collaboranti E≥25 GPa (MC-R4-SFR_RI). Per interventi strutturali collaboranti E = E_{cls}. Per interventi di ringrosso strutturali con sezione originaria non collaborante E>E_{cls}.

(4)Il superamento della prova di resistenza alla carbonatazione è richiesto indipendentemente che le superfici dell'elemento ricostruito vengano o meno protette superficialmente con un rivestimento continuo

(5) Valori di spandimento al di fuori del range indicato possono comunque essere accettati, fermo restando che prove preliminari (campo prove) accertino che sia garantito mediante applicazione a pompa o getto manuale il completo riempimento del cassero o di tasche realizzate nell'elemento originario con assenza di vespai e difetti macroscopici.

(6) Solo per strutture idrauliche

(7)Per misurare le resistenze a compressione a -5°C e a 0°C l'impasto viene realizzato con i componenti a 5°C (polvere, acqua e cassero) e successivamente la miscela e il cassero vengono portati alla temperatura di -5°C o 0°C

22.3.7.5 BETONCINI COLABILI E FIBRORINFORZATI CON FIBRE METALLICHE: B

REQUISITI	B1-R4	B2-R4-SFR[1]
Classificazione UNI EN 1504	R4	R4
Tipo	CC/PCC [2]	CC/PCC [2]
D_{max} aggregato [mm]	8-12	8-12
Spessore applicazione min/max [mm]	80-120[3]	80-120[3]
Resistenza a compressione a 28 giorni (UNI EN 12390-3)	≥60 MPa	≥60 MPa
Modulo elastico (E) a 28 giorni (UNI EN 13412)	≥25 MPa[4]	≥25 MPa[4]
Adesione (UNI EN 1542)	≥2 MPa	≥2 MPa
Resistenza alla carbonatazione (UNI EN 13295)	Pass[5]	Pass[5]
Compatibilità termica – Cicli di gelo-disgelo (UNI EN 13687-1)	≥2 MPa	≥2 MPa
Assorbimento capillare (UNI EN 13057)	≤0,5kgm^{-2}h$^{-0,5}$	≤0,5kgm^{-2}h$^{-0,5}$
Contenuto di cloruri (UNI EN 1015-17)	≤0,05%	≤0,05%
Lavorabilità (UNI EN 12350-8)	230-280 mm[6]	230-280 mm[6]
Espansione contrastata all'aria (UNI 8148 mod)	0,02% ÷ 0,04% inarcamento	0,02% ÷ 0,04% inarcamento
Resistenza alla fessurazione ("O ring test")	Nessuna fessura dopo 180 giorni	Nessuna fessura dopo 180 giorni
Impermeabilità all'acqua in pressione (Uni EN 12390-8)	≤5mm[7]	≤5mm[7]
Resistenza a compressione a 1 giorno/7 giorni (UNI EN 12390-3)	≥25/45 MPa[8]	≥25/45 MPa[8]
Resistenza a trazione per flessione a 1 giorno/28 giorni (UNI EN 12190-5)	≥5/8 MPa	>6/10 MPa
Resistenza a flessione residua media (UNI EN 14651) a: -CMOD 1 = 0,5 mm: (f_{R1}) -CMOD 2 = 1,5 mm: (f_{R2}) -CMOD 3 = 2,5 mm: (f_{R3}) -CMOD 4 = 3,5 mm: (f_{R4})	 -- -- -- --	 >7.0 MPa >6.5 MPa >5.5 MPa >4.5 MPa
Classe di duttilità (f_{R3}/f_{R1})	--	> 0,70

[1]Per tali prodotti è obbligatorio il CVT qualora si prevede un utilizzo strutturale per le fibre in acciaio

[2]Per strutture idrauliche o interrate preferibilmente CC, per strutture aeree preferibilmente PCC; per strutture aeree protette con rivestimenti superficiali CC o PCC

[3]Lo spessore massimo di applicazione del betoncino colabile è pari generalmente a 100-120mm. Per ringrossi di maggiore spessore è necessario ricorrere all'impiego di calcestruzzo superfluido CS-R4, salvo diversa valutazione della D.L. nel caso di ringrossi di superficie limitata. L'impiego di betoncini colabili, in queste situazioni, può essere accettato perché espone a minor rischi di non conformità del materiale, in quanto per il suo confezionamento si utilizzerà un premiscelato pronto all'uso da impastare con sola acqua o un premiscelato per malta colabile cui aggiungere il solo aggregato grosso 4-8 mm o 4-12 mm in misura del 30-35% sulla massa del premiscelato in polvere (in questo caso è necessaria la prequalifica del prodotto)

[4]Il modulo elastico potrà essere meglio specializzato in base alla tipologia di intervento di ricostruzione e al modulo di elasticità del calcestruzzo della struttura originaria (E_{cls}). Per interventi di ricostruzione del solo copriferro non strutturali e non collaboranti E≥25 GPa (B-R4). Per interventi strutturali collaboranti E = E_{cls}. Per interventi di ringrosso strutturali con sezione originaria non collaborante E>E_{cls}.

[5]Il superamento della prova di resistenza alla carbonatazione è richiesto indipendentemente che le superfici dell'elemento ricostruito vengano o meno protette superficialmente con un rivestimento continuo

[6] Valori di spandimento al di fuori del range indicato possono comunque essere accettati, fermo restando che prove preliminari (campo prove) accertino che sia garantito mediante applicazione a pompa o getto manuale il completo riempimento del cassero o di tasche realizzate nell'elemento originario con assenza di vespai e difetti macroscopici.

[7]Solo per strutture idrauliche

[8]Solo se esistono particolari esigenze strutturali o se gli elementi ripristinati sono soggetti a vibrazioni derivanti dal passaggio di veicoli

22.3.7.6 BETONCINI COLABILI RINFORZATI CON FIBRE METALLICHE A RAPIDO INDURIMENTO

REQUISITI	B3-R4-SFR_RI[1]		
Classificazione UNI EN 1504	R4		
Tipo	CC/PCC [2]		
D_{max} aggregato [mm]	8-12		
Spessore applicazione min/max [mm]	80-120[3]		
Resistenza a compressione a 28 giorni (UNI EN 12390-3)	≥60 MPa		
Modulo elastico (E) a 28 giorni (UNI EN 13412)	≥25 MPa[4]		
Adesione (UNI EN 1542)	≥2 MPa		
Resistenza alla carbonatazione (UNI EN 13295)	Pass[5]		
Compatibilità termica – Cicli di gelo-disgelo (UNI EN 13687-1)	≥2 MPa		
Assorbimento capillare (UNI EN 13057)	$\leq 0{,}5 kgm^{-2}h^{-0,5}$		
Contenuto di cloruri (UNI EN 1015-17)	≤0,05%		
Lavorabilità (UNI EN 12350-8)	230-280 mm[6]		
Espansione contrastata all'aria (UNI 8148 mod)	0,02% ÷ 0,04% inarcamento		
Resistenza alla fessurazione ("O ring test")	Nessuna fessura dopo 180 giorni		
Impermeabilità all'acqua in pressione (UNI EN 12390-8)	≤5mm[7]		
Resistenza a compressione (UNI EN 12390-3) -4 ore -8 ore -24 ore -7giorni	-5°C[8] 10 MPa 15 MPa 18 MPa 27 MPa	0°C[8] 14 MPa 18 MPa 23 MPa 32 MPa	20°C 23 MPa 30 MPa 40 MPa 50 MPa
Resistenza a trazione per flessione a 1 giorno/28 giorni (UNI EN 12190-5)	≥6/10 MPa		
Resistenza a flessione residua media (UNI EN 14651) a: -CMOD 1 = 0,5 mm: (f_{R1}) -CMOD 2 = 1,5 mm: (f_{R2}) -CMOD 3 = 2,5 mm: (f_{R3}) -CMOD 4 = 3,5 mm: (f_{R4})	 >7.0 MPa >6.5 MPa >5.5 MPa >4.5 MPa		
Classe di duttilità (f_{R3}/f_{R1})	> 0,70		

[1]Per tali prodotti è obbligatorio il CVT qualora si prevede un utilizzo strutturale per le fibre in acciaio

[2]Per strutture idrauliche o interrate preferibilmente CC, per strutture aeree preferibilmente PCC; per strutture aeree protette con rivestimenti superficiali CC o PCC

[3]Lo spessore massimo di applicazione del betoncino colabile è pari generalmente a 100-120mm. Per ringrossi di maggiore spessore è necessario ricorrere all'impiego di calcestruzzo superfluido CS-R4, salvo diversa valutazione della D.L. nel caso di ringrossi di superficie limitata. L'impiego di betoncini colabili, in queste situazioni, può essere accettato perché espone a minor rischi di non conformità del materiale, in quanto per il suo confezionamento si utilizzerà un premiscelato pronto all'uso da impastare con sola acqua o un premiscelato per malta colabile cui aggiungere il solo aggregato grosso 4-8 mm o 4-12 mm in misura del 30-35% sulla massa del premiscelato in polvere (in questo caso è necessaria la prequalifica del prodotto)

[4]Il modulo elastico potrà essere meglio specializzato in base alla tipologia di intervento di ricostruzione e al modulo di elasticità del calcestruzzo della struttura originaria (E_{cls}). Per interventi di ricostruzione del solo copriferro non strutturali e non collaboranti E≥25 GPa (B-R4). Per interventi strutturali collaboranti E = E_{cls}. Per interventi di ringrosso strutturali con sezione originaria non collaborante E>E_{cls}.

[5]Il superamento della prova di resistenza alla carbonatazione è richiesto indipendentemente che le superfici dell'elemento ricostruito vengano o meno protette superficialmente con un rivestimento continuo

[6] Valori di spandimento al di fuori del range indicato possono comunque essere accettati, fermo restando che prove preliminari (campo prove) accertino che sia garantito mediante applicazione a pompa o getto manuale il completo riempimento del cassero o di tasche realizzate nell'elemento originario con assenza di vespai e difetti macroscopici.

[7]Solo per strutture idrauliche

[8]Per misurare le resistenze a compressione a -5°C e a 0°C l'impasto viene realizzato con i componenti a 5°C (polvere, acqua e cassero) e successivamente la miscela e il cassero vengono portati alla temperatura di -5°C o 0°C

22.3.7.7 CALCESTRUZZI SUPERFLUIDI: CS

REQUISITI	CS-R4
Classificazione UNI EN 1504	R4
Tipo	CC/PCC (1)
D_{max} aggregato [mm]	≥16 (2)
Spessore applicazione min/max [mm]	120-250
Resistenza a compressione caratteristica cubica a 28 giorni (UNI EN 12190)	≥45 MPa(3)
Modulo elastico (E) a 28 giorni (UNI EN 13412)	≥25 GPa(4)
Adesione (UNI EN 1542)	≥2 MPa
Resistenza alla carbonatazione (UNI EN 13295)	Pass(5)
Compatibilità termica – Cicli di gelo-disgelo (UNI EN 13687-1)	≥2 MPa
Assorbimento capillare (UNI EN 13057)	$\leq 0{,}5 kgm^{-2}h^{-0,5}$
Contenuto di cloruri (UNI EN 1015-17)	≤0,05%
Lavorabilità	S5 o F5/F6
Espansione contrastata all'aria (UNI 8148 mod)	0,02% ÷ 0,04% inarcamento
Resistenza alla fessurazione ("O ring test")	Nessuna fessura dopo 180 giorni
Impermeabilità all'acqua in pressione (UNI EN 12390-8)	≤5mm(6)
Resistenza a compressione a 1 giorno/7 giorni (UNI EN 12190)	≥15/30 MPa (7)
Resistenza a trazione per flessione a 1 giorno/28 giorni (UNI EN 12190-5)	≥3/6 MPa

(1)Per strutture idrauliche o interrate preferibilmente CC, per strutture aeree preferibilmente PCC; per strutture aeree protette con rivestimenti superficiali CC o PCC

(2)La dimensione massima dell'aggregato D_{max} verrà individuata in base allo spessore del riporto (s) da effettuare: $D_{max}<1/4s$, all'interferro minimo (i_{min}): $D_{max}<i_{min}$-5mm e al copriferro (c_f): $Dmax<1{,}3c_f$

(3)Il valore della resistenza caratteristica cubica a compressione verrà stabilito in base alle esigenze strutturali richieste dal progettista. Il valore della resistenza a compressione a 28 giorni ovviamente influenza anche quello a 1 e 7 giorni e il modulo elastico del conglomerato.

(4)Il modulo elastico potrà essere meglio specializzato in base alla tipologia di intervento di ricostruzione e al modulo di elasticità del calcestruzzo della struttura originaria (E_{cls}). Per interventi strutturali collaboranti $E = E_{cls}$. Per interventi di ringrosso strutturali con sezione originaria non collaborante $E>E_{cls}$.

(5)Il superamento della prova di resistenza alla carbonatazione è richiesto indipendentemente che le superfici dell'elemento ricostruito vengano o meno protette superficialmente con un rivestimento continuo

(6)Solo per strutture idrauliche

(7)Solo se esistono particolari esigenze strutturali o se gli elementi ripristinati sono soggetti a vibrazioni derivanti dal passaggio di veicoli

22.3.7.8 FORMULATI A BASE DI RESINE ORGANICHE

REQUISITI	R-TIX	R-INJ	R-GRO[(1)]	R-TAS[(1)]
Viscosità cinematica (Brookfield) – EN ISO 3219	-------	< 400 mPa·s	----------	-------
Aderenza per trazione (EN 12618-2)	----------	Rottura del substrato	----------	----------
Adesione al cls e sensibilità all'acqua (EN 12636)	Rottura substrato	----------	----------	----------
Resistenza al taglio (EN 12615)	>6 MPa	----------	----------	----------
Resistenza al taglio (EN 12188)	>12 MPa	----------	----------	----------
Aderenza per taglio inclinato (EN 12618-3)	----------	Rottura monolitica	----------	----------
Aderenza per taglio inclinato (EN 12188) – 50°-60°-70°	>12 MPa	----------	----------	----------
Aderenza (EN 12188)	>14 MPa	----------	----------	----------
Ritiro (EN 12617-1) (EN 12617-2)	<0,1%	<3%	----------	----------
Temperatura di transizione vetrosa (EN 12614)	>40°C	>40°C	>40°C	>40°C
Durabilità (cicli di gelo-disgelo e asciutto/bagnato) – EN 12618-2	----------	Rottura del substrato	----------	----------
Durabilità (EN 13733)	Taglio a compressione > resistenza a trazione cls e nessuna rottura provini acciaio	----------	----------	----------
Modulo elastico (EN 13412)	>2000 MPa	----------	----------	----------
Resistenza a compressione (EN 12390)	>50 MPa	----------	>70 MPa	----------
Sviluppo della resistenza a trazione (EN 1543)	----------	>3 MPa entro 72h o entro 10h per movimenti giornalieri della fessura >10% o di 0,03 mm	----------	----------
Resistenza allo sfilamento di barre d'acciaio: -Creep dopo 3 mesi – carico 50kN (EN 1544) -Spostamento – carico 75kN (EN 1881)	 ---------- ----------	 ---------- ----------	 <0,6 mm <0,6 mm	 ---------- ----------
Coefficiente di espansione termica	$\leq 100*10^{-6}\ K^{-1}$ (misurato tra -25°C e +60°C)	----------	----------	----------
Iniettabilità in un mezzo asciutto (EN 1771) e bagnato	----------	Classe di iniettabilità: <4min fessure da 0,1 mm e <8 min fessure da 0,2 e 0,3mm – Splitting test > 7 MPa	----------	----------

(1) Le prove di resistenza alla sfilamento delle barre d'acciaio sono specifiche solo per quei prodotti che sono conformi alla EN 1504-6. Qualora i prodotti siano provvisti di ETA ai sensi della pertinente EAD per l'impiego previsto non è necessaria l'esecuzione della prova di sfilamento.

22.4 Criteri per la scelta delle tecniche d'intervento e dei materiali

Salvo quanto specificato negli elaborati progettuali, occorre riferirisi alla tabella seguente per la definizione delle tecniche d'intervento e del tipo di materiale in funzione degli spessori da ripristinare e del degrado delle strutture.

Tecniche	**Degrado [mm]**					
	Lieve		**Medio**	**Profondo**	**Molto profondo**	**Applicazioni speciali**
	1-3	4-10	10-80	80-120	>120	
Rasatura	MR1-R2	MR2-R3				
Spruzzo o rinzaffo			MT1-R4* o MT2-R4*			
Colaggio			MC1-R4* o MC2-R4-SFR o MC3-R4-SFR-RI	B1-R4 o B2-R4-SFR o B3-R4-SFR-RI	CS-R4	
Spatola						RT-TIX
Iniezione						RI-INJ
Tassello						R-TAS
	Malte			**Betoncini**	**Calcestruzzi**	**Formulati a base di resine organiche**
	Materiali					

* Se non sono già presenti barre di armatura nei primi 35-40 mm di spessore a partire dall'esterno, è necessario inserire armatura di contrasto in forma di rete di piccolo diametro in acciaio inox oppure zincata (preferibilmente diametro 5 mm maglia 5x5cm) posizionata con tassello (che fa da distanziatore) ad una distanza dalla superficie esterna pari a 1/3 dello spessore di materiale di riporto non armato (35-40 mm).

22.4.1 Degrado lieve – Ripristini di spessore da 1 a 10 mm

La tecnica utilizzata, per eliminare difetti costruttivi quali vespai, bolle e vaiolature, sbeccature, assenza di planarità, è quella della rasatura.

La preparazione del supporto deve essere realizzata mediante sabbiatura, idrosabbiatura o idropulizia.

La malta può essere applicata sia a mano che con macchina intonacatrice, previa miscelazione.

Si utilizza la malta:

- Tipo **MR1-R2** per rasature a spessore da 1 a 3 mm.
- Tipo **MR2-R3** per rasature a spessore da 4 fino a 10 mm.

22.4.2 Degrado medio – Ripristini di spessore maggiore di 10 fino a 80 mm

Le tecniche d'intervento utilizzate sono:

- l'applicazione con macchina intonacatrice (superfici estese) o manuale a cazzuola (superfici ridotte) utilizzando malte tixotropiche MT;
- l'applicazione per colaggio utilizzando malte colabili MC.

L'asportazione del calcestruzzo degradato e/o contaminato (per esempio carbonatato e/o contenente cloruri) dovrà essere eseguita mediante martelletti leggeri alimentati ad aria compressa o mediante macchine idrodemolitrici. Dopo l'asportazione del calcestruzzo degradato/contaminato,

la superficie del supporto dovrà essere macroscopicamente ruvida con asperità di ± 5 mm rispetto ad un piano medio.

RIPRISTINI REALIZZATI CON MACCHINA INTONACATRICE O MANUALMENTE CON CAZZUOLA MEDIANTE MALTE TIXOTROPICHE MT

Tale tecnica è utilizzata sia per ripristinare elementi strutturali verticali che l'intradosso di elementi orizzontali. L'applicazione manuale con cazzuola è consentita per superfici limitate (poche decine di metri quadrati). Si utilizza la malta:

- Tipo **MT1-R4** per ripristinare elementi strutturali che richiedano spessori d'intervento da 10 a 80 mm anche in modo non omogeneo. La malta è particolarmente adatta per interventi di ricostruzione non strutturali soprattutto su strutture in calcestruzzo di resistenza a compressione medio-bassa (< 30 MPa). Se non sono già presenti barre di armatura nei primi 30-35 mm di spessore a partire dall'esterno, e l'intervento è di tipo generalizzato (interessa cioè l'intera superficie dell'elemento), è necessario inserire armatura di contrasto in forma di rete di piccolo diametro in acciaio inox oppure zincata (preferibilmente diametro 5 mm e maglia 5x5cm), posizionata con tassello (che funge anche da distanziatore) ad una distanza pari a 1/3 dello spessore di materiale riportato dalla superficie esterna.
- Tipo **MT2-R4** per ripristinare elementi strutturali che richiedano spessori d'intervento da 10 a 80 mm anche in modo non omogeneo. La malta è particolarmente idonea per interventi strutturali collaboranti, ma anche per ripristino corticale non strutturale di elementi nei quali la qualità del calcestruzzo è medio alta (> 30 MPa), in particolar modo in quei contesti (ad es. interventi sotto traffico) ove è necessario avere una resistenza a compressione a 1 giorno almeno pari a 10 MPa. Se non sono già presenti barre di armatura nei primi 30-35 mm di spessore a partire dall'esterno, e l'intervento è di tipo generalizzato (interessa cioè l'intera superficie dell'elemento), è necessario inserire armatura di contrasto in forma di rete di piccolo diametro in acciaio inox oppure zincata (preferibilmente diametro 5 mm e maglia 5x5cm), posizionata con tassello (che fungono anche da distanziatore) ad una distanza pari a 1/3 dello spessore di materiale riportato dalla superficie esterna

RIPRISTINI REALIZZATI PER COLAGGIO MANUALE O MEDIANTE POMPA MEDIANTE MALTE COLABILI MC

Tale tecnica è utilizzata per ripristinare l'estradosso di elementi strutturali orizzontali.

Il colaggio entro cassero o in tasche (scassi) realizzati nella struttura originaria è possibile per spessori compresi tra 10-80 mm facendo uso di malte di tipo MC. Si utilizza la malta:

- Tipo **MC1-R4** per ripristinare elementi strutturali che richiedano spessori d'intervento da 10 a 80 mm anche in modo non omogeneo. Per interventi di spessore da 30-35 a 80 mm la malta deve essere armata con rete elettrosaldata in assenza di armatura pre-esistente. Tale malta essendo colabile può essere messa in opera in modo semplice ed affidabile per colaggio anche entro cassero. La malta MC1-R4 può essere utilizzata anche per l'inghisaggio di barre filettate e tondini di armatura in fori realizzati nel calcestruzzo. Resta onere del progettista valutare tutte le possibili modalità di collasso del sistema diverse dallo sfilamento.
- Tipo **MC2-R4-SFR** per ripristinare elementi strutturali che richiedano spessori d'intervento da 10 a 80 mm anche in modo non omogeneo particolarmente indicata per elementi strutturali soggetti a sollecitazione cicliche e/o carichi impulsivi e/o per incamiciature e/o per interventi a basso spessore su solette. Tale malta, essendo rinforzata con fibre di acciaio, non richiede applicazione di rete elettrosaldata. L'elevato dosaggio delle fibre di acciaio conferisce alla malta un elevato indice di duttilità. Per questa malta è obbligatorio il CVT qualora si preveda un utilizzo strutturale per le fibre in acciaio.

- Tipo **MC3-R4-SFR-RI** per ripristinare in tempi brevissimi anche a basse temperature elementi strutturali che richiedano spessori d'intervento da 10 a 80 mm anche in modo non omogeneo particolarmente indicata per elementi strutturali soggetti a sollecitazione cicliche e/o carichi impulsivi e/o per incamiciature e/o per interventi a basso spessore su solette allorquando è richiesto un indurimento rapido anche a basse temperature. Tale malta è in grado di sviluppare resistenze meccaniche molto elevate alle brevissime stagionature anche a temperature di -5°C, inoltre, essendo fibrorinforzata (fibre di acciaio rigide), non richiede applicazione di rete elettrosaldata. L'elevato dosaggio delle fibre di acciaio conferisce alla malta un elevato indice di duttilità. Per questa malta è obbligatorio il CVT qualora si preveda un utilizzo strutturale per le fibre in acciaio.

22.4.3 Degrado profondo – Ripristini di spessore maggiore di 80 fino a 120 mm

Quando il degrado interessa spessori maggiori di 80 mm non si devono più utilizzare malte, ma si deve far uso di betoncini colabili B. Lo spessore massimo di applicazione del betoncino colabile B è pari generalmente a 120 mm. Per ringrossi di maggiore spessore è necessario ricorrere all'impiego di calcestruzzo superfluido CS-R4, salvo diversa valutazione della D.L. nel caso di ringrossi di superficie limitata. In queste situazioni, l'impiego di betoncino colabile B può essere accettato perché espone a minor rischi di non conformità del materiale, in quanto per il suo confezionamento si utilizzerà un premiscelato pronto all'uso da impastare con sola acqua o un premiscelato per malta colabile MC-R4 cui aggiungere il solo aggregato grosso 4-8 mm o 4-12 mm in misura indicativamente del 30-35% sulla massa del premiscelato in polvere. In quest'ultima evenienza (confezionamento con premiscelato per malta e aggiunta di aggregato grosso) è necessario effettuare la prequalifica del prodotto.
Le tecniche d'intervento utilizzate sono:

- messa in opera per colaggio su superfici orizzontali di betoncini ad espansione contrastata in aria;
- colaggio entro cassero (incamiciatura) di betoncini ad espansione contrastata in aria.

L'asportazione del calcestruzzo degradato e/o contaminato (per esempio carbonatato e/o contenente cloruri) dovrà essere eseguita mediante martelletti leggeri alimentati ad aria compressa o preferibilmente, visti gli elevati spessori, mediante macchine idrodemolitrici. Dopo l'asportazione del calcestruzzo degradato/contaminato, la superficie del supporto dovrà essere macroscopicamente ruvida con asperità di ±5 mm rispetto ad un piano medio.
Per questi interventi si utilizza il betoncino:

- Tipo **B1-R4** per ripristinare elementi strutturali che richiedano spessori d'intervento da 80 a 120 mm. Il betoncino deve essere sempre armato con rete elettrosaldata (o con armature integrativa in forma di tondini) in assenza di altre armature. Tale betoncino, essendo colabile, può essere messo in opera in modo semplice ed affidabile per colaggio anche entro cassero, senza richiedere vibrazione.
- Tipo **B2-R4-SFR** per ripristinare elementi strutturali che richiedano spessori d'intervento da 80 a 120 mm anche in modo non omogeneo particolarmente indicato per elementi strutturali soggetti a sollecitazione cicliche e/o carichi impulsivi e/o per incamiciature e/o per interventi in sovraspessore su solette. Tale betoncino, essendo fibrorinforzato con fibre di acciaio, non richiede applicazione di rete elettrosaldata. L'elevato dosaggio delle fibre di acciaio conferisce al betoncino un elevato indice di duttilità. Per tali miscele è obbligatorio il CVT qualora si preveda un utilizzo strutturale per le fibre in acciaio.
- Tipo **B3-R4-SFR-RI** per ripristinare in tempi brevissimi, anche a basse temperature, elementi strutturali che richiedano spessori d'intervento da 80 a 120 mm anche in modo non omogeneo particolarmente indicato per elementi strutturali soggetti a sollecitazione cicliche e/o carichi

impulsivi e/o per incamiciature e/o per interventi in sovraspessore su solette allorquando è richiesto un indurimento rapido anche a basse temperature. Tale betoncino è in grado di sviluppare resistenze meccaniche molto elevate alle brevissime stagionature anche a temperature di -5°C, inoltre, essendo rinforzato con fibre di acciaio, non richiede applicazione di rete elettrosaldata. L'elevato dosaggio delle fibre di acciaio conferisce al betoncino un elevato indice di duttilità. Per tali miscele è obbligatorio il CVT qualora si preveda un utilizzo strutturale per le fibre in acciaio.

I betoncini B1-R4, B2-R4-SFR e B3-R4-SFR-RI possono essere confezionati ricorrendo all'impiego di un prodotto premiscelato oppure aggiungendo in cantiere al premiscelato per malte rispettivamente di tipo MC1-R4, MC2-R4-SFR e MC3-R4-SFR-RI aggregati di opportuna curva granulometrica; per ottenere buoni risultati è necessario porre particolare attenzione alla scelta degli aggregati, verificando che siano di diametro minimo pari a 4 mm e diametro massimo di 12 mm, ben puliti e privi di impurità limo argillose. Gli aggregati debbono essere provvisti di marcatura CE in accordo alla EN 12620. Va sottolineato, come anticipato all'inizio del paragrafo, che in tale evenienza - qualora si ricorra cioè nel confezionamento del betoncino al corrispondente premiscelato per malta cui aggiungere acqua e aggregato grosso - è necessario effettuare la prequalifica del prodotto.

22.4.4 Degrado molto profondo e/o interventi con aumento delle sezioni originarie – Ripristini di spessore maggiore di 120 mm

Quando il degrado interessa spessori maggiori di 120 mm o allorquando l'intervento di ripristino preveda l'incremento delle sezioni originarie degli elementi costruttivi in spessore maggiore di 120 mm si deve far uso di calcestruzzi superfluidi a stabilità volumetrica confezionati con aggregati aventi diametro massimo $\geq$ 16 mm. In particolare, la dimensione massima dell'aggregato D_{max} verrà individuata in base:

- allo spessore del riporto (s) da effettuare: $D_{max} \leq 1/4*s$;
- all'interferro minimo (i_{min}): $D_{max} \leq i_{min}$ - 5 mm;
- al copriferro (c_f): $D_{max} \leq 1,3 * c_f$.

Le tecniche d'intervento utilizzate sono:

- messa in opera per colaggio su superfici orizzontali;
- colaggio entro cassero (incamiciatura).

L'asportazione del calcestruzzo degradato/contaminato (per esempio carbonatato e/o contenente cloruri) dovrà essere eseguita mediante martelletti leggeri alimentati ad aria compressa o preferibilmente, visti gli elevati spessori, mediante macchine idrodemolitrici, dopo l'asportazione del calcestruzzo contaminato, la superficie del supporto dovrà essere macroscopicamente ruvida con asperità di ±5 mm. Negli interventi di ringrosso di elementi non danneggiati la preparazione delle superfici potrà essere effettuata mediante idroscarifica (senza asportazione di spessori consistenti del conglomerato originario) con il solo obiettivo di ottenere un substrato macroscopicamente ruvido con asperità di ±5 mm.

22.4.5 Interventi con formulati a base di resine organiche

Spesso nei lavori di manutenzione delle strutture è necessario eseguire interventi speciali, con formulati a base di resine organiche. E' il caso della sigillatura di fessure di origine strutturale o allorquando occorre fissare barre filettate o tondini di armatura in fori realizzzati nel calcestruzzo. Nel caso degli interventi di sigillatura di lesioni (generalmente di ampiezza superiore a 0,3-0,4 mm) presenti sulla superficie di elementi verticali o all'intradosso di elementi orizzontali occorre procedere preliminarmente:

- All'esecuzione di fori a destra e a sinistra della lesione inclinati a 45° e con profondità di circa 8-10 cm con passo generalmente di 25-30 cm (la distanza tra due fori consecutivi e la profondità è a discrezione del progettista/DL) in modo da intercettare la soluzione di continuità;
- A svasare la lesione in modo da creare un incavo che verrà – previa pulizia ad aria compressa della fessura per rimuovere i detriti generati – successivamente sigillato mediante il ricorso ad un sistema epossidico di tipo **R-TIX**.
- A fissare nei fori precedentemente realizzati dei tubici o degli iniettori impiegando lo stesso sistema epossidico **R-TIX**.
- A verificare mediante aria compressa che ci sia "comunicazione" tra i fori realizzati ed eventualmente qualora questa non fosse garantita realizzare ulteriori fori fino al raggiungimento dell'obiettivo.
- A iniettare la lesione attraverso i tubicini/iniettori predisposti mediante un sistema epossidico a bassissima viscosità tipo **R-INJ**.

Per la sigillatura di lesioni sull'estradosso di elementi orizzontali – soprattutto se di grande ampiezza – l'iniezione della soluzione di continuità potrà (a discrezione del progettista/DL) avvenire per colaggio del sistema epossidico R-INJ anche senza la preliminare sigillatura superficiale con sistema epossidico R-TIX. In questo caso, in base all'ampiezza della lesione si valuterà se prima di effettuare il colaggio del sitema epossidico R-INJ è necessario o meno procedere ad una preliminare svasatura della fessura.

In definitiva, quindi, la sigillatura di lesioni di natura strutturale, allorquando è necessario ripristinare la monolicità della sezione si effettua facendo ricorso all'utilizzo combinato dei sistemi epossidici R-TIX e R-INJ per fessure su elementi verticali e all'intradosso di elementi orizzontali oppure con il solo sistema epossidico R-INJ nel caso di iniezione di fessure all'estradosso di elementi orizzontali. Nel primo caso l'iniezione avviene in pressione facendo ricorso a pompe a doppia membrana, nel secondo caso la sigillatura si effettua per semplice colaggio del sistema R-INJ. Indipendentemente dal tipo di fessura, dall'elemento strutturale interessato il substrato deve essere completamente asciutto e tutte le operazioni preliminari di foratura di rimozione della polvere e dei detriti debbono essere effettuati a secco preferibilmente con aria compressa senza far ricorso all'utilizzo di acqua. Per questo motivo, se queste operazioni riguardano elementi esterni esposti alle intemperie occorre verificare che dopo la sigillatura gli stessi non siano interessati dalla pioggia per almeno 3-7 giorni rispettivamente nella stagione calda e fredda.

Il sistema epossidico R-TIX può essere utilizzato anche per l'incollaggio di elementi in calcestruzzo, acciaio, PVC e altri materiali a elementi in conglomerati cementizio già indurito in quanto garantisce elevata adesione. In questa evenienza prima dell'applicazione a spatola del sistema epossidico R-TIX è necessario che la superficie in calcestruzzo venga preliminarmente sabbiata in modo da ottenere un substrato rugoso con asperità di + 2 mm.

Allorquando risulta necessario fissare (inghisare) barre filettate e/o tondini all'interno di fori realizzati in una struttura in calcestruzzo già indurito si farà ricorso all'utilizzo di sistemi epossidici di tipo R-GRO oppure R-TAS. Indipendentemente dal prodotto utilizzato si procederà:

- Alla realizzazione dei fori mediante trapano: il diametro del foro per l'inghisaggio per barre ad aderenza migliorata dal diametro fino a 16 mm, deve essere pari alla somma del diametro della barra più 4 mm, mentre per barre ad aderenza migliorata dal diametro compreso tra 18 e 34 mm, deve essere pari alla somma del diametro della barra più 6 mm.
- Alla pulizia con aria compressa per la rimozione della polvere e dei detriti generati dall'operazione di foratura.
- Alla sigillatura del foro con sistemi R-GRO o R-TAS.

22.5 Certificazioni e prequalifica dei materiali per gli interventi di ripristino/adeguamento

L'Appaltatore, almeno 10 giorni prima di impiegare i materiali, deve trasmettere alla Direzione Lavori per approvazione la seguente documentazione:

- Marcatura CE, DoP e scheda tecnica con le condizioni climatiche limite di utilizzo e le modalità di posa dei materiali. Laddove la DoP non riporti uno specifico requisito richiesto al § 22.3 l'Appaltatore deve allegare anche un certificato emesso da un Laboratorio Ufficiale a dimostrazione della conformità del prodotto che intende proporre. **In particolare, per i betoncini B1-R4, B2-R4-SFR e B3-R4-SFR-RI confezionati in cantiere impiegando premiscelati per malte colabili MC cui viene aggiunto aggregato grosso è richiesta la prequalifica del conglomerato cementizio certificata da un Laboratorio Ufficiale. La prequalifica attestata da certificazione del Laboratorio Ufficiale è richiesta anche per il calcestruzzo superfluido CS-R4. Indipendemente dai materiali utilizzati, le DoP e i certificati debbono attestare la rispondenza dei prodotti proposti alle prescrizioni di cui all' art. 22.3.7.**
- La certificazione del sistema di controllo della produzione (FPC) e il Certificato UNI EN ISO 9001 del sistema di gestione qualità delle società produttrici dei materiali;
- La scheda tecnica dei macchinari utilizzati per l'asportazione del calcestruzzo, la sabbiatura e l'applicazione dei prodotti conformemente alle condizioni di utilizzo indicate nelle schede tecniche dei materiali e alle modalità esecutive di cui al § 22.6 e alla norma UNI EN 1504-10;
- Una tabella di riepilogo con i materiali proposti per le varie configurazioni di progetto e i mezzi o macchinari impiegati per la loro posa in opera
- Una relazione di sintesi delle varie fasi lavorative con riferimento ai materiali, mezzi ed attrezzature proposte di cui ai punti precedenti e alle modalità di stagionatura previste;
- In accordo al punto 10 e A.10 della UNI EN 1504-9 occorre che il personale sia in possesso dell'esperienza adeguata per eseguire i lavori in conformità al progetto e alle serie delle norme EN 1504. Al riguardo si richieche che almeno un componente di ciascuna squadra di lavoro **possegga certificazione CS (Capo Squadra) e che ci sia almeno una figura con certficazione AS (assistente di cantiere) e TS (Tecnico Specialista) in accordo alla norma UNI/PdR 153:2023**;
- Eventuali certificati che attestano le prestazioni ambientali del materiale laddove previsto da progetto (es. EPD), in tal caso, il controllo delle certificazioni deve riguardare anche la qualità ambientale dei prodotti, anche in riferimento a quanto previsto dalla ISO 14044 relativa al LCA.
- A discrezione della DL per i prodotti premiscelati provvisti di marcatura CE – per i quali in fase di accettazione sarebbe sufficiente la stessa marcatura CE, la DoP e la scheda tecnica – potranno essere richiesti i certificati di laboratorio relativi ai requisiti (valutati in accordo al corrispondente metodo di prova) indicati nella successiva tabella. Per i prodotti non premiscelati – come sopra anticipato – i certificati di laboratorio debbono riportare tutti i requisiti prestazionali riportati nelle Tabelle di cui all'art. 22.3.7.

22.5.1 Requisiti da valutare preliminarmente all'inizio dei lavori per i prodotti premiscelati provvisti di marcatura CE

REQUISITI	PRODOTTI		
	Malte polimero modificate di tipo MR1-R2 MR2-R3	Malte MT1-R4, MT2-R4, MC1-R4, MC2-R4-SFR e MC3-R4-SFR-RI	Betoncini B1-R4, B2-R4-SFR e B3-R4-SFR-RI
Lavorabilità	EN 1015-3		Slump flow: UNI EN 12350-8
Espansione contrastata in aria	-------	all'aria: UNI 8147 (malte) Test di Inarcamento/Imbarcamento	UNI 8148 (betoncino) Test di Inarcamento/Imbarcamento
Adesione al calcestruzzo	UNI EN 1542 (metodo di prova/trazione diretta)		
Resistenza alla carbonatazione	UNI EN 13295 (metodo di prova) UNI EN 1504-3 (limiti di accettazione) **escluso MR1-R2**		
Assorbimento capillare	UNI EN 13057 (assorbimento capillare)		
Compatibilità termica: cicli di gelo-disgelo con sali disgelanti	UNI EN 13687-1		
Resistenza a compressione	UNI EN 12190		UNI EN 12390-3
Resistenza a trazione per flessione	UNI EN 12190-5		UNI EN 12390-5
Resistenza a flessione residua media	--	UNI EN 14651 (**solo per prodotti SFR**)	
Modulo elastico	UNI EN 13412	UNI EN 13412	
Resistenza allo sfilamento delle barre d'acciaio		**EN 1881 (solo per MC1-R4 allorquando la malta viene utilizzato per inghisaggio di barre filettate e/o tondini).**	

Per i prodotti non premiscelati quali i betoncini B confezionati aggiungendo al premiscelato per malta colabile MC l'aggregato grosso e per i calcestruzzi superfluidi CS i requisiti da determinare preliminarmente all'esecuzione dei lavori sono tutti quelli contenuti nelle tabelle prestazionali di cui all'art. 22.3.7.
Resta inteso che le prove – sia preliminarmente all'esecuzione dei lavori che eventualmente a discrezione della DL in corso di esecuzione degli stessi – debbono essere effettuate nel rispetto del protocollo indicato nella normativa di riferimento per ogni caratteristica che deve essere verificata. Questo significa che la DL dovrà prelevare il prodotto premiscelato e inviarlo al laboratorio incaricato ove le prove verranno effettuate in accordo alle normative di riferimento. In particolare, si deve evitare il confezionamento di provini in cantiere (ad esempio, per la determinazione della resistenza a compressione, flessione, etc.) in quanto il confezionamento, la conservazione, la manipolazione dei provini non può seguire l'iter standardizzato previsto dalle prove stesse. Se la DL decidesse comunque di effettuare il confezionamento dei provini in cantiere, questo deve avvenire nel rispetto del dosaggio di acqua indicato dal produttore e adottando stesse procedure di compattazione, maturazione che verrebbero adottate nelle prove di laboratorio.

La Direzione Lavori, in contraddittorio con l'Appaltatore, all'inizio delle lavorazioni effettuerà i prelievi dei materiali da sottoporre a prova secondo modalità e frequenze riportate nel seguito.

Nella successiva tabella sono riportati i metodi di prova e relative frequenze per i conglomerati ad espansione contrastata in aria e per le malte cementizie polimero modificate.

Requisiti	Metodi di prova			Frequenza della prova (a discrezione della DL)
	Malte MR1-R2 e MR2-R4	MT e MC	B e CS-R4	
Lavorabilità	Spandimento: UNI EN 1015-3		UNI EN 12350-2 o UNI EN 12350-8	1 ogni giorno (a discrezione della DL) per ogni tipo di prodotto impiegato
Espansione contrastata in aria	--	All'aria UNI 8147 (malte)	UNI 8148 (betoncini)	1 per ogni tipo di prodotto impiegato
Adesione al calcestruzzo	UNI EN 1542 (metodo di prova/trazione diretta)			1 per ogni tipo di prodotto impiegato
Resistenza alla carbonatazione	UNI EN 13295 (escluso MR1-R2)			1 per ogni tipo di prodotto impiegato
Assorbimento capillare	UNI EN 13057 (assorbimento capillare)			1 per ogni tipo di prodotto impiegato
Compatibilità termica: cicli di gelo-disgelo con sali disgelanti	UNI EN 13687-1 (metodo di prova)			1 per ogni tipo di prodotto impiegato
Resistenza a compressione	UNI EN 12190		UNI EN 12390-3	1 al giorno (a discrezione della DL) e per ogni tipo di prodotto impiegato
Resistenza a trazione per flessione	UNI EN 12190-5		UNI EN 12390-5	1 al giorno (a discrezione della DL) e per ogni tipo di prodotto impiegato
Resistenza a flessione residua media	UNI EN 14651 (**solo per prodotti SFR**)		UNI EN 14651 (**solo per prodotti SFR**)	1 a settimana (a discrezione della DL) per ogni tipo di prodotto impiegato
Modulo elastico	UNI EN 13412		UNI EN 13412	1 per ogni tipo di prodotto impiegato
Resistenza allo sfilamento delle barre d'acciaio	**EN 1881 (solo per MC1-R4 allorquando la malta viene utilizzata per inghisaggio di barre filettate e/o tondini).**			1 per ogni tipo di prodotto impiegato

Nella successiva tabella sono riportati i metodi di prova e relative frequenze per i formulati a base di resine organiche.

REQUISITI	**Frequenza della prova (a discrezione della DL)**	**R-TIX**	**R-INJ**	**R-GRO**	**R-TAS**
Viscosità cinematica (Brookfield) – EN ISO 3219	1 per ogni tipo di prodotto impiegato	Non Richiesta (NR)	SI	(NR)	(NR)
Aderenza per trazione (EN 12618-2)	1 per ogni tipo di prodotto impiegato	NR	SI	NR	NR
Adesione al cls e sensibilità all'acqua (EN 12636)	1 per ogni tipo di prodotto impiegato	SI	NR	NR	NR
Resistenza al taglio (EN 12615)	1 per ogni tipo di prodotto impiegato	SI	NR	NR	NR
Resistenza al taglio (EN 12188)	1 per ogni tipo di prodotto impiegato	SI	NR	NR	NR
Aderenza per taglio inclinato (EN 12618-3)	1 per ogni tipo di prodotto impiegato	NR	SI	NR	NR
Aderenza per taglio inclinato (EN 12188) – 50°-60°-70°	1 per ogni tipo di prodotto impiegato	SI	NR	NR	NR
Aderenza (EN 12188)	1 per ogni tipo di prodotto impiegato	SI	NR	NR	NR
Ritiro (EN 12617-1) (EN 12617-2)	1 per ogni tipo di prodotto impiegato	SI	SI	NR	NR
Temperatura di transizione vetrosa (EN 12614)	1 per ogni tipo di prodotto impiegato	SI	SI	SI	SI
Durabilità (cicli di gelo-disgelo e asciutto/bagnato) – EN 12618-2	1 per ogni tipo di prodotto impiegato	NR	SI	NR	NR
Durabilità (EN 13733)	1 per ogni tipo di prodotto impiegato	SI	NR	NR	NR
Modulo elastico (EN 13412)	1 per ogni tipo di prodotto impiegato	SI	NR	NR	NR
Resistenza a compressione (EN 12390)	1 per ogni tipo di prodotto impiegato	SI	NR	SI	NR
Sviluppo della resistenza a trazione (EN 1543)	1 per ogni tipo di prodotto impiegato	NR	SI	NR	NR
Resistenza allo sfilamento di barre d'acciaio: -Creep dopo 3 mesi – carico 50kN (EN 1544) -Spostamento – carico 75kN (EN 1881)	1 per ogni tipo di prodotto impiegato	 NR NR	 NR NR	 SI SI	 NR NR
Coefficiente di espansione termica	1 per ogni tipo di prodotto impiegato	SI	NR	NR	NR
Iniettabilità in un mezzo asciutto (EN 1771) e bagnato	1 per ogni tipo di prodotto impiegato	NR	SI	NR	NR

22.6 Modalità esecutive

Le modalità esecutive relative alla preparazione del substrato e all'applicazione dei prodotti dovrà essere conforme ai documenti di qualifica approvati dal Direttore dei Lavori di cui al § 22.5 e ai contenuti della norma UNI EN 1504-10.

Le modalità esecutive e la scelta dei prodotti variano in funzione dello spessore del calcestruzzo da asportare, dell'elemento da ripristinare, dello spessore di applicazione del materiale da ripristino e possono comunque essere sintetizzate nelle seguenti fasi:

- **Scarifica e demolizione** del calcestruzzo degradato/ammalorato, e di quello carbonatato e/o inquinato da cloruri fino a liberare completamente i ferri di armatura corrosi. Nel caso di ripristini localizzati è necessario liberare il ferro anche lateralmente rispetto allo sviluppo longitudinale della barra per almeno 20-30 mm circa da ogni parte. Indipendentemente dalle modalità di effettuazione delle operazioni (idrodemolizione o martellina leggera) e dalla profondità di scarifica si dovrà garantire in ogni caso che a tergo del ferro di armatura vi sia sempre una luce libera di almeno 15-20 mm e che l'asperità del substrato sia ± 5 mm rispetto ad un piano medio; dovrà essere garantita la corretta gestione dei materiali di risulta in conformità a quanto previsto dal Capitolato Ambientale per i rifiuti. La profondità di scarifica dovrà in ogni caso garantire di raggiungere uno strato di calcestruzzo integro a insindacabile giudizio della D.L. Qualora l'intervento comporti la liberazione delle armature su porzioni estese della struttura, il progettista/DL dovrà valutare se la stessa è da effettuarsi sull'intero elemento strutturale o se, per contro, procedere a una scarifica parziale dell'elemento, da eseguirsi per settori, con conseguente ricostruzione progressiva delle parti scarificate, al fine di garantire la stabilità e la sicurezza strutturale dell'opera durante queste fasi transitorie dell'intervento di ripristino.
- **Incisione e delimitazione** delle zone da ricostruire garantendo in tutti i punti uno spessore minimo di malta da ricostruzione pari a 10 mm (fatto salvo gli interventi che prevedono l'impiego di prodotti MR).
- **Pulizia dei ferri** per rimuovere i prodotti di corrosione mediante spazzolatura meccanica e/o sabbiatura. La pulizia è finalizzata alla rimozione dalla superficie dei tondini di tutti i prodotti di corrosione presenti in forma di scaglie e/o incoerenti e/o pulverulenti anche a tergo delle armature.
- **Applicazione a pennello di un protettivo per ferri** conforme alla EN 1504-7 avendo cura di rispettare lo spessore indicato dal produttore nella scheda tecnica del prodotto prescelto e di applicare lo stesso sui soli tondini senza interessare ("sporcare") il calcestruzzo circostante. L'applicazione del protettivo deve interessare tutta la superficie del tondino.
- **Eventuale integrazione dei ferri di armatura** laddove le verifiche statiche e dinamiche indichino che vi sia una necessità di provvedere all'introduzione di nuove armature oppure eventuale posizionamento della rete elettrosaldata di contrasto. Le armature integrative sia in forma di tondini che di reti elettrosaldate dovranno essere fissate al substrato in calcestruzzo originario mediante tasselli oppure mediante uncini inghisati al calcestruzzo originario.
- **Pulizia e saturazione della superficie di supporto[3].** All'estradosso di strutture orizzontali eventuale pretrattamento della superficie per garantire una migliore adesione tra substrato in calcestruzzo e materiale per la ricostruzione con soluzioni acquosa di resine acrilico-viniliche o con primer epossidici per riprese di getto. In questa evenienza non si deve presaturare il substrato prima dell'applicazione delle resine o del primer.
- **Applicazione del materiale di ripristino**.
- **Staggiatura e riprofilatura e successiva frattazzatura**.

[3] Per avere la certezza che il supporto sia pulito al momento dell'applicazione è consigliabile effettuare la pulizia immediatamente prima dell'applicazione del materiale, dopo che tutte le altre operazioni di preparazione del sottofondo sono state ultimate

- **Stagionatura umida**.
- **Eventuale applicazione del rivestimento protettivo superficiale (vedi art. 23).**

Le fasi esecutive in funzione del tipo di materiale utilizzato sono indicate nella tabella seguente e descritte nei punti successivi.
In tutte le fasi esecutive, comprese le fasi di preparazione e di sistemazione finale delle aree, per gli aspetti e le problematiche relative a temi ambientali, quali impatti acustici e vibrazionali, emissioni in atmosfera, impatto sulle acque superficiali, sotterranee e sul suolo, impatti sulla componente fauna e vegetazione, si rimanda integralmente a quanto prescritto dalla Normativa Nazionale e Regionale vigente, alle prescrizioni degli Enti preposti alla tutela ambientale, nonché alle condizioni ambientali contenute nelle autorizzazioni ed alle disposizioni del Capitolato Ambientale allegato al progetto esecutivo.

22.6.1 Fasi esecutive in funzione del materiale impiegato

		MATERIALI		
		MT1-R4 e MT2-R4 MC1-R4, MC2-R4-SFR MC3-R4-SFR-RI B1-R4, B2-R4-SFR B3-R4-SFR-RI CS-R4	MR1-R2, MR2-R3	R-TIX, R-INJ, R-GRO, R-TAS
FASI ESECUTIVE	Asportazione del calcestruzzo degradato	Idrodemolizione o scalpellatura meccanica (creando asperità ± 5 mm)	Sabbiatura o idropulizia (creando asperità ± 2 mm)	Sabbiatura
	Pulizia delle armature	Sabbiatura o spazzolatura	Sabbiatura o spazzolatura	Sabbiatura o spazzolatura
	Posizionamento di armature aggiuntive	Se richiesto	N.R.**	Se richiesto
	Posizionamento di rete di contrasto	Se richiesto*	N.R.**	N.R.**
	Pulizia della superficie di supporto	Acqua in pressione	Acqua in pressione	Aria compressa
	Saturazione della superficie di supporto	Acqua in pressione	Acqua in pressione	N.R.**
	Applicazione del materiale di ripristino	A spruzzo o per colaggio	A spruzzo o a spatola	Spatolatura o colaggio o iniezione
	Frattazzatura (sup.vert.) o staggiatura (sup.oriz.)	Richiesta	Richiesta	N.R.**
	Stagionatura***	Maturazione umida preferibilmente per 5 giorni	Maturazione umida preferibilmente per 5 giorni solo per MR2-R3	N.R.**

* Se non sono già presenti barre di armatura nei primi 35-40 mm di spessore a partire dall'esterno, è necessario inserire armatura di contrasto in forma di rete di piccolo diametro in acciaio inox oppure zincata (preferibilmente diametro 5 mm maglia 5x5cm) posizionata con tassello (che fa da distanziatore) ad una distanza dalla superficie esterna pari a 1/3 dello spessore di materiale di riporto non armato (35-40 mm).
**N.R.: Non richiesta.
*** Da effettuarsi con teli protettivi in plastica, geotessuti bagnati o mediante applicazione di agenti di curing.

22.6.1 Asportazione del calcestruzzo degradato

Il Progettista stabilirà lo spessore di calcestruzzo da asportare sulla base dei risultati di un'apposita indagine preliminare. La Direzione Lavori segnalerà alla Committente eventuali difformità di degrado rispetto a quanto valutato nel Progetto.

La scarifica del calcestruzzo interesserà uno spessore tale da interessare il ferro più interno corroso che dovrà essere completamente liberato dal conglomerato cementizio lasciando – preferibilmente – a tergo dello stesso una luce libera di 15-20 mm (questo significa che la scarifica interesserà non solo il calcestruzzo ammalorato e in fase di distacco, ma anche il conglomerato integro a tergo delle barre di armatura). Nel caso di interventi di tipo localizzato (ferro per ferro) è necessario liberare il ferro anche lateralmente rispetto allo sviluppo longitudinale della barra per almeno 20-30 mm circa da ogni parte. Inoltre, è necessario operare una scarifica che consenta di ottenere una superficie rugoso con asperità ± 5 mm rispetto ad un piano medio. . Qualora l'intervento comporti la liberazione delle armature su porzioni estese della struttura, il progettista/DL dovrà valutare se la stessa è da effettuarsi sull'intero elemento strutturale o se, per contro, procedere a una scarifica parziale dell'elemento, da eseguirsi per settori, con conseguente ricostruzione progressiva delle parti scarificate, al fine di garantire la stabilità e la sicurezza strutturale dell'opera durante queste fasi transitorie dell'intervento di ripristino. L'asportazione del calcestruzzo avverrà mediante idrodemolizione o scalpellatura meccanica eseguita mediante martelletti leggeri alimentati ad aria compressa, adottando tutte le precauzioni necessarie ad evitare il danneggiamento delle strutture superstiti.

Le macchine idrodemolitrici dovranno avere pressione del getto d'acqua > 150 MPa e portata compresa tra 100 e 300 l/min in funzione del tipo della struttura e del calcestruzzo da asportare. Tali macchine dovranno essere sottoposte alla preventiva approvazione della Direzione Lavori ed essere corredate di sistemi di preregolazione con comando a distanza e di sistemi di sicurezza e di protezione, che consentano il corretto funzionamento anche in presenza di traffico, nonché il controllo delle acque di scarico, la qualità delle quali dovrà essere conforme ai limiti delle tabelle contenute nell'allegato 5 del DLgs 152/2006.

Per le malte cementizie polimero modificate (MR1-R2 e MR2-R3,) e per il formulato a base di resine organiche (R-TIX) utilizzati per l'incollaggio di elementi di calcestruzzo, acciaio, PVC, etc. la preparazione del supporto potrà essere effettuata anche mediante sabbiatura (da impiegare per R-TIX) o idropulizia a bassa pressione (da non utilizzare per R-TIX) in quanto per questi materiali è necessario garantire un'asperità del calcestruzzo originario pari a ±2 mm rispetto al piano medio.

Le modalità di verifica di questa operazione viene riportata nel paragrafo 22.7

MOTIVAZIONI: La necessità di liberare completamente il ferro discende dal fatto che sarà necessario effettuare le operazioni di pulizia degli stessi – per la rimozione della ruggine incoerente – anche nella porzione di tondino non in vista. Inoltre, la liberazione completa del ferro consentirà – dopo la ricostruzione con il prodotto da ripristino – di avere un'armatura tutta inglobata in una matrice cementizia con elevato pH che consentirà, quindi, la totale "ripassivazione" del ferro che, pertanto, opererà in condizioni di passività caratterizzate da velocità di corrosione ingegneristicamente nulle (soddisfacimento del principio 7 "preserving or restoring passivity" della norma EN 1504-9). Infine, inglobando completamente l'armatura questa eserciterà una efficace azione di contrasto alla potenziale espansione del prodotto da ripristino. Infatti, i materiali per la ricostruzione della sezione hanno caratteristiche espansive per la presenza nel premiscelato di un agente che reagendo con l'acqua aumenta di volume. La potenziale espansione deve essere il più possibile impedita (per favorire nella porzione ricostruita la nascita di uno sforzo di compressione fondamentale per controbilanciare lo sforzo di trazione che nei 24 mesi successivi all'indurimento interesserà la porzione ricostruita ed è generato dall'impedimento al ritiro del prodotto da ripristino) sia dalla

rugosità del substrato in calcestruzzo (da qui la necessità di garantire una scabrezza di ±5 mm) che dal ferro d'armatura.

22.6.2 Incisione e delimitazione delle zone da ripristinare

Nel caso in cui si dovesse realizzare un intervento di ripristino localizzato è necessario delimitare la zona da sottoporre a ricostruzione mediante un flessibile (smerigliatrice angolare) incidendola per uno spessore pari ad almeno 10 mm.
MOTIVAZIONE: L'incisione del perimetro dell'area sottoposta al ripristino consente di avere una "parete laterale di contrasto" all'espansione che risulta benefica in quanto incrementa lo sforzo di precompressione.

22.6.3 Pulizia delle armature

La pulizia dei ferri di armatura può essere effettuata mediante sabbiatura, idropulizia, spazzola metallica o con trapano a tazza e ha come obiettivo quello di rimuovere dalla superficie dei tondini i prodotti di corrosione incoerenti. La pulizia delle armature deve avvenire anche a tergo del ferro.

Le modalità di verifica di questa operazione viene riportata nel paragrafo 22.7

MOTIVAZIONE: La rimozione della ruggine incoerente si rende necessaria per garantire una perfetta aderenza del tondino al prodotto da ripristino. Tale aderenza sarebbe compromessa se sulla superficie del ferro ci fossero particelle/scaglie di ruggine incoerente. Inoltre, la rimozione della ruggine incoerente si rende necessaria anche perché l'applicazione dell'eventuale protettivo dei ferri (conforme alla EN 1504-7) deve avvenire su tondino privo di particelle incoerenti per evitare che lo stesso – se non ben adeso all'armatura – perda di efficacia in termini di protezione.

22.6.4 Eventuale applicazione del protettivo dei ferri

Applicazione a pennello di un protettivo per ferri conforme alla EN 1504-7 avendo cura di rispettare lo spessore indicato dal produttore nella scheda tecnica del prodotto prescelto e di applicare lo stesso sui soli tondini senza interessare ("sporcare") il calcestruzzo circostante. L'applicazione del protettivo deve riguardare tutta la superficie del tondino.

Le modalità di verifica di questa operazione viene riportata nel paragrafo 22.7

MOTIVAZIONE: il protettivo per ferri è una malta cementizia additivata con polimeri ed eventualmente additivi inibitori di corrosione. L'aggiunta del polimero ha come obiettivo quello di consentire l'applicazione a pennello sulla superficie del ferro per ottenere uno strato protettivo di piccolo spessore (1.2 – 2 mm). È evidente che in assenza di polimero una malta di cemento applicata in spessore così sottile finirebbe per distaccarsi immediatamente dal tondino. L'aggiunta del polimero, inoltre, ha lo scopo di creare una "protezione fisica", una barriera (soddisfacimento del principio 11 - Controllo dell'area anodica in accordo alla EN 1504-9) per le sostanze aggressive (anidride carbonica e cloruri) giunte per diffusione all'interfaccia con l'armatura. Per quei prodotti che contengono anche l'inibitore di corrosione la protezione è duale in quanto all'effetto barriera si somma quello derivante, ad esempio, dall'incremento della concentrazione critica di cloruro per innescare il processo di corrosione. L'efficacia della protezione "barriera" è legata alla formazione del film di polimero che – per essere efficace – necessita di un rapido asciugamento dello strato di malta. Per questo motivo, occorre rispettare rigidamente lo spessore indicato nella scheda tecnica per favorire la rapida asciugatura che richiederà all'incirca 24h – 3 giorni rispettivamente nella buona stagione con temperature superiori a 15-20°C e 3 giorni per applicazioni a temperature inferiori e comunque mai minori di 7°C. L'applicazione su ferri ad aderenza migliorata di uno spessore superiore a 2 mm rischia di coprire i risalti delle barre con ripercussioni negative sull'aderenza

malta/betoncino/calcestruzzo – acciaio e, quindi, anche sul contrasto all'espansione che il tondino deve esercitare. Relativamente all'aderenza questa comunque viene in ogni caso ridotta rispetto a quella garantita dal ferro nudo. Infatti, la norma EN 1504-7 consente la marcatura del prodotto purchè l'adesione per taglio – valutata secondo EN 15184 – risulti almeno pari all'80% di quella valutata sul ferro non trattato. Pertanto, se la stessa norma ammette che l'applicazione del protettivo riduca l'aderenza al tondino lo stesso avverrebbe se lo stesso viene applicato sul calcestruzzo circostante il ferro. La riduzione sarebbe dovuta, inoltre, alla riduzione della scabrezza del substrato scarificato se erroneamente il protettivo viene applicato sul calcestruzzo.

22.6.5 Posizionamento di armature aggiuntive

Qualora sia necessario aggiungere delle armature, queste saranno poste in opera prima della pulizia della superficie di supporto e del posizionamento dell'eventuale rete elettrosaldata di contrasto. Le perforazioni delle strutture necessarie all'inserimento di armatura aggiuntiva dovranno essere realizzate con idonee dime o supporti equivalenti atti a vincolare sia l'inclinazione del roto-percussore, che la profondità del perforo della punta. Occorre prestare la massima attenzione affinché la struttura non sia forata per l'intero spessore con conseguente dispersione di materiale nelle zone sottostanti.

22.6.6 Posizionamento della rete elettrosaldata di contrasto

Se non sono già presenti barre di armatura nei primi 35-40 mm di spessore a partire dall'esterno e l'intervento è di tipo generalizzato (non ferro per ferro) è necessario inserire armatura di contrasto in forma di rete di piccolo diametro in acciaio inox oppure zincata (preferibilmente diametro 5 mm maglia 5x5cm) posizionata con tassello (che fa da distanziatore) ad una distanza dalla superficie esterna pari a 1/3 dello spessore di materiale di riporto non armato (35-40 mm). La rete di contrasto non è necessaria negli interventi generalizzati ove si fa ricorso a prodotti di tipo SFR. Inoltre, se lo spessore complessivo di materiale di riporto non armato in un intervento effettuato con malte MT è superiore a 35 mm oltre a prevedere l'inserimento della rete di contrasto è neccasrio procedere all'applicazione della malta tixotropica in due strati indicativamente di spessore 35-40 mm il primo e il secondo di spessore necessario a completare la ricostruzione. Si tenga presente che lo spessore effettivo dei due strati dovrà tener conto del fatto che la rete di contrasto dovrà essere tutta annegata nel secondo strato di malta tixotropica. Se la ricostruzione avviene con prodotti colabili MC, B e CS indipendentemente dallo spessore del materiale di riporto l'applicazione del materiale di ripristino deve avvenire senza soluzioni di continuità.

MOTIVAZIONE: Garantire il corretto contrasto all'espansione della malta tissotropica o colabile da ripristino negli interventi di tipo generalizzato. Lo sforzo di compressione (benefico in quanto si oppone allo sforzo di trazione generato dal ritiro impedito) è massimo all'interfaccia con il calcestruzzo della struttura originaria e si annulla sulla superficie della malta. Quando lo spessore della malta da riporto è superiore a 35-40 mm gli strati più esterni, peraltro più esposti al fenomeno del ritiro, risultano scarsamente confinati e, pertanto, rischiano di fessurarsi. Per questo motivo è opportuno introdurre un'armatura di contrasto posizionata – mediante tasselli – in prossimità della superficie esterna dell'elemento costruttivo.
Nel caso sia previsto nel Progetto l'utilizzo di rete elettrosaldata in barre d'acciaio inossidabile, questa dovrà avere le caratteristiche precisate in Progetto.

22.6.7 Pulizia e saturazione della superficie di supporto

Per avere la certezza che il supporto sia pulito al momento dell'applicazione occorre effettuare la pulizia immediatamente prima dell'applicazione del materiale, dopo che tutte le altre operazioni di preparazione siano state ultimate.
Si dovranno pertanto asportare con i mezzi più opportuni le polveri, eventuali residui di parti incoerenti di tracce di grassi, oli e sali aggressivi, ottenendo così una superficie costituita da un conglomerato cementizio sano, pulito e compatto.
Per l'applicazione dei materiali cementizi, la pulizia della superficie di supporto, dovrà essere effettuata mediante lavaggio con acqua in pressione (80-100 MPa e acqua calda nel periodo invernale), per asportare polvere e parti incoerenti, eventualmente ancora presenti dopo la scarifica meccanica del calcestruzzo.
L'operazione di pulizia con acqua in pressione, se eseguita immediatamente prima dell'applicazione del materiale, consente anche la saturazione del calcestruzzo, necessaria ad evitare che il materiale di ripristino all'interfaccia con il substrato subisca una sottrazione di acqua che diminuirebbe l'adesione al conglomerato. Per i prodotti colabili (MC, B e CS) che vengono gettati entro cassero – soprattutto quando si realizzano incamiciature di elementi esistenti - è necessario realizzare una casseratura munita di fori sulla parte bassa con tappi di chiusura. Almeno 3-4 ore prima di effettuare il getto riempire il cassero con acqua e trenta minuti prima di effettuare il getto rimuovere i tappi e far defluire tutta l'acqua. Terminata questa operazione rimettere i tappi e procedere con il getto del prodotto colabile. Per i conglomerati tissotropici, invece, è sufficiente bagnare abbondantemente il substrato in calcestruzzo prima dell'applicazione del prodotto avendo cura di rimuovere l'acqua in eccesso mediante stracci bagnati o più semplicemente con aria compressa. Anche per i ripristini superficiali (applicazione delle malte per rasatura MR) la superficie va comunque bagnata fino a saturazione prima dell'applicazione del prodotto. Per l'applicazione dei formulati a base di resine organiche (R-TIX, R-INJ, R-GRO, R-TAS) la pulizia della superficie di supporto dovrà essere effettuata mediante getto di aria compressa per asportare la polvere eventualmente presente. Per questi prodotti, prima dell'applicazione il substrato in calcestruzzo deve essere asciutto.
MOTIVAZIONE: La saturazione del substrato in calcestruzzo con acqua si rende necessaria per evitare che il conglomerato cementizio della struttura originaria – se non saturo – sottragga l'acqua contenuta nel materiale da ripristino impedendo una corretta idratazione del legante idraulico in esso contenuto e, conseguentemente, inficiando l'adesione del prodotto al substrato.

22.6.8 Applicazione dei materiali di ripristino

Le modalità applicative variano in relazione alla tecnologia all'intervento di ripristino e al tipo di materiale prescelto.
I materiali cementizi forniti già premiscelati a secco vengono preparati con le seguenti modalità:

MT1-R4, MT2-R4, MC1-R4, MC2-R4-SFR: miscelare con acqua ed eventuale ritentore liquido. L'additivo ritentore se già presente in polvere nel premiscelato ovviamente non va aggiunto;

B1-R4, B2-R4-SFR: miscelare solo con acqua ed eventuale ritentore liquido se il premiscelato contiene l'aggregato grosso. L'additivo ritentore se già presente in polvere nel premiscelato ovviamente non va aggiunto. Se il confezionamento avviene mediante ricorso al premiscelato MC1-R4 o MC2-R4-SFR mescolare aggiungendo acqua e aggregato grosso oltre all'eventuale ritentore liquido. Se i premiscelati MC1-R4 o MC2-R4-SFR contengono l'additivo ritentore in forma di polvere la preparazione dell'impasto avviene aggiungendo la sola acqua e l'aggregato grosso;

MR1-R2, MC3-R4-SFR-RI, B3-SFR-RI: miscelare con acqua;

MR2-R3: mescolare il componente polvere (A) con il componente liquido (B) nelle proporzioni stabilite dal produttore;

CS-R4: mescolare il legante cementizio a stabilità volumetrica con acqua, sabbie e aggregati grossi.

L'aggiunta di acqua deve avvenire nel rispetto di quanto indicato dalle Ditte Produttrici (sarà importante non superare mai il quantitativo massimo indicato per evitare sia fenomeni di bleeding e segregazione che il decadimento di tutte le prestazioni) e il mescolamento deve essere prolungato per almeno 4-5 minuti con betoniera o con il miscelatore dell'intonacatrice secondo la seguente metodologia:

- introdurre nella betoniera o nel miscelatore il minimo quantitativo d'acqua indicato dal produttore, aggiungere l'aggregato grosso (solo per i betoncini non premiscelati) e il premiscelato in sacco;
- proseguire la miscelazione per 4-5 minuti fino ad ottenere un impasto omogeneo e privo di grumi e, quindi, aggiungere l'eventuale ritentore di umidità liquido (ove previsto);
- se necessario, aggiungere altra acqua (senza mai superare il quantitativo massimo indicato dal Produttore) fino ad arrivare alla consistenza voluta e mescolare per altri 2 minuti.

Per i calcestruzzi CS-R4 seguire la procedura tipica della produzione dei conglomerati cementizi che prevede il carico degli aggregati, l'aggiunta di circa 2/3 dell'acqua di impasto e, quindi, il legante cementizio a stabilità volumetrica. Mescolare per circa 10 minuti e aggiungere la rimanente acqua fino al raggiungimento della consistenza desiderata.
Non è consentita la miscelazione a mano poiché questa generalmente comporta un eccesso d'acqua nell'impasto. Per miscelare piccoli quantitativi dovrà essere impiegato un normale trapano con mescolatore a frusta.
Le malte tixotropiche vanno applicate con macchina intonacatrice o manualmente con la cazzuola. Per ripristini localizzati (entro scanalature) la ricostruzione può avvenire applicando la malta in un unico strato. Per ripristini generalizzati ove lo spessore al di sopra del ferro più esterno è maggiore di 30-35 mm si deve applicare il prodotto in strati non superiori a 30-35 mm. In tal caso, è possibile:

- Adottare la tecnica fresco su fresco: questo modo di operare consiste nell'attendere che il primo strato di malta "inizi la presa" prima di applicare il secondo. Non si deve bagnare il primo strato di malta prima di procedere all'applicazione del secondo. Indicativamente, è possibile capire quando è iniziata la presa del primo strato e, quindi, procedere ad applicare il secondo strato di malta quando la superficie della malta del primo strato sottoposta a leggera pressione con le dita della mano riporta i segni lasciati dai polpastrelli, ma allo stesso tempo le dita della mano non rimangono sporche di malta.
- Adottare la tecnica fresco su indurito: questa modalità consiste nell'applicare il primo strato di malta e nell'attendere almeno 24 ore (ma non più di 72 ore) prima di procedere al completamento della ricostruzione della sezione con il secondo strato. Prima di procedere all'applicazione del secondo strato è necessario bagnare il primo strato.

È indispensabile che negli elaborati progettuali quando gli spessori di riporto (privi di armatura originaria) superano i 30-35 mm venga esplicitamente indicato che l'applicazione deve avvenire in almeno due strati e che in fase di esecuzione la Direzione Lavori eserciti uno stringente controllo finalizzato al rispetto delle modalità di ricostruzione della sezione riportate negli elaborati progettuali.
Le malte ed i betoncini colabili vanno applicati a consistenza fluida o superfluida per colaggio, nel caso di applicazione entro cassero si dovranno utilizzare casseforme che non assorbano acqua dall'impasto e che garantiscano una perfetta tenuta per evitare perdite di bocca, tali casseforme dovranno essere opportunamente fissate in modo da resistere alla spinta dei materiali a consistenza

superfluida. I ripristini con prodotti colabili devono essere effettuati mediante un solo getto e senza soluzioni di continuità indipendentemente dallo spessore del materiale di riporto.
E' accettata l'applicazione con temperature comprese tra 5-8°C e 35-40°C. Al di fuori di tale intervallo l'applicazione potrà essere effettuata soltanto previa autorizzazione della Direzione Lavori. Riguardo a questo aspetto la DL nel concedere l'autorizzazione a gettare a temperature inferiori a 5°C deve valutare quanto tempo intercorre tra la posa del materiale e l'eventuale gelata notturna. Per le malte e i betoncini MC3-SFR-RI e B3-SFR-RI, purchè preparate in modo che la temperatura dell'impasto al termine della miscelazione sia almeno di 5°C, si potrà procedere all'applicazione anche se la temperatura ambientale nelle ore successive al getto dovesse portarsi al di sotto di 0°C.
Quando le temperature sono tra 5 e 10°C lo sviluppo delle resistenze meccaniche è più lento, pertanto è necessario adottare i seguenti provvedimenti:

- conservare il prodotto in ambiente riparato dal freddo;
- impiegare eventualmente acqua calda per preparare l'impasto;
- iniziare le applicazioni dei prodotti nella tarda mattinata;
- proteggere dall'ambiente freddo il getto coprendolo con materassini coibenti.

Per applicazioni a temperature prossime a 40°C è necessario adottare i seguenti provvedimenti:

- conservare il prodotto in luogo fresco;
- impiegare acqua fresca;
- applicare i materiali nelle ore meno calde della giornata;
- nei climi asciutti e ventilati si raccomanda di porre particolare attenzione alla stagionatura.

Per i formulati a base di resine organiche (R-TIX, R-INJ e R-GRO) la miscelazione deve avvenire nel rigido rispetto di quanto stabilito da produttore seguendo scrupolosamente le indicazioni fornite dal produttore sulle schede tecniche dei singoli prodotti. In particolare, essendo questi formulati di natura bicomponenente occorre rispettare rigidamente il rapporto di miscelazione tra il componente A (resina epossidica) e il componente B (indurente).

22.6.9 Frattazzatura o staggiatura

Dopo l'applicazione dei materiali cementizi tixotropici, si procede alla staggiatura e alla riprofilatura per rimuovere l'eventuale materiale in eccesso, successivamente la superficie dovrà essere lisciata mediante frattazzatura. Tale operazione dovrà essere eseguita con molta cura per contrastare efficacemente la formazione di microfessure, derivanti dal ritiro plastico.Per diminuire questo rischio tutte le malte tixotropiche, che sono applicate a spruzzo od a rinzaffo, devono essere provviste di fibre non metalliche non strutturali. L'intervallo di tempo tra l'applicazione a spruzzo e la finitura con frattazzo è stabilito in funzione del primo irrigidimento della malta (inizio presa) che si determina quando, appoggiando una mano sulla superficie, le dita non affondano ma lasciano una leggera impronta.
Le superfici esposte all'aria (vale a dire non a contatto con casseforme) dei materiali cementizi colabili appena messe in opera devono essere stagionate con agenti di curing che non pregiudichino l'aderenza di successivi sistemi protettivi superficiali filmogeni, geotessuti bagnati o teli di plastica.

22.6.10 Stagionatura

Una corretta stagionatura è fondamentale per garantire una giusta maturazione e per evitare la formazione di fessure da ritiro plastico, dovute all'immediata evaporazione di parte dell'acqua d'impasto sotto l'azione del sole, del vento e di U.R. particolarmente basse. Si consiglia di effettuare la maturazione umida per almeno 5 giorni. La stagionatura può essere realizzata in modo semplice

ed affidabile ricorrendo alla copertura con teli impermeabili, geotessuti o utilizzando agenti di curing. La maturazione umida non deve essere effettuata per i formulati a base di resine organiche.

22.6.11 Applicazione del rivestimento protettivo superficiale

L'ultima fase dell'intervento è costituita dall'applicazione del protettivo superficiale (le tipologie di rivestimenti protettivi superficiali sono riportate nell'articolo 23). L'operazione consiste in:

- Lavaggio a bassa pressione per eliminare tracce di disarmante/polvere o altre tracce di sporco.
- Applicare sulla superficie il protettivo secondo le indicazioni contenute nella scheda tecnica del prodotto prescelto.

MOTIVAZIONE: la corretta applicazione della protezione superficiale consentirà di soddisfare i seguenti principi in accordo alla EN 1504-9: Principio 1 – protezione dall'ingresso delle sostanze aggressive (segnatamente CO_2 e Cl^-), Principio 2 – Moisture control, Principio 8 – Increasing concrete resistivity e Principio 9 – Cathodic control.

Le modalità di verifica di questa operazione viene riportata nel paragrafo 22.7

22.7 Controlli e prove

L'Appaltatore, in contraddittorio con la Direzione Lavori, prima dell'inizio delle lavorazioni dovrà verificare attentamente che i macchinari utilizzati per l'asportazione del calcestruzzo degradato e/o contaminato, per eventuali sabbiature, per la pulizia e/o la saturazione del supporto e per l'applicazione a spruzzo dei prodotti tixotropici o mediante getto di quelli colabili siano idonei ad ottenere quanto richiesto dal Progetto ed approvato in fase di qualifica.
Tali verifiche dovranno essere estese anche in corso d'opera per verificare che tutte le fasi esecutive siano realizzate come nel progetto e con i materiali approvati in fase di qualifica, che i materiali siano applicati nelle modalità riportate sulle schede tecniche e in conformità a quanto indicato ai § 22.5 e 22.6.

Inoltre, in anticipo rispetto al momento dell'esecuzione dell'opera si procederà alla qualifica dei prodotti in accordo a quanto riportato all'art. 22.5.6.

Si procederà, quindi, all'inizio dei lavori con le operazioni di scarifica e demolizione del calcestruzzo degradato/contaminato

Terminate le fasi di scarifica e di pulizia dei ferri per il prosieguo dei lavori sarà necessaria autorizzazione da parte della Direzione Lavori che dovrà verificare che gli spessori di scarifica siano corretti, che i ferri siano completamente liberati, che la rimozione dei prodotti di corrosione sia avvenuta correttamente. Riguardo alle modalità su come effettuare il controllo degli spessori di scarifica questa deve avvenire facendo ricorso al metro da cantiere (o anche con il calibro). Per quanto attiene, invece, alla verifica della correttezza delle operazioni di pulizia del ferro questa deve avvenire ricorrendo all'impiego di uno "specchietto da dentista" – o altra proceduta che la Direzione Lavori deciderà di adottare – che consenta di verificare a tergo delle armature la presenza eventuale di ruggine incoerente. Riguardo alla valutazione della corretta pulizia dei ferri si suggerisce alla Direzione Lavori di munirsi da guanto da carpentiere e di esercitare sul ferro uno sfregamento. La corretta pulizia corrisponde alla mancanza di polvere incoerente a scaglie sulla superficie del guanto. Sarà cura della Direzione Lavori evidenziare con vernice i punti ove non sono stati rispettati i spessori di scarifica e/o pulizia che andranno verificati con ulteriori sopralluoghi. Si procederà, quindi, all'applicazione del protettivo per ferri d'armatura (ove richiesto dal progetto).

Terminata la fase di applicazione del protettivo dei ferri, la Direzione Lavori, verifica la corretta applicazione del protettivo controllando sia lo spessore di applicazione con il calibro – ma anche controllando le confezioni di prodotto utilizzato tenendo conto del consumo riportato su scheda tecnica e dei metri lineari di ferro da trattare. Inoltre, la Direzione Lavori controlla che l'applicazione del protettivo sia avvenuta su tutta la superficie del tondino avendo particolare cura di analizzare mediante lo specchietto del dentista – o con procedura che riterrà più opportuna – l'applicazione sulle superfici non direttamente in vista. Terminate la fase sopraripportata per il proseguo dei lavori sarà necessaria autorizzazione da parte della Direzione Lavori che dovrà verificare la corretta applicazione del protettivo dei ferri. Infine, la Direzione Lavori controllerà che l'applicazione non abbia interessato anche il calcestruzzo che circonda il tondino. Il mancato rispetto di questa prescrizione richiederà una nuova operazione di idropulizia per l'eliminazione del protettivo dalla superficie del calcestruzzo. Se questa operazione produce la rimozione del protettivo dalla superficie dei tondini circostanti si procederà ad applicare nuovamente il protettivo sui tondini. Si procederà, quindi, all'applicazione del materiale da ripristino.

22.7.1 Controlli e prove sulle strutture ripristinate

Qualora si ritenga necessario per verificare la qualità e la bontà dell'esecuzione dell'intervento di ripristino – non dei materiali utilizzati in quanto questa verifica è stata preliminarmente o in corso di esecuzione dei lavori effettuata attraverso le prove condotte in laboratorio in accordo a quanto specificato al par. 22.5.1 - si procederà al termine dell'esecuzione dei lavori e trascorso il tempo (almeno 28 giorni) per la naturale maturazione dei materiali di apporto a base cementizia:

- **A effettuare delle prove a strappo (pull-off)**. La prova di pull-off (test di adesione) è una tecnica di indagine semi-distruttiva che permette la misura della resistenza a trazione del substrato, del materiale di riporto e l'adesione tra calcestruzzo originario e materiale di riporto. Quindi, questa tecnica si presta alla valutazione della qualità e dell'adesione del materiale da ripristino al calcestruzzo originario. Il distacco del campione può avvenire in tre modi differenti:
    - **Distacco all'interfaccia tra il substrato in calcestruzzo e lo strato di materiale da riporto** applicato: il valore misurato coincide con la resistenza "allo strappo" (adesione). In tal caso il **valore accettabile dell'adesione deve essere compreso (in accordo alla EN 1504-10) nell'intervallo 1,2-1,5 MPa** (indipendentemente che la valutazione riguardi malte, betoncini o calcestruzzi).
    - **Rottura del materiale da riporto applicato**: l'adesione è maggiore del valore della resistenza a trazione del materiale applicato. **Il valore accettabile è pari all'80% della resistenza a trazione desunto dalla resistenza a trazione per flessione riportato nelle Tabelle con i requisiti previsti dal Capitolato ridotta (in accordo alle NTC) del 20% circa**.
    - **Rottura del substrato in calcestruzzo**: l'adesione e la resistenza a trazione del materiale costituente lo strato riportato sono superiori alla resistenza a trazione del substrato. **La prova è ritenuta positiva indipendentemente dal valore ottenuto.**

- **A effettuare una serie di carotaggi** (in numero non inferiore a 5 e a discrezione della Direzione Lavori se i risultati presentino valori dispersi e non conformi a quelli minimi richiesti per l'accettabilità). Sulle carote ottenute opportunamente rettificate in modo da ricavare cilindri di altezza 50 mm e diametro 50 mm (non sono ammesse carote di diametro e altezza inferiore e nella valutazione di calcestruzzi CS-R4 è preferibile estrarre carote di diametro e altezza 75 mm)

verranno determinate la massa volumica e la resistenza a compressione. **Verrano ritenuti accettabili valori di resistenza meccanica a compressione almeno pari all'85% del valore riportato nelle Tabelle con i requisiti previsti dal Capitolato.**

Qualora la DL ritenesse opportuno effettuare le prove di pull-off o di resistenza a compressione su carote a tempi più brevi di (prima che siano trascorsi) 28 giorni, si deve tener conto che sia l'adesione che la resistenza a compressione sono fortemente dipendenti dalla temperatura di maturazione in cantiere. E' notorio che se l'applicazione del materiale di apporto è avvenuta in un periodo freddo sia l'adesione al calcestruzzo che la resistenza a compressione vengono ridotti – per via della bassa temperatura – rispetto alla maturazione in un ambiente alla temperatura di 20°C. Nel seguito si riporta, a titolo di esempio, una tabella con i coefficienti correttivi da utilizzare qualora le prove di pull-off e/o di resistenza meccanica a compressione venissero effettuate dopo 7 giorni dall'applicazione del materiale di apporto. Per meglio chiarire la modalità di impiego di questi coefficienti correttivi si supponga che la ricostruzione di un certo elemento costruttivo sia avvenuta facendo ricorso ad una malta MT2-R4 che deve possedere un valore di adesione misurato in laboratorio di almeno 2 MPa, una resistenza a compressione almeno pari a 60 MPa e una resistenza a trazione per flessione di 3,3 MPa (0,8*1,2 = 3,3 MPa). Se la DL decidesse di effettuare prove di strappo/compressione trascorsi almeno 28 giorni dall'applicazione della malta, l'esecuzione dell'intervento è accettabile se:

- **Distacco all'interfaccia tra il substrato in calcestruzzo e lo strato di malta:** il **valore accettabile dell'adesione deve essere compreso (in accordo alla EN 1504-10) nell'intervallo 1,2-1,5 MPa**.
- **Rottura del materiale da riporto applicato**: l'adesione è maggiore del valore della resistenza a trazione del materiale applicato. **Il valore accettabile è pari 2,6 MPa (0,80*3,3 = 2,6 MPa)**
- **Rottura del substrato in calcestruzzo**: l'adesione e la resistenza a trazione del materiale costituente lo strato riportato sono superiori alla resistenza a trazione del substrato. **La prova è ritenuta positiva indipendentemente dal valore ottenuto.**
- **Resistenza a compressione su carota almeno pari a 51 MPa (0,85*60 =51 MPa)**

Se queste stesse verifiche dovessero essere effettuate dopo 28 giorni su una malta (MT2-R4) che dopo l'applicazione matura – per via delle condizioni climatiche - avverse ad una **temperatura di 5°C**, l'esecuzione dell'intervento è ritenuta accettabile se:

- **Distacco all'interfaccia tra il substrato in calcestruzzo e lo strato di malta:** il **valore accettabile dell'adesione deve essere compreso (in accordo alla EN 1504-10) nell'intervallo 0,45-0,68 MPa (0,45*(1,2-1,5) = 0,45-0,68 MPa)**.
- **Rottura del materiale da riporto applicato**: l'adesione è maggiore del valore della resistenza a trazione del materiale applicato. **Il valore accettabile è pari 1,2 MPa (0,45*0,80*3,3 = 1,2 MPa).**
- **Rottura del substrato in calcestruzzo**: l'adesione e la resistenza a trazione del materiale costituente lo strato riportato sono superiori alla resistenza a trazione del substrato. **La prova è ritenuta positiva indipendentemente dal valore ottenuto.**
- **Resistenza a compressione su carota almeno pari a 23 MPa (0,45*0,85*60 =23 MPa).**

Se si dovesse procedere alla valutazione della qualità dell'esecuzione del lavoro a tempi inferiori a 28 giorni per esempio a 7 gg, si dovrà avere a riferimento i valori di adesione, di resistenza a trazione

e compressione a 7 giorni ottenuti nelle prove di laboratorio (che tuttavia non sempre sono disponibili) e su questi valori applicare i coefficienti riduttivi che tengono conto sia del passaggio di scala laboratorio/cantiere oltre che dell'effetto della temperatura di maturazione del materiale di apporto.

Temperatura [°C]	28 giorni
13-15	1.00
8-12	0.85
3-7	0.45

E' opportuno evidenziare come le prove di pull-off e di resistenza a compressione su carota possono essere effettuate al termine o durante l'esecuzione dei lavori e - se tutte positive - si potrà concludere che l'esecuzione dei lavori è avvenuta (sta avvenendo) a regola d'arte, ma è altresi importante che le stesse vengano effettuate – a discrezione della DL – prima di iniziare i lavori per verificare preliminarmente (evitando quindi di trovarsi in situazioni di non conformità) tutte le fasi del processo di ricostruzione degli elementi in calcestruzzo,

A CURA DI AUTOSTRADE E TECNE

A completamento di quanto sopra riportato in merito alle prove di pull-off e di resistenza meccanica su carota, al termine dei lavori, l'Appaltatore, sempre in contraddittorio con la Direzione Lavori, dovrà controllate a campione[4] (almeno il 5% per superfici estese e almeno il 10% per superfici limitate) le superfici oggetto di ripristino/adeguamento mediante bagnatura, per ogni elemento strutturale, per verificare l'eventuale presenza di microfessure di ampiezza superiore a 0,3 mm e redigere apposito report da trasmettere alla DL.
In caso si evidenziassero microfessure occorrerà estendere il controllo all'intera superficie riparata per la quale, se l'incidenza dell'area fessurata risulterà inferiore al 20% dell'area totale d'intervento, sarà applicata una penale; se superiore, l'Appaltatore dovrà procedere, a sua cura e spese, alla rasatura (tale intervento avrà in genere uno spessore medio di 3 mm; sarà realizzato utilizzando una malta cementizia polimero modificata premiscelata, tixotropica del tipo MR1, previa preparazione del supporto mediante sabbiatura o idrosabbiatura, la malta dovrà essere applicata preferibilmente a spruzzo con intonacatrice, l'applicazione con spatola è consentita per interventi d'estensione limitata) e alla protezione con filmogeni, di tipologia da concordare con la Direzione Lavori, in accordo con il Progettista.
La verifica di ottenimento dell'adesione in opera si otterrà con il controllo al martello, con campionamento secondo il criterio indicato per le microfessure.
Per le superfici risonanti a vuoto, per le quali la Direzione Lavori provvederà a registrare apposita non conformità, valutata l'entità delle aree interessate, anche sulla base di prove e verifiche integrative a carico dell'Appaltatore, e ad accertato che tali situazioni non pregiudichino l'efficacia dell'intervento, la Direzione Lavori potrà eventualmente accettare tal quale l'eseguito provvedendo però ad applicare una penale del 25% per tutti i prezzi e sovrapprezzi spesi per il lavoro risultato non pienamente conforme. Laddove invece si ravveda il rischio che l'intervento possa pregiudicare la durabilità delle parti d'opera interessate l'Appaltatore dovrà provvedere, a sua cura e spese, senza nient'altro pretendere da parte della Committente, alla completa asportazione e rifacimento del ripristino delle superfici risonanti.

[4] Per singolo elemento strutturale

Qualora sussistano contemporaneamente due o più difetti potrà essere richiesta dalla Direzione Lavori la rimozione delle riparazioni mal eseguite, oppure sarà applicata una detrazione a tutti i prezzi e superfici controllate pari alla somma delle penalità indicate.
Le verifiche di cui sopra dovranno essere registrate, a cura dell'Appaltatore, in una scheda da trasmettere alla Direzione Lavori.

La Direzione Lavori, eseguirà altresì in corso dei lavori in contraddittorio con l'Appaltatore, le prove di cui alle tabelle del § 22.7.1 con le frequenze indicate.
Qualora dalle prove risultassero valori inferiori di non più del 10% rispetto a quelli indicati nelle tabelle di cui al § 22.3.7 (per malte cementizie ad espansione contrastata, per malte cementizie polimero modificate, e per formulati a base di resine) o previsti in Progetto, la Direzione Lavori, fermo restando la sicurezza strutturale, potrà accettare il materiale ma il suo prezzo unitario sarà decurtato del 15% per tutte le superfici ed i volumi su cui si è operato e per tutti i prezzi e sovrapprezzi con cui è stato pagato.
Qualora i valori risultassero minori di oltre il 10% rispetto a quelli richiesti e nel caso in cui sussistano contemporaneamente più difetti, qualunque siano i valori di scostamento riscontrati rispetto alle previsioni progettuali, l'Appaltatore sarà tenuto a sua totale cura e spese alla rimozione dei materiali già posti in opera ed al loro ripristino con nuovi materiali da sottoporre a qualifica.
Le prove con risultato immediato (es. lavorabilità) che non danno esito conforme rispetto ai parametri di progetto e prequalifica implicheranno il divieto di utilizzo del materiale fino all'ottenimento di una miscela i cui parametri rientrino nei limiti approvati e le ulteriori prove di conformità saranno a carico dell'Appaltatore.

In caso di interventi di ripristino di fenomeni fessurativi, a discrezione della Direzione Lavori verranno condotti dei saggi di carotaggio del diametro pari a 150 mm a campione sulle fessure oggetto di ripristino finalizzati alla verifica dell'efficacia dell'intervento di risarcitura a piena profondità. L'indagine verrà effettuata prediligendo i quadri fessurativi di maggior estensione e le fessure che presentano minime ampiezze dell'apertura in superficie. Le carote verranno sottoposte anche a trazione indiretta "brasiliana" per verificare che la frattura avvenga nella porzione di calcestruzzo esterna alla fessura risarcita.

Art. 23 Sistemi protettivi per strutture in conglomerato cementizio

23.1 Descrizione e campo di applicazione

L'applicazione di sistemi filmogeni è la tecnica che si utilizza per proteggere l'elemento strutturale dal degrado promosso dagli agenti aggressivi esterni quando attraverso le indagini si è accertata una delle seguenti situazioni:

- la struttura risulta ancora in buone condizioni e senza degrado superficiale, ancorché le indagini abbiano rivelato la presenza di uno spessore di calcestruzzo carbonatato anche superiore al copriferro;
- la struttura risulta ancora in buone condizioni e senza degrado superficiale, ancorché le indagini abbiano rivelato la presenza di cloruro in prossimità dell'interfaccia con l'armatura più superficiale inferiore a quella critica;
- la struttura risulta ancora in buone condizioni e senza degrado superficiale, anche se le indagini hanno rilevato che localmente in alcune zone sono iniziati fenomeni di corrosione nelle armature.

L'applicazione di sistemi protettivi filmogeni viene effettuata anche quando si realizzano interventi di ripristino di cui all'art. 22 per migliorare l'aspetto estetico e/o per sopperire a valori di copriferro inferiori rispetto a quelli richiesti dalle normative vigenti in relazione alla classe/i di esposizione ambientale in cui ricade l'elemento costruttivo.
L'applicazione di sistemi protettivi ha lo scopo di impedire o ritardare l'insorgere dei fenomeni che possono portare alla fessurazione, al dilavamento, al rigonfiamento, alla delaminazione o al distacco di parti di calcestruzzo.
Il sistema protettivo deve essere capace di costituire una barriera protettiva capace di limitare la penetrazione degli agenti aggressivi (anidride carbonica e ossigeno gassosi, acqua e soluzioni acquose contenenti ioni aggressivi quali ad esempio cloruri e solfati) responsabili delle reazioni chimiche, fisiche ed elettrochimiche che promuovono il degrado del calcestruzzo e delle armature.
In particolare, l'applicazione del rivestimento protettivo è finalizzata a conseguire i seguenti obiettivi in accordo alla EN 1504-9: IR (aumento della resistività elettrica del copriferro), MC (controllo del grado di saturazione del calcestruzzo del copriferro) e PI (protezione contro l'ingresso delle sostanze aggressive sia in forma gassosa che di ioni disciolti in acqua). In sostanza, l'applicazione del rivestimento è finalizzata a prevenire i processi di degrado futuri attraverso la limitazione dei processi diffusivi delle sostanze potenzialmente aggressive quali l'ossigeno, l'anidride carbonica e i cloruri (Principio PI "Protezione dall'Ingresso di sostanze aggressive"). Inoltre, il rivestimento, impedendo all'acqua di saturare il calcestruzzo del copriferro, consente di conseguire l'obiettivo di avere un calcestruzzo con un'elevata resistività elettrica (Principio IR "Increasing Resistivity") che impedendo alla corrente di fluire nel copriferro evita il manifestarsi del processo di corrosione. Questo principio permette di non intervenire scarificando e ricostruendo quelli elementi che si presentano integri ma che presentano una profondità di carbonatazione superiore allo spessore di copriferro. Infatti, la carbonatazione è una condizione necessaria, ma non sufficiente per promuovere il processo di corrosione delle barre, il quale non si manifesta se non vi è anche presenza di ossigeno e acqua. In sostanza, l'applicazione del rivestimento protettivo sulle zone delle strutture carbonatate – ma al momento integre e non interessate dal processo di corrosione – limita sia la diffusione dell'ossigeno e, soprattutto, l'imbibizione con acqua del copriferro, di fatto impedendo al processo di corrosione di potersi manifestare. Infine, il rivestimento permette di ridurre il grado di saturazione del calcestruzzo (Principio MC: "Moisture Control") proteggendo le strutture in calcestruzzo armato – oltre che dai fenomeni di corrosione – dall'azione degradante promossa dai cicli di gelo-disgelo.
Infine, l'applicazione dei rivestimenti deve prevenire l'ingresso delle sostanze aggressive e dell'acqua anche allorquando la superficie dell'elemento in calcestruzzo dovesse presentare, al momento dell'applicazione, soluzioni di continuità in forma di microfessurazioni (ampiezza massima

pari a 0,30-0,35 mm) e fessure (ampiezza > di 0,35 mm) che in esercizio possono subire fenomeni ciclici di apertura/chiusura (aumento/diminuzione di ampiezza) come conseguenza delle sollecitazioni cicliche cui gli elementi sono sottoposti per effetto dei carichi agenti o per distorsioni di tipo termico. Questa proprietà del rivestimento viene identificata come "crack-bridging ability" e varia in funzione sia della natura della protezione filmogena che dello spessore di applicazione. Il crack-bridging viene identificato come l'ampiezza della fessura massima che il rivestimento riesce a coprire senza lacerarsi ("crack-bridging statico") o anche come l'intervallo di escursione dell'ampiezza della fessura che il rivestimento riesce a coprire senza lacerarsi dopo un numero prefissato di cicli di apertura/chiusura ("crack-bridging dinamico"). Da questo punto di vista ci sono rivestimenti che presentano bassi valori di crack-bridging e che, quindi, sono particolarmente idonei per la protezione di elementi in calcestruzzo integri o che presentano microfessurazioni che non subiscono sostanziali incrementi di ampiezza durante l'esercizio e rivestimenti filmogeni che, per contro, posseggono elevate capacità di "crack-bridging" e che, pertanto, sono specifici per applicazioni su elementi che presentano fessure di maggiore ampiezza che durante l'esercizio sono soggette a cicli di incremento/diminuzione della stessa ampiezza per effetto delle sollecitazioni indotte dai carichi agenti e delle distorsioni termiche.
Un ultimo aspetto di cui si deve tener conto nella scelta del rivestimento riguarda la sua resistenza alla diffusione del vapore, in quanto valori eccessivi di questa grandezza possono – in presenza di umidità nel calcestruzzo – determinare per effetto dell'irraggiamento solare la pratica impossibilità al vapore generato di poter fuoriuscire verso l'ambiente esterno. Se questo dovesse accadere - proprio per una eccessiva resistenza alla diffusione del vapore del film protettivo – il rischio di distacco e di formazione di bolle nel rivestimento diventa reale.

La scelta dei rivestimenti filmogeni, quindi, deve essere effettuata in funzione dell'elemento da proteggere, del potenziale grado di aggressione a cui lo stesso è sottoposto oltre che dalla presenza di microfessurazione/fessure presenti al momento dell'applicazione del protettivo e della evoluzione – in termini di escursione di ampiezza – del quadro fessurativo durante l'esercizio. Il Progetto, in definitiva, indicherà la natura e lo spessore del rivestimento da adottare, specificandone i requisiti e le prestazioni che devono essere garantite in accordo con le specifiche del presente documento.

23.2 Normativa di riferimento

- UNI EN 1504-1: Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Definizioni, requisiti, controllo di qualità e valutazione della conformità - Parte 1: Definizioni
- UNI EN 1504-2: Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Definizioni, requisiti, controllo di qualità e valutazione della conformità - Parte 2: Sistemi di protezione della superficie di calcestruzzo
- UNI EN 1504-9: Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Definizioni, requisiti, controllo di qualità e valutazione della conformità - Parte 9: Principi generali per l'utilizzo dei prodotti e dei sistemi
- UNI EN 1504-10: Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Definizioni, requisiti, controllo di qualità e valutazione della conformità - Parte 10: Applicazione in opera di prodotti e sistemi e controllo di qualità dei lavori

23.3 Criteri di accettazione dei materiali

I materiali da utilizzare per il ripristino e/o il rinforzo devono possedere la marcatura CE secondo la UNI EN 1504 parte 2, specifica per i sistemi di protezione della superficie di calcestruzzo, con sistema di attestazione di conformità di tipo 2+.
I materiali per il ripristino/adeguamento devono possedere i requisiti di cui ai §§ 23.3.1 e 23.3.2.

23.3.1 Requisiti dei sistemi protettivi filmogeni

Nei paragrafi seguenti sono individuate le diverse tipologie di rivestimenti da impiegare nella protezione delle strutture in calcestruzzo per ognuna delle quali vengono definiti i campi di impiego, i requisiti prestazionali, le modalità di applicazione e i controlli da effettuarsi preliminarmente e successivamente all'applicazione.

23.3.1.1 Protettivi filmogeni superficiali Poliuretanici (PP)

- **Tipo PP (Protettivo Poliuretanico):** sistema protettivo a base di resine poliuretaniche alifatiche applicabile a pennello, a rullo o a spruzzo costituito da un primer epossipoliammidico con spessore di 50 µm e da una finitura a base di elastomeri poliuretanici alifatici applicata in due mani. Questo rivestimento è particolarmente indicato per la protezione di quegli elementi strutturali esposti al potenziale rischio di aggressione promosso dall'anidride carbonica e dall'ossigeno dell'aria, dalla salsedine marina, oltre che dalle soluzioni acquose contenenti cloruri (sali disgelanti cosparsi sulle sede stradali e autostradali durante il periodo invernale). Questi rivestimenti offrono eccellente protezione anche per quelle strutture che operando in clima rigido sono esposte alla potenziale aggressione per cicli di gelo-disgelo. I rivestimenti PP, inoltre, posseggono eccellenti capacità di crack-bridging quando applicati a spessore superiore a 0,300 mm e, pertanto, sono particolarmente indicati per quegli elementi che presentano microfessurazioni al momento dell'applicazione che durante l'esercizio subiscono variazioni cicliche dell'ampiezza sia per effetto dei carichi agenti che delle distorsioni di natura termica. Le proprietà di questa tipologia di rivestimento – sia in termini di protezione dagli agenti aggressivi, di capacità di crack-bridging e di resistenza alla diffusione del vapore – sono dipendenti non solo dalla natura del polimero poliuretanico alifatico, ma anche dallo spessore di applicazione. In particolare, all'aumentare dello spessore del film aumenta la sua capacità di crack-bridging, ma – per contro – si ha un aumento della resistenza alla diffusione del vapore. Tenendo presente queste considerazioni si prevede di utilizzare i rivestimenti poliuretanici PP in due differenti spessori di film secco pari a 200 µm e 400 µm diversificandoli in termini di campi di applicazione come segue:
    - **PP spessore 200 µm**: da applicare su elementi in calcestruzzo esposti all'azione aggressiva dell'anidride carbonica dell'aria, del cloruro - sia in forma di salsedine, di schizzi e di soluzioni acquose – dei cicli di gelo-disgelo che presentano microfessurazioni e non sono soggette in esercizio a sollecitazioni cicliche che determinano incrementi/diminuzioni sostanziali dell'ampiezza delle fessure. Rivestimento PP **provvisto di marcatura CE in conformità alla UNI EN 1504-2 avente classe di crack-bridging statico almeno pari a A2 e crack-bridging dinamico almeno pari a B.2**. L'elenco completo delle prestazioni del rivestimento sono riportate nella Tabella che segue.
    - **PP spessore 400 µm:** da applicare su elementi in calcestruzzo esposti all'azione aggressiva dell'anidride carbonica dell'aria, del cloruro - sia in forma di salsedine, di schizzi e di soluzioni acquose – dei cicli di gelo-disgelo che presentano fessure e microfessurazioni e sono soggette in esercizio a sollecitazioni cicliche che determinano incrementi/diminuzioni dell'ampiezza delle fessure **provvisti di**

marcatura CE in conformità alla UNI EN 1504-2 aventi classe di crack-bridging statico A4 e crack-bridging dinamico B.4.1. L'elenco completo delle prestazioni del rivestimento sono riportate nella Tabella che segue.

23.3.1.2 Protettivi filmogeni superficiali Acrilici (PA)

- **Tipo PA (Protettivo Acrilico)** - sistema protettivo a base di resine acriliche emulsionate in acqua, applicabile a rullo o con airless costituito da un primer acrilico in acqua con spessore di 50 µm e una finitura acrilica applicata in due mani. I rivestimenti PA sono disponibili in quasi tutti i colori e, pertanto, possono essere utilizzati allorquando l'estetica finale del manufatto acquista una valenza significativa. Questa tipologia di rivestimento è particolarmente adatta per la protezione di elementi strutturali esposti al potenziale rischio di aggressione promosso dall'anidride carbonica e dall'ossigeno oltre che dell'acqua piovana e della salsedine marina. Questo tipo di rivestimento non è adatto per la protezione di elementi in calcestruzzo in contatto permanente con acqua e nemmeno per la protezione di elementi strutturali interessati direttamente (impalcati da ponte, solette e sbalzi laterali) o indirettamente (sottostrutture di viadotti quali, pulvini, baggioli e pile da ponte) dal contatto anche se saltuario con soluzione acquose contenenti sali disgelanti. Questi rivestimenti offrono scarsa protezione anche per quelle strutture che operando in clima rigido sono esposte alla potenziale aggressione per cicli di gelo-disgelo. Questi protettivi posseggono una buona capacità di crack-bridging in condizioni statiche e a temperature di esercizio sopra zero, ma sono caratterizzati da modesta capacità di far da ponte su fessure che subiscono ciclicamente incrementi/diminuzioni sostanziali dell'ampiezza soprattutto per effetto delle sollecitazioni indotte dai carichi agenti oltre che dalle distorsioni termiche. Per questo motivo i rivestimenti PA sono adatti per la protezione di elementi in calcestruzzo integri o privi di fessurazioni > 0.35 mm che in esercizio subiscono modifiche modeste di ampiezza. I rivestimenti protettivi PA debbono essere **provvisti di marcatura CE in conformità alla UNI EN 1504-2 e classe di crack-bridging statico almeno pari a A3 e crack-bridging dinamico almeno pari a B.2**. L'elenco completo delle prestazioni del rivestimento sono riportate nella Tabella che segue.

23.3.1.3 Protettivi filmogeni superficiali polimero-Cemento (PC)

- **Tipo PC (Protettivo polimero-Cemento):** sistema protettivo a base di cemento e polimeri disponibile sia in versione monocomponente cui aggiungere solo acqua che bicomponente (polvere + liquido da mescolare nelle proporzioni stabilite dal produttore) applicabile sia manualmente a spatola che a spruzzo (e successivamente rifinito a spatola). Lo spessore di applicazione minimo per questi protettivi è pari a 2 mm (si tratta quindi di un protettivo che ha anche funzione di rasatura) e sono disponibili solo nei colori grigi tipici delle rasature a cemento. Tuttavia, se è necessario che l'elemento protetto con rivestimenti PC presenti colorazioni diverse da quella grigia è possibile applicare sulla superficie del PC un rivestimento colorato di tipo PA (di cui al precedente punto). Questo rivestimento è particolarmente indicato per la protezione di quegli elementi strutturali esposti al potenziale rischio di aggressione promosso dall'anidride carbonica e dall'ossigeno dell'aria, dalla salsedine marina, oltre che dalle soluzioni acquose contenenti cloruri (sali disgelanti cosparsi sulle sede stradali e autostradali durante il periodo invernale). Questi rivestimenti offrono eccellente protezione anche per quelle strutture che operando in clima rigido sono esposte alla potenziale aggressione per cicli di gelo-disgelo. Questi rivestimenti, inoltre, posseggono eccellenti capacità di crack-bridging e, pertanto, sono particolarmente indicati per quegli elementi che presentano microfessurazioni al momento dell'applicazione che durante

l'esercizio subiscono variazioni cicliche dell'ampiezza sia per effetto dei carichi agenti che delle distorsioni di natura termica. I rivestimenti protettivi PC debbono essere **provvisti di marcatura CE in conformità alla UNI EN 1504-2 e classe di crack-bridging statico almeno pari a A3 e crack-bridging dinamico almeno pari a B.3.1**. L'elenco completo delle prestazioni del rivestimento sono riportate nella Tabella che segue.

La tabella che segue riassume i requisiti prestazionali delle tre tipologie di rivestimento sopramenzionate. Nello specifico le prestazioni riguardano:

- **Lo spessore di applicazione**: nella Tabella viene riportato lo spessore tipico di applicazione per ogni rivestimento protettivo. Tuttavia, stante il fatto che sul mercato vi è la disponibilità di una serie innumerevoli di protettivi ove il produttore suggerisce spessori di applicazioni che possono essere diversi da quelli riportati in Tabella, resta inteso che la DL potrà accettare prodotti applicati anche a spessore diverso da quello indicato in tabella fermo restando che questa modifica di spessore consenta di rispettare tutte le prestazioni riportate in tabella ad eccezione dei soli valori del fattore di resistenza alla diffusione del vapore e dell'anidride carbonica.
- **Adesione al calcestruzzo**: è la capacità del sistema protettivo di aderire al supporto, ruolo fondamentale in tal senso svolge – per i rivestimenti protettivi PP e PA - il primer quale promotore di adesione tra il supporto cementizio ed il rivestimento protettivo. Tali primer sono formulati di resina in forma liquida (resina epossipoliammidica per i PP e la stessa resina acrilica diluita con acqua per i PA) e si applicano a rullo oppure mediante apparecchiatura a spruzzo di tipo airless per spessori di circa 50 μm.
- **Resistenza alla diffusione dell'anidride carbonica (S_{DCO2})**: è la capacità del sistema protettivo di limitare/rallentare la diffusione dell'anidride carbonica gassosa (ma anche dell'ossigeno) attraverso la matrice porosa del calcestruzzo e/o dei sistemi utilizzati per la ricostruzione delle sezioni. Questa capacità di rallentare la diffusione della CO_2 è funzione sia della natura del materiale che influenza il "fattore di resistenza alla diffusione della CO_2 (μ_{CO2})" che dello spessore di applicazione del film. La resistenza alla diffusione della CO_2 (S_D) si ottiene moltiplicando il fattore di resistenza per lo spessore del film ed è espressa in m di aria equivalente. Il valore minimo di S_{DCO2} richiesto ai fini della marcatura CE del rivestimento protettivo in accordo alla UNI EN 1504-2 è pari a 50 m. Maggiore il valore di S_D più alto è il grado di protezione offerto alla penetrazione dell'anidride carbonica. Resta inteso che in Tabella risulta stringente il valore di S_{DCO2}, ma non quello di μ_{CO2}. Infatti, la DL potrebbe autorizzare l'impiego di un rivestimento (ad esempio PA) con uno spessore maggiore di quello (0.25 mm) indicato in Tabella che potrebbe presentare un valore di μ_{CO2} minore di quello (400000) indicato in Tabella, ma che per effetto del maggiore spessore di applicazione riesce a garantire il valore di S_{DCO2} riportato in specifica (100 m).
- **Assorbimento di acqua per capillarità (W)**: questa proprietà del rivestimento è direttamente legata alla capacità di limitare il grado di saturazione del calcestruzzo del copriferro o degli strati corticali dei materiali utilizzati per il ripristino della sezione. Minore il valore di W e più elevata è la capacita protettiva del film. In accordo con la norma UNI EN 1504-2 ai fini della marcatura del protettivo il valore massimo di W è pari a 0,1 $kg \times m^2 \times h^{-0,5}$. Tuttavia, per rivestimenti da utilizzarsi negli elementi costruttivi che vengono in contatto con soluzioni liquide contenenti cloruro viene richiesto un valore massimo per W 10 volte più basso e pari a 0,01 $kg \times m^2 \times h^{-0,5}$.
- **Resistenza alla diffusione del vapore d'acqua**: il film protettivo applicato su strutture aeree (fuori terra) dovrà risultare il più permeabile possibile al vapor d'acqua (deve essere

caratterizzato cioè da una ridotta resistenza alla diffusione del vapore) proveniente dall'interno della struttura. In caso contrario il rivestimento per effetto dell'irraggiamento solare può essere sottoposto a elevate pressioni di vapore all'interfaccia film/calcestruzzo, capaci di causarne il distacco o lo sbollamento. La resistenza alla diffusione del vapore S_{Dvap}, calcolato in maniera similare a quanto indicato per la resistenza alla diffusione dell'anidride carbonica, è funzione della natura del materiale che costituisce il film che influenza μ_{vap} e dello spessore del rivestimento. Ai fini della marcatura CE del rivestimento in accordo alla UNI EN 1504-2 S_{Dvap} deve risultare non maggiore di 5m. Minore è il valore di S_{Dvap} più permeabile al vapore il rivestimento e minore il rischio di distacchi e sbollature dello stesso dal substrato. Al pari di quanto sopra menzionato a proposito della resistenza alla diffusione della CO_2, resta inteso che in Tabella risulta stringente il valore di S_{Dvap}, ma non quello di μ_{vap}. Infatti, la DL potrebbe autorizzare l'impiego di un rivestimento (ad esempio PA) con uno spessore minore di quello (0.25 mm) indicato in Tabella che potrebbe presentare un valore di μ_{vap} maggiore di quello (3335) indicato in tabella, ma che per effetto del minore spessore di applicazione riesce a garantire il valore di S_{Dvap} riportato in specifica (1 m).

- **Crack bridging ability**: è la capacità di mantenere integra la pellicola applicata su un substrato che presenta microfessure al momento dell'applicazione che possono subire modifiche di ampiezza durante l'esercizio sia per effetto delle naturali variazioni di natura termo-igrometrica che per effetto delle sollecitazioni cui l'elemento è sottoposto in servizio, attraverso cavillature (< 300-350 µm) già esistenti nel conglomerato, che normalmente variano di apertura con le variazioni termiche e con il ritiro. Questa proprietà del rivestimento viene identificata come "crack-bridging ability" e varia in funzione sia della natura della protezione filmogena che dello spessore di applicazione. Il crack-bridging viene identificato come l'ampiezza della fessura massima che il rivestimento riesce a coprire senza lacerarsi ("crack-bridging statico" – classificazione A) o anche come l'intervallo di escursione dell'ampiezza della fessura che il rivestimento riesce a coprire senza lacerarsi dopo un numero prefissato di cicli di apertura/chiusura ("crack-bridging dinamico"- classificazione B).
- **Compatibilità termica**: è la capacità del rivestimento di rimanere adeso al substrato anche in presenza di forti escursioni termiche prodotte sia dall'irraggiamento che per effetto dell'azione delle piogge e dei cicli di gelo-disgelo. In sostanza, la normativa UNI EN 1504-2 vuole evitare l'utilizzo di filmogeni con coefficienti di dilatazione molto difformi da quelli del substrato e/o troppo rigidi per evitare l'insorgenza di tensioni tangenziali all'interfaccia film/substrato capaci di superare l'adesione del protettivo e, conseguentemente, determinarne il distacco.
- **Invecchiamento artificiale (resistenza ai raggi ultravioletti e all'umidità):** indica la capacità del protettivo a non subire processi di invecchiamento che possano determinare sia variazioni cromatiche che sbollature e distacchi.

Si riporta di seguito la tabella riepilogativa dei valori dei requisiti prestazionali richiesti per i vari sistemi protettivi.

REQUISITI	TIPO DI RIVESTIMENTO			
	PP (base poliuretanica)	PP (base poliuretanica)	PA (base acrilica)	PC (base polimero-cemento)
Spessore del film secco*	0,200 mm	0,400 mm	0.250 mm	2 mm
Classificazione UNI EN 1504-2	Coating (C)	Coating (C)	Coating (C)	Coating (C)
Adesione al calcestruzzo – UNI EN 1542	$\geq$ 0.8 MPa	$\geq$ 0.8 MPa	> 2 MPa	$\geq$ 0.8 MPa
Permeabilità al vapor d'acqua (Resistenza alla diffusione del vapore d'acqua) – UNI EN 7783: - Fattore di resistenza alla diffusione del vapore (μ_{vap})	$\mu \leq$ 15000	$\mu \leq$ 16665	$\mu \leq$ 3335	$\mu \leq$ 8330
- spessore di aria equivalente	Sd $\leq$ 3 m	Sd $\leq$ 5 m	Sd $\leq$ 1m	Sd $\leq$ 2,5 m
Permeabilità alla CO_2 (Resistenza alla diffusione della CO_2) - UNI EN 1062-6 - Fattore di resistenza alla diffusione della CO_2 (μ_{CO2})	$\mu \geq$ 1.250.000	$\mu \geq$ 750.000	$\mu \geq$ 400.000	$\mu \geq$ 50.000
- spessore di aria equivalente	Sd $\geq$ 250 m	Sd $\geq$ 300 m	Sd $\geq$ 100 m	Sd $\geq$ 100 m
Permeabilità all'acqua (Assorbimento di acqua per capillarità) – UNI EN 1062-3	$\leq$0,01 kg·m^2·h$^{-0,5}$	$\leq$0,01 kg·m^2·h$^{-0,5}$	$\leq$0,1 kg·m^2·h$^{-0,5}$	$\leq$0,01 kg·m^2·h$^{-0,5}$
Crack bridging ability – UNI EN 1062-7 - Statico	$\geq$ A2 (23°C/-10°C)	A4 (23°C/-10°C)	$\geq$ A3 (23°C)	$\geq$ A3 (23°C/-10°C)
- Dinamico	B2 (23°C/-10°C)	B.4.1 (23°C/-10°C)	B2 (23°C)	B.3.1.(23°C/-10°C)
Compatibilità termica: - Invecchiamento 7gg a 70°C	$\geq$ 0.8 MPa	$\geq$ 0.8 MPa	$\geq$ 0.8 MPa	$\geq$ 0.8 MPa
- Cicli di gelo disgelo con immersione in sali disgelanti – UNI EN 13687-1	$\geq$ 0.8 MPa	$\geq$ 0.8 MPa	$\geq$ 0.8 MPa	$\geq$ 0.8 MPa
- Cicli temporaleschi – UNI EN13687-2	$\geq$ 0.8 MPa	$\geq$ 0.8 MPa	$\geq$ 0.8 MPa	$\geq$ 0.8 MPa
- Cicli di gelo-disgelo senza immersione in sali disgelanti – UNI EN 13687-3	$\geq$ 0.8 MPa	$\geq$ 0.8 MPa	$\geq$ 0.8 MPa	$\geq$ 0.8 MPa
Invecchiamento artificiale (2000 ore di esposizione a UV e umidità) - UNI EN 1062-11)	Nessun degrado	Nessun degrado	Nessun degrado	Nessun degrado

* Spessori diversi da quelli indicati in Tabella potranno essere accettati fermo restando il rispetto di tutti i requisiti prestazioni riportati in Tabella con la sola eccezione dei valori del fattore di resistenza alla diffusione del vapore e dell'anidride carbonica

23.3.2 Tabella di riepilogo sui campi di applicazione dei sistemi protettivi

Qui di seguito a puro titolo esemplificativo si riporta di seguito una tabella che riassume i possibili campi di applicazione delle tre tipologie di rivestimenti (PP, PA e PC) di cui al precedente paragrafo.

	PP	**PA**	**PC**
Prevenzione rischio di corrosione da CO_2	SI	SI	SI
Protezione dall'acqua piovana	SI	SI	SI
Prevenzione del rischio di corrosione da schizzi contenenti cloruro o da salsedine marina	SI	SI	SI
Prevenzione rischio di corrosione da soluzione acquose contenenti cloruro	SI	NO	SI
Prevenzione rischio di degrado per cicli di gelo-disgelo	SI	NO	SI
Protezione di elementi integri o microfessurati con ampiezza delle fessure stabile durante l'esercizio	SI	SI	SI
Protezione di elementi integri o fessurati con variazioni dell'ampiezza delle fessure durante l'esercizio per effetto delle sollecitazioni dovute ai carichi e alle distorsioni termiche	SI (spessore 0,400 mm)	NO	SI (crack-bridging ability inferiore a PP in spessore 0,400 mm)
Finitura colorata	SI	SI	NO

23.4 Prequalifica dei materiali per gli interventi di ripristino/adeguamento

L'Appaltatore, almeno 10 giorni prima di impiegare i materiali, deve trasmettere alla Direzione Lavori per approvazione la seguente documentazione:

- Marcatura CE, DoP e scheda tecnica con le condizioni climatiche limite di utilizzo e le modalità di posa dei materiali. Laddove la DoP non riporti uno specifico requisito richiesto al § 23.3 2 l'Appaltatore deve allegare anche un certificato eseguito da un Laboratorio Ufficiale a dimostrazione della conformità del prodotto che intende proporre;
- La certificazione del sistema di controllo della produzione (FPC) e il Certificato UNI EN ISO 9001 del sistema di gestione qualità delle società produttrici dei materiali;
- La scheda tecnica dei macchinari utilizzati per la preparazione del supporto e l'applicazione dei prodotti conformemente alle condizioni di utilizzo indicate nelle schede tecniche dei materiali e alle modalità esecutive di cui al § 23.5 e alla norma UNI EN 1504-10;
- Una tabella di riepilogo con i materiali proposti per le varie configurazioni di progetto e i mezzi o macchinari impiegati per la loro posa in opera
- Una relazione di sintesi delle varie fasi lavorative con riferimento ai materiali, mezzi ed attrezzature proposte di cui ai punti precedenti e alle modalità di stagionatura previste;
- In accordo al punto 10 e A.10 della UNI EN 1504-9 occorre che il personale sia in possesso dell'esperienza adeguata per eseguire i lavori in conformità al progetto e alle serie delle norme UNI EN 1504. Al riguardo si richiede che almeno un componente di ciascuna squadra di lavoro **possegga certificazione CS (Capo Squadra) e che ci sia almeno una figura con certificazione AS (assistente di cantiere) e TS (Tecnico Specialista) in accordo alla norma UNI/PdR 153:2023**;
- Eventuali certificati che attestano le prestazioni ambientali del materiale laddove previsto da progetto (es. EPD), in tal caso, il controllo delle certificazioni deve riguardare anche la qualità

ambientale dei prodotti, anche in riferimento a quanto previsto dalla ISO 14044 relativa al LCA.

23.5 Modalità esecutive per la preparazione del supporto e applicazione del sistema protettivo

La preparazione del calcestruzzo di supporto dovrà essere eseguita mediante lavaggio a bassa pressione o sabbiatura sia per eliminare dalla superficie eventuali contaminanti, disarmanti e/o particelle in fase di distacco, che per aumentare l'aderenza del protettivo grazie ad una microruvidità superficiale, seguita da pulizia con aria compressa immediatamente prima della applicazione. Per i rivestimenti PP e PA il supporto deve essere asciutto. Per il rivestimento PC il supporto deve essere precedentemente inumidito con acqua nebulizzata.
Qualora il supporto presenti vespai od altre imperfezioni superficiali si dovrà provvedere al risanamento mediante rasatura con malte di tipo MR1-R2 o MR2-R3 come descritto nell'art. 22.
Quando il supporto presenta veri e propri degradi, ammaloramenti profondi, si dovrà asportare il calcestruzzo degradato e/o contaminato e provvedere al risanamento con malte o betoncini cementizi premiscelati ad espansione contrastata in aria come descritto nell'art. 22. Quando il sistema protettivo viene applicato sul materiale di ripristino la superficie può non essere sabbiata.

Pulizia della superficie

Tutte le superfici su cui verrà applicato il protettivo dovranno essere pulite mediante aria compressa o lavaggio a caduta.
La Direzione Lavori si riserva comunque di approvare i risultati ottenuti dalla preparazione del supporto. Tale approvazione non ridurrà comunque la responsabilità dell'Appaltatore relativa al raggiungimento dei requisiti finali del rivestimento protettivo in opera.

Applicazione del sistema protettivo (primer + finitura)

La temperatura di applicazione sia per i primer (ove previsto: PP e PA) che per le finiture dovranno essere quelle riportate sulle schede tecniche dei prodotti prescelti. In genere è comunque vietata l'applicazione a temperatura inferiore a +5°C. Al momento dell'applicazione del primer la superficie del supporto dovrà essere asciutta. I primer e le finiture di tipo PP e PA potranno essere applicate sia con airless che con rullo. Per i rivestimenti PC l'applicazione può essere effettuata manualmente a spatola oppure a spruzzo e successivamente rifiniti a spatola.
Il tempo intercorrente tra l'applicazione di strati successivi dovrà essere conforme a quanto riportato sulle schede tecniche del prodotto. L'applicazione della finitura PP o PA dovrà avvenire preferibilmente a spruzzo mediante airless. Per le PC preferibilmente a spruzzo. E' consentita l'applicazione delle PA e PP a pennello od a rullo solo nel caso di protezione di superfici d'estensione limitata. Per le PC nel caso di superfici di estensione limitata è consentita l'applicazione a spatola.
Lo spessore del sistema protettivo indicato nel Progetto si intende sempre come spessore di film secco, ossia a rivestimento indurito. Il prodotto non deve contenere idrocarburi clorurati, metanolo, benzene ed altre sostanze d'analoga o maggiore tossicità.

23.6 Controlli, prove degli spessori e penali

La Direzione Lavori prima dell'inizio delle lavorazioni dovrà verificare attentamente che i macchinari utilizzati per sabbiatura del calcestruzzo, per la pulizia del supporto e per l'applicazione dei sistemi protettivi siano idonei ad ottenere quanto richiesto dalla Norma Tecnica generale e dal Progetto in particolare.

23.6.1 Controlli e prove sulle strutture protette con rivestimenti superficiali

Qualora si ritenga necessario per verificare la qualità e la bontà dell'esecuzione dell'intervento di ripristino – non dei materiali utilizzati in quanto questa verifica è stata preliminarmente o in corso di esecuzione dei lavori effettuata attraverso le prove condotte in laboratorio in accordo a quanto specificato al par. 23.3.1 - si procederà al termine dell'esecuzione dei lavori e trascorso il tempo (almeno 7 giorni a 20°C – un tempo maggiore deve trascorrere se l'applicazione e la successiva polimerizzazione-indurimento dei protettivi avviene a temperature più basse) per la polimerizzazione/indurimento dei film protettivi:

- **A effettuare delle prove a strappo (pull-off)**. La prova di pull-off (test di adesione) è una tecnica di indagine semi-distruttiva che permette la misura della resistenza a trazione del substrato, del rivestimento protettivo e l'adesione tra rivestimento e substrato. Quindi, questa tecnica si presta alla valutazione della qualità e dell'adesione del rivestimento protettivo al calcestruzzo originario. Il distacco del campione può avvenire in tre modi differenti:
    - **Distacco all'interfaccia tra il substrato in calcestruzzo e rivestimento**: il valore misurato coincide con la resistenza "allo strappo" (adesione). In tal caso il **valore accettabile dell'adesione è pari all' 80% del valore riportato nella Tabella di cui all'art. 23.3.1**.
    - **Rottura coesiva del rivestimento**: l'adesione è maggiore del valore della resistenza a trazione del film protettivo. **Il valore accettabile è pari all'80% del valore di adesione riportato nella Tabella di cui all'art. 23.3.1**.
    - **Rottura del substrato in calcestruzzo**: l'adesione e la resistenza a trazione del rivestimento protettivo sono superiori alla resistenza a trazione del substrato. **La prova è ritenuta positiva indipendentemente dal valore ottenuto.**

Per meglio chiarire la modalità di verifica del controllo in corso d'opera dei protettivi applicati direttamente sulle strutture, si supponga che la protezione di un certo elemento costruttivo sia avvenuta facendo ricorso ad un protettivo a base di resine in emulsione acrilica di tipo PA che deve possedere un valore di adesione misurato in laboratorio di almeno 2 MPa. Se la DL decidesse di effettuare prove di strappo trascorsi almeno 7 giorni (un tempo maggiore occorre attendere prima dell'effettuazione della prova se la temperatura ambientale nei giorni successivi all'applicazione del rivestimento è inferiore a 12-13°C: in questo caso attendere indicativamente 28 giorni), l'applicazione del protettivo è accettabile se:

- **Distacco all'interfaccia tra il substrato in calcestruzzo e protettivo:** il **valore accettabile dell'adesione deve essere almeno pari a 1,6 MPa**.
- **Rottura coesiva del film protettivo**: l'adesione è maggiore del valore della resistenza a trazione del rivestimento. **Il valore accettabile è pari 1,6 MPa (0,80*2,0 = 1,6 MPa)**
- **Rottura del substrato in calcestruzzo**: l'adesione e la resistenza a trazione del protettivo sono superiori alla resistenza a trazione del substrato. **La prova è ritenuta positiva indipendentemente dal valore ottenuto.**

Qualora la DL ritenesse opportuno effettuare le prove di pull-off a tempi più brevi di 7 giorni nella buona stagione (prima che siano trascorsi 28 giorni per applicazioni a temperature ambientali inferiori a 12-13°C), si deve tener conto che sia l'adesione del rivestimento è fortemente dipendente dalla temperatura di maturazione in cantiere. E' notorio che se l'applicazione è avvenuta in un periodo freddo l'adesione al calcestruzzo del film viene ridotta – per via della bassa temperatura – rispetto alla maturazione in un ambiente alla temperatura di 20°C. Tuttavia, non disponendo di

coefficienti di correzioni univoci e oggettivi per tener conto dell'effetto della temperatura (dipendenti anche dalla natura del rivestimento) si suggerisce – salvo casi estrema necessità da valutarsi a cura della DL – di attenersi per l'esecuzione delle prove ai tempi di maturazione sopra indicati.
A cura di AUTOSTRADE
Qualora dalle prove eseguite sui rivestimenti posti in opera, risultassero valori di adesione inferiori di non più del 10% rispetto a quelli sopramenzionati, il materiale verrà accettato ma il suo prezzo unitario verrà decurtato del 15% per tutte le superfici ed i volumi su cui si è operato e per tutti i prezzi e sovrapprezzi con cui è stato pagato. Qualora i valori risultassero minori di oltre il 10% rispetto a quelli richiesti, l'Appaltatore sarà tenuto a sua totale cura e spese alla sostituzione e/o alla rimozione dei materiali già posti in opera.

- A effettuare una serie di misurazioni tese alla **determinazione dello spessore del rivestimento umido con il calibro a pettine o il calibro a ruota** in accordo al metodo n.1 della ISO 2808 richiamato dalla EN 1504-10.
- A effettuare una serie di misurazioni tese alla **determinazione dello spessore del rivestimento asciutto mediante prelievo di campioni per carotaggio e misurazione dello spessore della pellicola (o con altri metodi suggeriti dalla EN 1504-10).**

A cura di AUTOSTRADE
In corso d'opera sui rivestimenti applicati direttamente sugli elementi in calcestruzzo armato le prove per la determinazione dello spessore potranno essere ripetute con la frequenza richiesta dalla Direzione Lavori su indicazione del Committente. Nello specifico la stessa Direzione Lavori effettuerà inizialmente controlli dello spessore sul film umido[5] della singola mano eseguendo la misura dello spessore mediante calibro a "pettine" o a ruota in accordo al metodo n.1 della ISO 2808. La frequenza minima dovrà essere:

- per superfici globali da proteggere inferiori a 2000 m² almeno una serie di 20 misure;
- per superfici globali da proteggere superiori a 2000 m², per la parte eccedente ai 2000 m², almeno una misura ogni 200 m².

La serie di misure sarà, se possibile, omogeneamente distribuita sulla superficie da verificare ed il suo valore medio non dovrà essere minore di quello di Progetto. Tali prove potranno essere ripetute con la frequenza richiesta dalla Direzione Lavori a suo insindacabile giudizio. In ogni caso il valore minimo non dovrà essere inferiore all'80% del valore di progetto. Nel caso risulti un valore medio inferiore allo spessore di Progetto o il valore minimo inferiore all'80%, l'Appaltatore, a sua cura e spese, provvederà ad integrare lo spessore mancante mettendo in atto tutti gli accorgimenti necessari per la buona riuscita dell'integrazione. Infine rimane a discrezione della stessa Direzione Lavori effettuare controlli dello spessore sul film secco eseguendo la misura come indicato al precedente punto 3.

[5] Lo spessore di film umido, corrispondente allo spessore di film secco previsto in Progetto, si ottiene moltiplicando lo spessore di film secco per 100 e dividendo per il valore dei solidi in volume del prodotto da applicare (derivato dalla scheda tecnica del prodotto), il valore ottenuto verrà arrotondato alla decina

Art. 24 CAM - Acciaio per c.a. e c.a.p.

24.1 Campo di applicazione

Il presente articolo di capitolato si applica all'armatura in acciaio per conglomerati cementizi armati e precompressi di cui § 20 del presente capitolato, per la realizzazione di strutture gettate in opera o prefabbricate sia all'aperto che in sotterraneo di opere di ingegneria civile e di edifici, per sottofondazioni, fondazioni, elevazioni, solette, impalcati.

24.2 Normativa di riferimento

- Decreto 5 agosto 2024, recante "Adozione dei criteri ambientali minimi per l'affidamento del servizio di progettazione ed esecuzione dei lavori di costruzione, manutenzione e adeguamento delle infrastrutture stradali (CAM Strade e s.m.i)".
- NTC 2018 § 11.3.1 Generalità comuni a tutte le tipologie di acciaio
  § 11.3.2 Acciaio per calcestruzzo armato
  § 11.3.3 Acciaio per calcestruzzo armato precompresso
- UNI EN 10080: Acciaio d'armatura per calcestruzzo - Acciaio d'armatura saldabile – Generalità Prove
- UNI EN ISO 15630-1: Titolo : Acciaio per calcestruzzo armato e calcestruzzo armato precompresso - Metodi di prova - Parte 1: Barre, rotoli e fili per calcestruzzo armato
- UNI EN ISO 15630-2: Acciaio per calcestruzzo armato e calcestruzzo armato precompresso - Metodi di prova - Parte 2: Reti e tralicci elettrosaldati
- UNI EN ISO 15630-3: Acciaio per calcestruzzo armato e calcestruzzo armato precompresso - Metodi di prova - Parte 3: Acciaio per calcestruzzo armato precompresso
- UNI EN 10080: Acciaio d'armatura per calcestruzzo - Acciaio d'armatura saldabile – Generalità
- UNI 10622: Barre e vergella (rotoli) di acciaio d armatura per cemento armato, zincati a caldo
- UNI EN ISO 1461: Rivestimenti di zincatura per immersione a caldo su prodotti finiti ferrosi e articoli di acciaio - Specificazioni e metodi di prova

24.3 Criteri di accettazione per la produzione, qualifica e trasformazione degli acciai

24.3.1 Obblighi per gli stabilimenti di produzione

La norma UNI EN 10080 (Acciai per calcestruzzo – Acciaio per armatura saldabile) pubblicata nel 2005 e in tale data armonizzata alla Direttiva 89/106/CE, è stata cancellata con decisione della Commissione della Comunità Europea 2006/893/CE, dall'elenco delle norme armonizzate pubblicato nella Gazzetta ufficiale dell'Unione europea ed è pertanto rimasta una norma volontaria e quindi non applicabile ai fini della marcatura CE.
Di conseguenza, non essendo applicabile per gli acciai per c.a. e c.a.p. la marcatura CE ai sensi del Regolamento UE 305/2011, per la qualifica degli acciai, oggetto di questo articolo di capitolato, i produttori, ai sensi delle NTC2018, devono:

- organizzare la produzione con un sistema permanente di controllo interno della produzione in stabilimento che deve assicurare il mantenimento dello stesso livello di affidabilità nella conformità del prodotto finito, indipendentemente dal processo di produzione ed essere in possesso del Certificato UNI EN ISO 9001 del sistema di gestione qualità e certificato da parte di un organismo terzo indipendente, di adeguata competenza ed organizzazione, che opera in coerenza con le norme UNI CEI EN ISO/IEC 17021-1.
- essere in possesso dell'Attestato di qualificazione, rilasciato dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici in conformità al § 11.3.1.2 delle

NTC2018. L'Attestato di qualificazione ha validità di cinque anni, tuttavia, i produttori con cadenza annuale, devono procedere al mantenimento di detto Attestato nei modi indicati al § 11.3.1.3 e all'esecuzione di tutti i controlli e prove di laboratorio sugli acciai di cui al citato § 11.3.1.2, § 11.3.2.10.1, § 11.3.2.10.2, § 11.3.2.11.1, § 11.3.2.11.2 delle NTC2018;

- garantire l'identificazione e la rintracciabilità dei prodotti qualificati tramite marchiatura indelebile depositata presso il Servizio Tecnico Centrale, dalla quale risulti, in modo inequivocabile, il riferimento all'Azienda produttrice, allo Stabilimento, al tipo di acciaio ed alla sua eventuale saldabilità (§ 11.3.1.4 NTC2018). Ogni prodotto deve essere marchiato con identificativi diversi sia da quelli di prodotti fabbricati nello stesso stabilimento ma aventi differenti caratteristiche, sia da quelli di prodotti con uguali caratteristiche ma fabbricati in altri stabilimenti, siano essi o meno dello stesso fabbricante. La marchiatura deve essere inalterabile nel tempo e senza possibilità di manomissione.

24.3.2 Obblighi per i centri di trasformazione

Nel caso in cui gli acciai vengano spediti dal produttore ad un centro esterno alla fabbrica e/o al cantiere, fisso o mobile per l'esecuzione di processi di piegatura, saldatura di elementi base in acciaio (barre, rotoli, reti, lamiere, ecc.) per il loro preassemblaggio (gabbie di armatura, ecc) e confezionamento in elementi strutturali direttamente impiegabili in cantiere, pronti per la messa in opera o per successive lavorazioni, tale luogo è definito Centro di trasformazione.
I centri di trasformazione devono:

- dotarsi di un sistema di controllo della lavorazione allo scopo di garantire che le lavorazioni effettuate assicurino il mantenimento della conformità delle caratteristiche meccaniche e geometriche dei prodotti alle presenti norme. Il sistema di gestione della qualità del prodotto, che sovrintende al processo di trasformazione, deve essere predisposto in coerenza con la norma UNI EN ISO 9001 certificato da parte di un organismo terzo indipendente, di adeguata competenza ed organizzazione, che opera in coerenza con la norma UNI CEI EN ISO/IEC 17021-1;
- dichiarare al Servizio Tecnico Centrale la loro attività nelle modalità definite nel § 11.3.1.7 delle NTC2018 ed ottenere dallo stesso Servizio Tecnico Centrale l'Attestato di denuncia dell'Attività di centro di trasformazione. I centri di trasformazione sono tenuti a comunicare ogni variazione rispetto a quanto dichiarato in sede di presentazione della denuncia di attività;
- mantenere l'identificazione e la rintracciabilità dei prodotti dalla quale risulti, in modo inequivocabile, il riferimento all'Azienda produttrice, allo Stabilimento, al tipo di acciaio ed alla sua eventuale saldabilità. Qualora, l'unità marchiata (pezzo singolo o confezione) venga scorporata, per cui una parte, o il tutto, perda l'originale marchiatura del prodotto è responsabilità del centro di trasformazione documentare la provenienza mediante i documenti di accompagnamento del materiale e gli estremi del deposito del marchio presso il Servizio Tecnico Centrale;
- far eseguire da laboratori di cui all'art. 59 del D.P.R. 380/2001 le prove indicate negli specifici paragrafi relativi a ciascun prodotto in acciaio (§11.3.2.10.3, § 11.3.3.5.3 delle NTC2018) e devono comunicare al Servizio Tecnico Centrale le eventuali variazioni apportate al processo di produzione depositato;

24.3.3 Contenuto di materia recuperata, ovvero riciclata, ovvero di sottoprodotti per l'acciao e di CO2 equivalente per unità di prodotto.

Salvo diverse specifiche contenute negli elaborati di progetto esecutivo e riassunte nella relazione CAM (criterio 1.1. del D.M.), si riportano di seguito i contenuti minimi per l'applicazione dei criteri ai sensi del D.M. 5 agosto 2024 (CAM Strade).
Per tutte le tipologie di acciaio disciplinate dal presente articolo l'acciaio approvvigionato (anche di manufatti prefabbricati) per usi strutturali e non strutturali deve rispettare un contenuto minimo di materia recuperata, ovvero riciclata, ovvero di sottoprodotti, inteso come la somma delle tre frazioni, come segue:

Acciaio per usi strutturali:

- Acciaio da forno elettrico non legato: contenuto minimo pari al 75%.
- Acciaio da forno elettrico legato: contenuto minimo pari al 60%.
- Acciaio da ciclo integrale: contenuto minimo pari al 12%.

Acciaio per usi non strutturali:

- Acciaio da forno elettrico non legato: contenuto minimo pari al 65%.
- Acciaio da forno elettrico legato: contenuto minimo pari al 60%.
- Acciaio da ciclo integrale: contenuto minimo pari al 12%.

Con il termine "acciaio da forno elettrico legato" si intendono gli "acciai inossidabili" e gli "altri acciai legati" ai sensi della norma tecnica UNI EN 10020, e gli "acciai alto legati da EAF" ai sensi del Regolamento delegato (UE) 2019/331 della Commissione.

I prodotti finiti consegnati in cantiere possono essere costituiti da una o più tipologie di acciaio. In questi casi, ogni materiale base d'origine deve essere conforme ai criteri di provenienza e alle percentuali minime di materia riciclata, recuperata o sottoprodotti sopra indicate.

Il contenuto di materia riciclata ovvero recuperata ovvero di sottoprodotti è dimostrato tramite una delle seguenti opzioni, producendo il relativo certificato nel quale sia chiaramente riportato il numero dello stesso, il valore percentuale richiesto, il nome del prodotto certificato, le date di rilascio e di scadenza:

- una dichiarazione ambientale di Prodotto di Tipo III (EPD), conforme alla norma UNI EN 15804 e alla norma UNI EN ISO 14025, quali ad esempio lo schema internazionale EPD© o EPDItaly©, con indicazione della percentuale di materiale riciclato ovvero recuperato ovvero di sottoprodotti, specificandone la metodologia di calcolo;
- certificazione "ReMade in Italy®" con indicazione in etichetta della percentuale di materiale riciclato ovvero di sottoprodotto;
- una certificazione di prodotto, basata sulla tracciabilità dei materiali e sul bilancio di massa, rilasciata da un organismo di valutazione della conformità, con l'indicazione della percentuale di materiale riciclato ovvero recuperato ovvero di sottoprodotti;
- una certificazione di prodotto, rilasciata da un Organismo di valutazione della conformità, in conformità alla prassi UNI/PdR 88 "Requisiti di verifica del contenuto di riciclato e/o recuperato e/o sottoprodotto, presente nei prodotti", qualora il materiale rientri nel campo di applicazione di tale prassi.

Sono fatte salve le asserzioni ambientali auto-dichiarate, conformi alla norma UNI EN ISO 14021, validate da un organismo di valutazione della conformità, in corso di validità ed eventuali ulteriori certificazioni e dichiarazioni equivalenti a quanto sopra specificato.
Laddove disponibile, dovrà inoltre essere fornita dal Produttore, qualora non presente nei documenti sopra menzionati, una dichiarazione rilasciata da un ente terzo di certificazione che attesti il quantitativo di CO2 equivalente per unità di prodotto determinata secondo il metodo LCA.

24.4 Criteri di accettazione degli acciai per c.a.

24.4.1 Requisiti generali e caratteristiche dimensionali

È ammessa esclusivamente la produzione di acciaio per c.a. laminato a caldo denominato B450C di cui ai requisiti di cui al § 11.3.2.1 delle NTC2018 e trafilato a freddo, denominato B450A di cui ai requisiti di cui al § 11.3.2.2 saldabili e ad aderenza migliorata.
Il requisito di saldabilità è soddisfatto se vengono rispettati i limiti della Tab. 11.3.II di cui al § 11.3.2.6 delle NTC 2018 che si riporta di seguito:

Tab. 11.3.II – *Massimo contenuto di elementi chimici in %*

		Analisi di prodotto	Analisi di colata
Carbonio	C	0,24	0,22
Fosforo	P	0,055	0,050
Zolfo	S	0,055	0,050
Rame	Cu	0,85	0,80
Azoto	N	0,014	0,012
Carbonio equivalente	C_{eq}	0,52	0,50

È possibile eccedere il valore massimo di C dello 0,03% in massa, a patto che il valore del C_{eq} sia ridotto dello 0,02% in massa. Contenuti di azoto più elevati sono consentiti in presenza di una sufficiente quantità di elementi che fissano l'azoto stesso.

L'acciaio per calcestruzzo armato è esclusivamente prodotto sotto forma di barre o rotoli, reti o tralicci e deve essere ad aderenza migliorata, avente cioè una superficie dotata di nervature o dentellature trasversali, uniformemente distribuite sull'intera lunghezza, atte a garantire adeguata aderenza tra armature e conglomerato cementizi.
Tutti i prodotti sono caratterizzati dal diametro della barra tonda liscia equipesante, calcolato nell'ipotesi che la densità dell'acciaio sia pari a 7,85 kg/dm^3.
Gli acciai B450C possono essere impiegati in barre di diametro compreso tra 6 e 40 mm, mentre il diametro delle barre degli acciai B450A deve essere compreso tra 5 e 10 mm. L'uso di acciai forniti in rotolo è ammesso, esclusivamente per impieghi strutturali, per diametri non superiori a 16 mm per gli acciai B450C e diametri non superiori a 10 mm per gli acciai B450A.

24.4.2 Requisiti degli acciai per calcestruzzo armato B450C e B450A

L'acciaio per c.a. laminato a caldo, denominato B450C, dovrà rispettare i requisiti minimi sulle caratteristiche meccaniche previste nella tabella 11.3.Ib seguente tratta dalle NTC2018:

Caratteristiche	Requisito	Frattile (%)
Tensione caratteristica di snervamento f_{yk} (MPa)	≥ 450 ($f_{y\,nom}$)	5.0

Tensione caratteristica di rottura f_{tk} (MPa)	≥ 540 ($f_{t\ nom}$)	5.0
$(f_t/f_y)_k$	≥ 1.15 < 1.35	10.0
$(f_y/f_{y\ nom})_k$	≤ 1.25	10.0
Allungamento $(A_{gt})_k$ (%)	≥ 7.5	10.0
Diametro del mandrino per prove di piegamento a 90° e successivo raddrizzamento senza cricche:		
Ø < 12 mm	4 Ø	
12 ≤ Ø ≤16 mm	5 Ø	
16 < Ø ≤ 25 mm	8 Ø	
25 < Ø ≤ 40 mm	10 Ø	

L'acciaio per c.a. trafilato a freddo, denominato B450A, dovrà rispettare i requisiti sulle caratteristiche meccaniche previste nella tabella seguente:

Caratteristiche	**Classe A**	**Requisito o frattile (%)**
Tensione caratteristica di snervamento f_{yk} (MPa)	≥ 450 ($f_{y\ nom}$)	5.0
Tensione caratteristica di rottura f_{tk} (MPa)	≥ 540 ($f_{t\ nom}$)	5.0
$(f_t/f_y)_k$	≥ 1.05	10.0
$(f_y/f_{y\ nom})_k$	≤ 1.25	10.0
Allungamento $(A_{gt})_k$ (%)	$\geq$ 2.5	10.0
Diametro del mandrino per prove di piegamento a 90° e successivo raddrizzamento senza cricche:		
Ø ≤10 mm	4 Ø	

24.4.3 Reti e tralicci elettrosaldati

Gli acciai delle reti e tralicci elettrosaldati devono essere saldabili. L'interasse delle barre non deve superare, nelle due direzioni, 330 mm. I tralicci e le reti sono prodotti reticolari assemblati in stabilimento mediante elettrosaldature, eseguite da macchine automatiche in tutti i punti di intersezione.

Per le reti ed i tralicci costituiti con acciaio B450C, gli elementi base devono avere diametro che rispetta la limitazione: 6 mm ≤ Ø ≤ 16 mm.

Per le reti ed i tralicci costituiti con acciaio B450A, gli elementi base devono avere diametro che rispetta la limitazione: 5 mm ≤ Ø ≤ 10 mm.

Il rapporto tra i diametri delle barre componenti reti e tralicci deve essere: Ø min / Ø max ≥ 0,6.

I nodi (incroci) delle reti devono resistere ad una forza di distacco determinata in accordo con la UNI EN ISO 15630–2 e pari al 25% della forza di snervamento della barra, da computarsi per quella di diametro maggiore sulla tensione di snervamento pari a 450 N/mm^2.

Oltre a quanto sopra citato, con riferimento ai procedimenti di saldatura non automatizzati ed ai saldatori di reti e tralicci elettrosaldati, si applicano la norma UNI EN ISO 17660-1 per i giunti saldati destinati alla trasmissione dei carichi ed UNI EN 7660-2 per i giunti saldati non destinati alla trasmissione dei carichi.

In ogni elemento di rete o traliccio le singole armature componenti devono essere della stessa classe di acciaio. Nel caso dei tralicci è ammesso l'uso di elementi di collegamento fra correnti superiori ed inferiori aventi superficie liscia purché realizzate con acciaio B450A oppure B450C.

24.4.4 Tolleranze dimensionali

La deviazione ammissibile per la massa nominale per metro deve essere come riportato nella Tab. 11.3.III seguente tratta dalle NTC2018.

Tab. 11.3.III

Diametro nominale, (mm)	$5 \le \phi \le 8$	$8 < \phi \le 40$
Tolleranza in % sulla massa nominale per metro	± 6	± 4,5

24.4.5 Acciai inossidabili

E' ammesso l'impiego di acciai inossidabili di natura austenitica o austeno-ferritica per armature di cemento armato purchè le caratteristiche meccaniche siano conformi alle prescrizioni relative agli acciai da c.a. di cui alla Tabella 11.3.Ib di al § 24.4.1.2 del presente articolo di capitolato con l'avvertenza di sostituire al termine f_t, solo nel calcolo del rapporto f_t / f_y, il termine $f_{7\%}$, tensione corrispondente ad un allungamento totale pari al 7%.

Nel rispetto di quanto sopra detto, gli acciai inossidabili dovranno essere del tipo austenitico denominati con le sigle 1.4306 e 1.4435 della classificazione UNI EN 10088.
La composizione chimica (analisi di colata) degli acciai inossidabili per c.a. sarà quella prevista al prospetto 3 delle norma UNI EN 10088, di cui si riporta uno stralcio:

Sigla UNI EN 10088	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo
1.4306	≤ 0,03%	≤ 2,0%	≤ 1,0%	≤ 0,045%	≤ 0,03%	18÷20	10÷12	-
1.4435	≤ 0,03%	≤ 2,0%	≤ 1,0%	≤ 0,045%	≤ 0,03%	17÷19	12.5÷15	2.5 ÷ 3

La saldabilità di tali acciai va documentata attraverso prove di saldabilità certificata da un laboratorio autorizzato (ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n°380/2001) ed effettuate secondo gli specifici procedimenti di saldature, da utilizzare in cantiere o in officina, previsti dal produttore. Dovranno inoltre risultare positivi gli esiti delle seguenti prove:
- piegamento e raddrizzamento su mandrino;
- indice di aderenza eseguito secondo il metodo "Beam Test".

Per i controlli da effettuare in cantiere vale quanto previsto al § 24.6.

24.4.6 Acciai zincati

La zincatura a caldo degli acciai per c.a., qualora prevista negli elaborati di progetto, è ammessa purché le caratteristiche fisiche, meccaniche e tecnologiche siano conformi alle prescrizioni relative agli acciai B450C e B450A. Il materiale base da sottoporre a zincatura deve essere qualificato all'origine con marcatura aggiuntiva che identifichi lo stabilimento di zincatura.
La zincatura a caldo deve avvenire in conformità alla norma UNI 10662 con massa di zinco per unità di superficie nei limiti di cui al § 6.3.4 della citata norma UNI:
- ≥ 468 g/m^2 (circa 65 µm) per il tondo di diametro 5 mm;
- ≥ 540 g/m^2 (circa 75 µm) per diametri maggiori di 5 mm;
- < 1.070 g/m^2 (circa 150 µm) per tutti i diametri.

24.5 Criteri di accettazione degli acciai per c.a.p.

24.5.1 Caratteristiche dimensionali di impiego per fili, barre, trecce e trefoli

L'acciaio per armature da precompressione deve essere conforme a quanto indicato al § 11.3.3.1 delle NTC2018 ed è generalmente fornito sotto forma di:

- *Filo*: Prodotto trafilato di sezione piena che possa fornirsi in rotoli o in fasci;
- *Barra*: Prodotto laminato di sezione piena che possa fornirsi soltanto in forma di elementi rettilinei, le caratteristiche finali del prodotto possono essere conferite con trattamento termico o meccanico successivo alla laminazione;
- *Treccia*: prodotti formati da 2 o 3 fili trafilati dello stess diametro nomilale avvolti ad elica intorno al loro comune asse longitudinale fornito in rotolo o bobine; passo e senso di avvolgimento dell'elica sono eguali per tutti i fili della treccia;
- *Trefolo*: prodotto formato da 6 fili trafilati avvolti ad elica intorno ad un filo trafilato rettilineo completamente ricoperto dai fili elicoidali, fornito in bobine. Il passo ed il senso di avvolgimento dell'elica sono uguali per tutti i fili di uno stesso strato esterno.

I fili possono essere a sezione trasversale circolare o di altre forme. I fili sono individuati mediante il diametro nominale o il diametro nominale equivalente riferito alla sezione circolare equipesante. La superficie dei fili può essere liscia o improntata.

Non è consentito l'impiego di fili lisci nelle strutture precompresse ad armature pre-tese.

I fili delle trecce possono essere lisci o improntati. I fili dello strato esterno dei trefoli possono essere lisci od improntati.

Il processo di improntatura deve essere completato prima della trecciatura o della trefolatura, rispettivamente per le trecce e per i trefoli. I trefoli compattati possono essere prodotti per trafilatura o laminazione dopo la trefolatura e prima del trattamento termico. Quando la trefolatura e la compattazione sono eseguite contemporaneamente, il filo centrale rettilineo deve avere diametro almeno uguale a quello dei fili esterni.

Le barre possono essere lisce, a filettatura continua o parziale, con risalti o nervature; vengono individuate mediante il diametro nominale nel caso di barre lisce o mediante il diametro nominale equivalente riferito alla sezione circolare equipesante nel caso di barre non lisce. Le barre filettate devono avere filetto con passo uniforme e non superiore a 0,8 volte il diametro nominale. Le barre a filettatura continua o parziale, con risalti o nervature, devono avere geometria superficiale conforme a quanto specificato nel § 11.3.3.5.2.3 delle NTC2018.

I trefoli e le trecce possono essere prodotti e forniti protetti con guaina oppure protetti con cera o grasso, oltre alla guaina. Le caratteristiche delle guaina, della cera e del grasso sono specificate nella norma UNI 7676. Tutti i prodotti possono essere forniti con protezione superficiale costituita da uno strato di zinco. L'operazione di zincatura deve essere eseguita come specificato nelle UNI 7675 ed UNI 7676. Lo spessore dello strato di zinco o la quantità di zinco per unità di lunghezza di prodotto, deve essere verificato secondo quanto specificato nelle UNI 7675 ed UNI 7676.

I fili devono essere forniti in rotoli di diametro tale che, all'atto dello svolgimento, allungati al suolo su un tratto di 10 m non presentino curvatura con freccia superiore a 400 mm; il fabbricante deve indicare il diametro minimo di avvolgimento.

I fili devono essere esenti da saldature. Sono ammesse le saldature di fili destinati alla produzione di trecce e di trefoli se effettuate prima della trafilatura; non sono ammesse saldature durante l'operazione di cordatura.

All'atto della posa in opera gli acciai devono presentarsi privi di ossidazione, corrosione, difetti superficiali visibili, pieghe.

È tollerata un'ossidazione che scompaia totalmente mediante sfregamento con un panno asciutto.

In cantiere non è ammessa alcuna operazione di raddrizzamento.

Con riferimento ai procedimenti di saldatura ed alla qualifica dei saldatori impiegati per giunzioni saldate delle barre, si applicano la norma UNI EN ISO 17660-1 per i giunti saldati destinati alla trasmissione dei carichi ed UNI EN 17660-2 per i giunti saldati non destinati alla trasmissione dei carichi.

24.5.2 Caratteristiche dinamiche, fisiche e geometriche.

Gli acciai per armature da precompressione devono possedere proprietà meccaniche e di duttilità, garantite dal fabbricante, non inferiori a quelle indicate nella successiva Tab. 11.3.VIII tratta dal § 11.3.3.2 delle NTC2018:

Tab. 11.3.VIII

Tipo di acciaio	Barre	Fili	Trefoli e trecce	Trefoli compattati
Tensione caratteristica al carico massimo f_{ptk} N/mm²	≥ 1000	≥ 1570	≥1860	≥ 1820
Tensione caratteristica allo 0,1 % di deformazione residua - scostamento dalla proporzionalità $f_{p(0,1)k}$ N/mm²	na	≥ 1420	na	na
Tensione caratteristica all'1 % di deformazione totale ……$f_{p(1)k}$ N/mm²	na	na	≥1670	≥ 1620
Tensione caratteristiche di snervamento f_{pyk} N/mm²	≥ 800	na	na	na
Allungamento totale percentuale a carico massimo A_{gt}	≥ 3,5	≥ 3,5	≥3,5	≥ 3,5

na=non applicabile

24.5.3 Cadute di tensione per rilassamento

Le cadute di tensione per rilassamento devono essere riferite al valore percentuale ottenuto sperimentalmente dopo 1000 ore dalla messa in tensione (ρ_{1000}). La tensione iniziale (σ_{spi}) di prova deve essere pari al 70% del valore fpt ottenuto come valore medio della tensione al carico massimo ottenuta su due saggi prelevati in adiacenza a quello sottoposto a prova.
Il valore della caduta di rilassamento dopo 1000 ore (ρ1000), non può essere assunto superiore a quello indicato nella tabella 11.3.IX delle NTC2018. In mancanza di specifica sperimentazione, i valori di ρ1000 possono essere tratti dalla citata Tab. 11.3.IX di seguito richiamata:

Tab. 11.3.IX

armatura Prodotto	ρ_{1000}
Trecce, filo o trefolo stabilizzato	2,5
Barre laminate a caldo	4,0

24.5.4 Prodotti inguainati o inguainati e cerati

Trattandosi di ulteriori trasformazioni, è richiesto che gli acciai di partenza (trefoli per calcestruzzo armato precompresso) siano già qualificati secondo le procedure finora descritte. Per le ulteriori caratteristiche (materiale protettivo, quantità, guaine, spessore, ecc…) si rimanda a quanto contenuto nella specifica UNI 7676
Si precisa solo che il cavo inguainato dovrà essere di tipo compatto, costituito da trefolo in fili di acciaio a sezione poligonale, controllati in stabilimento, rivestito con guaina tubolare in polietilene ad alta densità, intasata internamente con grasso anticorrosivo ad alta viscosità, stabile ed idoneo all'uso specifico.
L'Appaltatore dovrà sottoporre alla preventiva approvazione della Direzione Lavori il sistema proposto per l'ingrassaggio, l'infilaggio e l'eventuale sostituzione dei trefoli.

24.5.5 Prodotti zincati

È ammesso l'uso di acciai zincati purché le caratteristiche fisiche, meccaniche e tecnologiche siano conformi alle prescrizioni relative agli acciai di cui al paragrafo §11.3.3 delle NTC2018.
Il materiale base da sottoporre a zincatura deve essere qualificato all'origine. I controlli di accettazione in cantiere e la relativa verifica di quanto sopra indicato, devono essere effettuati sul prodotto finito, dopo il processo di zincatura, presso un laboratorio di cui all'articolo 59 del DPR 380/2001, secondo quanto previsto al § 11.3.3.5.4 delle stesse NTC.
Per le modalità di controllo del rivestimento di zinco (qualità superficiale, adesione del rivestimento, massa di rivestimento per unità di superficie) si può fare riferimento alle norme UNI 7675 e UNI 7676.

24.5.6 Ancoraggi dell'armatura di precompressione

Per i criteri di accettazione, le modalità esecutive e i controlli sugli ancoraggi si rimanda all'art. 21 di questo capitolato.

24.5.7 Tesatura delle armature di precompressione in cantiere

Per i criteri di accettazione, le modalità esecutive e i controlli sulla tesatura delle armature di precompressione in cantiere si rimanda all'art. 21 di questo capitolato.

24.6 Prequalifica dei fornitori di acciaio per c.a. e c.a.p.

L'Appaltatore, prima di approvvigionare le armature, deve prequalificare il fornitore presentando al Direttore dei Lavori per sua approvazione, la seguente documentazione:

- Certificato UNI EN ISO 9001 del sistema di gestione qualità del o dei produttori da cui l'Impresa intenda rifornirsi o delle specifiche unità operative ove l'acciaio viene prodotto, sagomato, assemblato, distribuito;
- Attestato di qualificazione, rilasciato dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici in conformità al § 11.3.1.2 delle NTC2018, per i tipi (450C, 450A, ecc.) e forme (barre o rotoli, reti o tralicci) di acciaio e relativi diametri che si producono negli stabilimenti da cui l'Impresa intenda rifornirsi. La qualificazione ha validità di cinque anni dalla data di rilascio dell'Attestato;
- Attestato di denuncia dell'Attività di centro di trasformazione di cui al § 11.3.1.7 delle NTC2018, rilasciato dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, degli stabilimenti da cui l'Impresa intenda eventualmente rifornirsi.
- Eventuale dichiarazione di prodotto EPD da parte del produttore di acciaio qualora disponibile

24.7 Controlli dei documenti di accompagno delle forniture all'arrivo in cantiere

In accordo al § 11.3.1.5 delle NTC2018, tutte le forniture di acciaio per c.a. e c.a.p., per le quali non sussiste l'obbligo della Marcatura CE, devono essere accompagnate:

- dalla copia dell'attestato di qualificazione del Servizio Tecnico Centrale;
- dal certificato di controllo interno tipo 3.1, di cui alla norma UNI EN 10204, dello specifico lotto di materiale fornito. Il certificato tipo 3.1. è un documento emesso dal fabbricante in cui questi dichiara che i prodotti forniti sono conformi ai requisiti dell'ordine e nel quale fornisce i risultati di prova. L'unità di prova e le prove da eseguire sono definite dalla specifica di prodotto, dal regolamento ufficiale e dalle regole corrispondenti e/o dall'ordine. Il documento è validato dal rappresentante del fabbricante autorizzato per il controllo indipendente dal

reparto di fabbricazione. Deve essere possibile per il fabbricante trasferire sul certificato di controllo 3.1 risultati di prova pertinenti ottenuti dal controllo specifico sui prodotti primari o in entrata che utilizza, a condizione che il fabbricante applichi procedure di rintracciabilità e possa fornire documenti di controllo corrispondenti richiesti;

- dal documento di trasporto DDT con riferimento agli attestati comprovanti la qualificazione del prodotto.

Le forniture effettuate da un distributore o commerciante intermedio, devono essere accompagnate da copia dei documenti rilasciati dal fabbricante e completati con il riferimento al documento di trasporto del distributore o commerciante intermedio stesso.

Ogni fornitura in cantiere di acciaio per c.a. o c.a.p., proveniente da un Centro di trasformazione, deve essere accompagnata:

a) da dichiarazione, su documento di trasporto, degli estremi dell'Attestato di "Denuncia dell'attività del centro di trasformazione", rilasciato dal Servizio Tecnico Centrale, recante il logo o il marchio del centro di trasformazione;
b) dall'attestazione inerente l'esecuzione delle prove di controllo interno di cui ai paragrafi specifici relativi a ciascun prodotto (§ 11.3.2.10.3, § 11.3.3.5.3, § 11.3.4.11.2 delle NTC2018), fatte eseguire dal Direttore Tecnico del centro di trasformazione, con l'indicazione dei giorni nei quali la fornitura è stata lavorata. Qualora il Direttore dei Lavori lo richieda, può prendere visione del Registro di cui al § 11.3.2.10.3;
c) da dichiarazione contenente i riferimenti alla documentazione fornita dal fabbricante ai sensi del § 11.3.1.5 in relazione ai prodotti utilizzati nell'ambito della specifica fornitura. Copia della documentazione fornita dal fabbricante e citata nella dichiarazione del centro di trasformazione, è consegnata al Direttore dei Lavori se richiesta.

Il Direttore dei Lavori, prima della messa in opera, è tenuto a verificare quanto sopra indicato e a rifiutare o ad allontanare dal cantiere le eventuali forniture non conformi a cura e spese dell'Appaltatore, ferme restando le responsabilità del fabbricante e del Centro di trasformazione.
Si prescrive anche l'obbligo di mantenere compilato ed aggiornato un registro di tutte le armature che man mano giungono in cantiere in modo da garantire sempre la rintracciabilità tra i DdT, le certificazioni, la parte d'opera in cui vengono posati e le relative quantità.
I documenti citati devono essere consegnati settimanalmente alla Direzione Lavori.

24.8 Prove e prelievi in cantiere per l'accettazione degli acciai - condizioni generali

I controlli di accettazione in cantiere sono obbligatori e devono essere effettuati, entro 30 giorni dalla data di consegna del materiale, a cura di un laboratorio di cui all'art. 59 del DPR n. 380/2001.
Essi devono essere eseguiti in ragione di 3 campioni ogni 30 t di acciaio impiegato della stessa classe proveniente dallo stesso stabilimento o Centro di trasformazione, anche se con forniture successive.
Il prelievo dei campioni va eseguito a cura dell'Appaltatore alla presenza del Direttore dei Lavori o di un tecnico di sua fiducia che provvede alla redazione di apposito verbale di prelievo ed alla identificazione dei provini mediante sigle, etichettature indelebili, ecc. Il prelievo potrà anche essere eseguito dallo stesso laboratorio incaricato della esecuzione delle prove.
Qualora la fornitura di elementi sagomati o assemblati, provenga da un Centro di trasformazione, il Direttore dei Lavori può recarsi presso il medesimo Centro di trasformazione ed effettuare in stabilimento tutti i controlli di accettazione prescritti al presente paragrafo. In tal caso il prelievo dei campioni viene effettuato dal Direttore Tecnico del Centro di trasformazione secondo le disposizioni del Direttore dei Lavori; quest'ultimo deve assicurare, mediante sigle, etichettature indelebili, ecc.,

che i campioni inviati per le prove da effettuarsi presso il laboratorio di cui all'art. 59 del DPR n. 380/2001 incaricato delle prove di accettazione in cantiere, siano effettivamente quelli prelevati, nonché sottoscrivere la relativa richiesta di prove contenente l'indicazione delle strutture cui si riferisce ciascun prelievo.
La richiesta di prove al laboratorio incaricato deve essere sempre firmata dal Direttore dei Lavori, che rimane anche responsabile della trasmissione dei campioni che nel caso di prelievi eseguiti presso Centro di trasformazione è delegata al Direttore Tecnico dello stabilimento.
Resta nella discrezionalità del Direttore dei Lavori effettuare tutti gli eventuali ulteriori controlli ritenuti opportuni.

24.8.1 Acciaio da calcestruzzo armato normale

I campioni devono essere ricavati da barre di uno stesso diametro o della stessa tipologia (in termini di diametro e dimensioni) per reti e tralicci, e recare il marchio di provenienza. Tali campioni possono essere, su richiesta del Direttore dei Lavori al Direttore Tecnico del Centro di trasformazione, preparati direttamente nello stabilimento senza che in cantiere si debba eseguire tagli ed avere inutili sfridi. Al ricevimento in cantiere il Direttore dei Lavori provvederà al prelievo dei campioni e alla spedizione al laboratorio ufficiale incaricato.
I valori di resistenza ed allungamento di ciascun campione, accertati in applicazione della norma UNI EN ISO 15630-1 e in accordo con il § 11.3.2.3, da eseguirsi comunque prima della messa in opera del prodotto riferiti ad uno stesso diametro, devono essere compresi fra i valori massimi e minimi riportati nelle tabelle seguenti tratte dalle NTC2018, rispettivamente per barre e reti e tralicci.
Le prove di resistenza al distacco offerta dalla saldatura del nodo, determinata forzando con idoneo dispositivo il filo trasversale nella direzione di quello longitudinale posto in trazione sono da effettuarsi secondo la norma UNI EN 10080 per i tralicci e secondo la norma UNI EN ISO 15630-2 per le reti elettrosaldate.

Tab. 11.3.VII a) – *Valori di accettazione in cantiere – barre*

Caratteristica	Valore limite	Note
f_y minimo	425 N/mm²	per acciai B450A e B450C
f_y massimo	572 N/mm²	per acciai B450A e B450C
A_{gt} minimo	≥ 6,0%	per acciai B450C
A_{gt} minimo	≥ 2,0%	per acciai B450A
f_t / f_y	$1{,}13 \le f_t / f_y \le 1{,}37$	per acciai B450C
f_t / f_y	$f_t / f_y \ge 1{,}03$	per acciai B450A
Piegamento/raddrizzamento	assenza di cricche	per acciai B450A e B450C

Tab. 11.3.VII b) – *Valori di accettazione in cantiere – reti e tralicci*

Caratteristica	Valore limite	Note
f_y minimo	425 N/mm²	per acciai B450A e B450C
f_y massimo	572 N/mm²	per acciai B450A e B450C
A_{gt} minimo	≥ 6,0%	per acciai B450C
A_{gt} minimo	≥ 2,0%	per acciai B450A
f_t / f_y	$1,13 \leq f_t / f_y \leq 1,37$	per acciai B450C
f_t / f_y	$f_t / f_y \geq 1,03$	per acciai B450A
Distacco del nodo	≥ Sez. nom. Ø maggiore × 450 × 25%	per acciai B450A e B450C

Occorre infine eseguire le prove per la verifica dell'analisi chimico fisica dell'acciaio nel rispetto dei contenuti di cui al § 24.4.1.1 secondo UNI EN 10315, UNI EN ISO 15350 o al CR 10320.
Qualora il risultato non sia conforme a quello dichiarato dal fabbricante, il Direttore dei Lavori dispone la ripetizione della prova su 6 ulteriori campioni dello stesso diametro.
Ove anche da tale accertamento i limiti dichiarati non risultino rispettati, il controllo deve estendersi, previo avviso al fabbricante nel caso di fornitura di acciaio non lavorato presso un centro di trasformazione, o al centro di trasformazione, a 25 campioni, applicando ai dati ottenuti la formula generale valida per controlli sistematici in stabilimento (§ 11.3.2.10.1.3 NTC2018).
L'ulteriore risultato negativo comporta l'inidoneità della partita e la trasmissione dei risultati da parte del Direttore dei Lavori al fabbricante, nel caso di fornitura di acciaio non lavorato presso un centro di trasformazione, o al centro di trasformazione, che sarà tenuto a farli inserire tra i risultati dei controlli statistici della sua produzione. Analoghe norme si applicano ai controlli di duttilità, aderenza e distacco al nodo saldato: un singolo risultato negativo sul primo prelievo comporta l'esame di sei nuovi campioni dello stesso diametro, un ulteriore singolo risultato negativo comporta l'inidoneità della partita.
Inoltre il Direttore dei Lavori deve comunicare il risultato anomalo al Servizio tecnico centrale. I certificati di prova emessi dai laboratori devono contenere tutte le indicazioni elencate nel par. 11.3.2.12 del D.M. 17.01.2018 e la verifica delle tolleranze dimensionali riportate al par. 11.3.2.7 del medesimo D.M.

24.8.2 Acciaio da calcestruzzo armato precompresso

Si determinano i corrispondenti valori minimi di f_{pt}, f_{py}, $f_{p(1)}$, $f_{p(0,1)}$, A_{gt} e E_p secondo le norme UNI EN ISO 15630-1, 2 e 3. I risultati delle prove sono considerati accettabili se:

- nessuno dei valori di tensione sopra indicati è inferiore al corrispondente valore caratteristico dichiarato dal fabbricante;
- tutti i valori di tensione al carico massimo f_{pt} non superano il valore caratteristico f_{ptk} corrispondente, incrementato del 15%.
- tutti i valori dell'allungamento totale percentuale al carico massimo Agt non sono inferiori al limite della seguente Tab 11.3.VIII tratta dalle NTC2018.

Tab. 11.3.VIII

Tipo di acciaio	Barre	Fili	Trefoli e trecce	Trefoli compattati
Tensione caratteristica al carico massimo f_{ptk} N/mm²	≥ 1000	≥ 1570	≥1860	≥ 1820
Tensione caratteristica allo 0,1 % di deformazione residua - scostamento dalla proporzionalità $f_{p(0,1)k}$ N/mm²	na	≥ 1420	na	na
Tensione caratteristica all'1 % di deformazione totale ……$f_{p(1)k}$ N/mm²	na	na	≥1670	≥ 1620
Tensione caratteristiche di snervamento f_{pyk} N/mm²	≥ 800	na	na	na
Allungamento totale percentuale a carico massimo A_{gt}	≥ 3,5	≥ 3,5	≥3,5	≥ 3,5

na=non applicabile

Nel caso che anche uno solo dei valori delle tensioni o dell'allungamento totale percentuale al carico massimo non rispetti la corrispondente condizione, verranno eseguite prove supplementari su un campione costituito da almeno 10 saggi prelevati da altrettanti rotoli, bobine o fasci. Se il numero dei rotoli, bobine o fasci è inferiore a 10, da alcuni fasci sono prelevati due saggi da due barre diverse, mentre da alcuni rotoli o bobine verranno prelevati due saggi, uno da ciascuna estremità.
Ogni saggio deve recare contrassegni atti ad individuare il lotto ed il rotolo, bobina o fascio di provenienza.
Effettuato il prelievo supplementare si determinano, mediante prove effettuate sempre presso un laboratorio di cui all'art. 59 del DPR n. 380/2001, i valori di f_{pt}, f_{py}, $f_{p(1)}$, $f_{p(0,1)}$, A_{gt} e E_p.
La fornitura è considerata conforme se:

- la media dei risultati ottenuti per le grandezze f_{pt}, f_{py}, $f_{p(1)}$, $f_{p(0,1)}$ sugli ulteriori saggi è almeno uguale al valore caratteristico garantito dal fabbricante e i singoli valori sono superiori allo stesso valore caratteristico garantito, diminuito del 1,5%;
- la media dei risultati ottenuti per la grandezza fpt sui 10 ulteriori saggi è al massimo uguale a 1,15 volte il valore caratteristico f_{ptk} garantito dal fabbricante e i singoli valori sono inferiori allo stesso limite, incrementato del 1,5%;
- la media dei risultati ottenuti per la grandezza Agt sui 10 ulteriori saggi è al minimo uguale al limite indicato nella Tab. 11.3.VIII tratta dalle NTC2018 e i singoli valori sono superiori allo stesso limite, diminuito del 5%.

L'ulteriore risultato negativo comporta l'inidoneità della fornitura e la trasmissione dei risultati da parte del Direttore dei Lavori al fabbricante, nel caso di fornitura di acciaio non lavorato presso un centro di trasformazione, o al centro di trasformazione, che sarà tenuto a farli inserire tra i risultati dei controlli statistici della sua produzione.

24.8.3 Verifiche sulle zincature

Oltre alle prove previste ai § 24.6.1 e 24.6.2, dirette a verificare la resistenza dei materiali, dovranno essere effettuate anche le prove di seguito descritte, per verificare la rispondenza del trattamento di zincatura alle prescrizioni delle norme tecniche di riferimento UNI 10622 e ed UNI EN ISO 1461.
In primo luogo la Direzione Lavori procederà in contraddittorio con l'Appaltatore ad un'accurata ispezione visiva della partita per accertare lo stato della zincatura. Le caratteristiche del rivestimento dovranno soddisfare i seguenti requisiti:

- Aspetto:

  Il rivestimento sui prodotti zincati a caldo deve essere compatto ed uniforme, privo di zone scoperte, di bolle, di macchie di flusso, di inclusioni, di scorie, di macchie acide o nere; possono essere ammesse delle discontinuità nello spessore di zinco con ispessimenti, in particolare alla base delle nervature, pur nel rispetto dei parametri di forma delle norme di prodotto di riferimento per barre ad aderenza migliorata.
- Adesione:

Il rivestimento di zinco deve essere ben aderente alle barre di armatura, in modo da non poter essere rimosso da ogni usuale processo di movimentazione, lavorazione e posa in opera.

- Massa di zinco:

La massa di zinco per unità di superficie dovrà corrispondere ai requisiti del punto 6.3.4 delle norme UNI 10622 riportate per comodità di consultazione al § 24.4.1.6.

- Continuità del rivestimento:

La continuità del rivestimento deve essere tale che il valore caratteristico dello spessore del rivestimento sia maggiore o uguale a 360 g/mq (circa 50 μm).

In seguito alle operazioni di zincatura, le barre non devono presentarsi incollate fra loro e barre che presentano gocce e/o punte aguzze saranno rifiutate. In presenza di zone scoperte o di altre irregolarità superficiali le partite saranno rifiutate e l'Appaltatore dovrà allontanarle dal cantiere a sua cura e spese.

- Determinazione dell'adesione del rivestimento di zinco mediante una prova di piegamento o di non fragilità (secondo norma di riferimento per barre da c.a.); dopo tale prova il rivestimento non deve presentare nella zona di massima curvatura distacco del rivestimento di zinco.
- Determinazione della massa di zinco: per la determinazione della massa di zinco per unità di superficie possono essere impiegati due metodi:
  a) Metodo per dissoluzione chimica (distruttivo) secondo UNI EN ISO 1460.
  b) Misura magnetica dello spessore del rivestimento (non distruttiva) secondo la UNI ISO 2178.
- Verifica dell'uniformità del rivestimento: l'uniformità dello strato di zincatura sarà verificato con il metodo di prova della UNI 11406 (Metodo di Preece).

Le unità non accettabili, per qualsiasi carenza, saranno rifiutate e dovranno essere allontanate dal cantiere a cura e spese dell'Appaltatore.

24.8.4 Modalità esecutive e controlli in corso d'opera

Per quanto riguarda le modalità esecutive per la posa delle armature per c.a. e c.a.p. si rimanda alle indicazioni di cui ai §§ 20.12.4.1 e 20.12.4.2. L'Impresa non potrà eseguire le operazioni di getto se la Direzione Lavori non avrà eseguito, con esito posito, le verifiche del rispetto delle condizioni di posa cui ai citati paragrafi come specificato anche nel § 20.12.5.

Art. 24 NO CAM - Acciaio per c.a. e c.a.p.

24.1 Campo di applicazione

Il presente articolo di capitolato si applica all'armatura in acciaio per conglomerati cementizi armati e precompressi di cui § 20 del presente capitolato, per la realizzazione di strutture gettate in opera o prefabbricate sia all'aperto che in sotterraneo di opere di ingegneria civile e di edifici, per sottofondazioni, fondazioni, elevazioni, solette, impalcati.

24.2 Normativa di riferimento

- NTC 2018 § 11.3.1 Generalità comuni a tutte le tipologie di acciaio
  § 11.3.2 Acciaio per calcestruzzo armato
  § 11.3.3 Acciaio per calcestruzzo armato precompresso
- UNI EN 10080: Acciaio d'armatura per calcestruzzo - Acciaio d'armatura saldabile – Generalità Prove
- UNI EN ISO 15630-1: Titolo : Acciaio per calcestruzzo armato e calcestruzzo armato precompresso - Metodi di prova - Parte 1: Barre, rotoli e fili per calcestruzzo armato
- UNI EN ISO 15630-2: Acciaio per calcestruzzo armato e calcestruzzo armato precompresso - Metodi di prova - Parte 2: Reti e tralicci elettrosaldati
- UNI EN ISO 15630-3: Acciaio per calcestruzzo armato e calcestruzzo armato precompresso - Metodi di prova - Parte 3: Acciaio per calcestruzzo armato precompresso
- UNI EN 10080: Acciaio d'armatura per calcestruzzo - Acciaio d'armatura saldabile – Generalità
- UNI 10622: Barre e vergella (rotoli) di acciaio d armatura per cemento armato, zincati a caldo
- UNI EN ISO 1461: Rivestimenti di zincatura per immersione a caldo su prodotti finiti ferrosi e articoli di acciaio - Specificazioni e metodi di prova

24.3 Criteri di accettazione per la produzione, qualifica e trasformazione degli acciai

24.3.1 Obblighi per gli stabilimenti di produzione

La norma UNI EN 10080 (Acciai per calcestruzzo – Acciaio per armatura saldabile) pubblicata nel 2005 e in tale data armonizzata alla Direttiva 89/106/CE, è stata cancellata con decisione della Commissione della Comunità Europea 2006/893/CE, dall'elenco delle norme armonizzate pubblicato nella Gazzetta ufficiale dell'Unione europea ed è pertanto rimasta una norma volontaria e quindi non applicabile ai fini della marcatura CE.
Di conseguenza, non essendo applicabile per gli acciai per c.a. e c.a.p. la marcatura CE ai sensi del Regolamento UE 305/2011, per la qualifica degli acciai, oggetto di questo articolo di capitolato, i produttori, ai sensi delle NTC2018, devono:

- organizzare la produzione con un sistema permanente di controllo interno della produzione in stabilimento che deve assicurare il mantenimento dello stesso livello di affidabilità nella conformità del prodotto finito, indipendentemente dal processo di produzione ed essere in possesso del Certificato UNI EN ISO 9001 del sistema di gestione qualità e certificato da parte di un organismo terzo indipendente, di adeguata competenza ed organizzazione, che opera in coerenza con le norme UNI CEI EN ISO/IEC 17021-1.
- essere in possesso dell'Attestato di qualificazione, rilasciato dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici in conformità al § 11.3.1.2 delle NTC2018. L'Attestato di qualificazione ha validità di cinque anni, tuttavia, i produttori con cadenza annuale, devono procedere al mantenimento di detto Attestato nei modi indicati al § 11.3.1.3 e all'esecuzione di tutti i controlli e prove di laboratorio sugli acciai di cui al

citato § 11.3.1.2, § 11.3.2.10.1, § 11.3.2.10.2, § 11.3.2.11.1, § 11.3.2.11.2 delle NTC2018;

- garantire l'identificazione e la rintracciabilità dei prodotti qualificati tramite marchiatura indelebile depositata presso il Servizio Tecnico Centrale, dalla quale risulti, in modo inequivocabile, il riferimento all'Azienda produttrice, allo Stabilimento, al tipo di acciaio ed alla sua eventuale saldabilità (§ 11.3.1.4 NTC2018). Ogni prodotto deve essere marchiato con identificativi diversi sia da quelli di prodotti fabbricati nello stesso stabilimento ma aventi differenti caratteristiche, sia da quelli di prodotti con uguali caratteristiche ma fabbricati in altri stabilimenti, siano essi o meno dello stesso fabbricante. La marchiatura deve essere inalterabile nel tempo e senza possibilità di manomissione.

24.3.2 Obblighi per i centri di trasformazione

Nel caso in cui gli acciai vengano spediti dal produttore ad un centro esterno alla fabbrica e/o al cantiere, fisso o mobile per l'esecuzione di processi di piegatura, saldatura di elementi base in acciaio (barre, rotoli, reti, lamiere, ecc.) per il loro preassemblaggio (gabbie di armatura, ecc) e confezionamento in elementi strutturali direttamente impiegabili in cantiere, pronti per la messa in opera o per successive lavorazioni, tale luogo è definito Centro di trasformazione.
I centri di trasformazione devono:

- dotarsi di un sistema di controllo della lavorazione allo scopo di garantire che le lavorazioni effettuate assicurino il mantenimento della conformità delle caratteristiche meccaniche e geometriche dei prodotti alle presenti norme. Il sistema di gestione della qualità del prodotto, che sovrintende al processo di trasformazione, deve essere predisposto in coerenza con la norma UNI EN ISO 9001 certificato da parte di un organismo terzo indipendente, di adeguata competenza ed organizzazione, che opera in coerenza con la norma UNI CEI EN ISO/IEC 17021-1;
- dichiarare al Servizio Tecnico Centrale la loro attività nelle modalità definite nel § 11.3.1.7 delle NTC2018 ed ottenere dallo stesso Servizio Tecnico Centrale l'Attestato di denuncia dell'Attività di centro di trasformazione. I centri di trasformazione sono tenuti a comunicare ogni variazione rispetto a quanto dichiarato in sede di presentazione della denuncia di attività;
- mantenere l'identificazione e la rintracciabilità dei prodotti dalla quale risulti, in modo inequivocabile, il riferimento all'Azienda produttrice, allo Stabilimento, al tipo di acciaio ed alla sua eventuale saldabilità. Qualora, l'unità marchiata (pezzo singolo o confezione) venga scorporata, per cui una parte, o il tutto, perda l'originale marchiatura del prodotto è responsabilità del centro di trasformazione documentare la provenienza mediante i documenti di accompagnamento del materiale e gli estremi del deposito del marchio presso il Servizio Tecnico Centrale;
- far eseguire da laboratori di cui all'art. 59 del D.P.R. 380/2001 le prove indicate negli specifici paragrafi relativi a ciascun prodotto in acciaio (§11.3.2.10.3, § 11.3.3.5.3 delle NTC2018) e devono comunicare al Servizio Tecnico Centrale le eventuali variazioni apportate al processo di produzione depositato;

24.4 Criteri di accettazione degli acciai per c.a.

24.4.1 Requisiti generali e caratteristiche dimensionali

È ammessa esclusivamente la produzione di acciaio per c.a. laminato a caldo denominato B450C di cui ai requisiti di cui al § 11.3.2.1 delle NTC2018 e trafilato a freddo, denominato B450A di cui ai requisiti di cui al § 11.3.2.2 saldabili e ad aderenza migliorata.
Il requisito di saldabilità è soddisfatto se vengono rispettati i limiti della Tab. 11.3.II di cui al § 11.3.2.6 delle NTC 2018 che si riporta di seguito:

Tab. 11.3.II – *Massimo contenuto di elementi chimici in %*

		Analisi di prodotto	Analisi di colata
Carbonio	C	0,24	0,22
Fosforo	P	0,055	0,050
Zolfo	S	0,055	0,050
Rame	Cu	0,85	0,80
Azoto	N	0,014	0,012
Carbonio equivalente	C_{eq}	0,52	0,50

È possibile eccedere il valore massimo di C dello 0,03% in massa, a patto che il valore del C_{eq} sia ridotto dello 0,02% in massa. Contenuti di azoto più elevati sono consentiti in presenza di una sufficiente quantità di elementi che fissano l'azoto stesso.

L'acciaio per calcestruzzo armato è esclusivamente prodotto sotto forma di barre o rotoli, reti o tralicci e deve essere ad aderenza migliorata, avente cioè una superficie dotata di nervature o dentellature trasversali, uniformemente distribuite sull'intera lunghezza, atte a garantire adeguata aderenza tra armature e conglomerato cementizi.
Tutti i prodotti sono caratterizzati dal diametro della barra tonda liscia equipesante, calcolato nell'ipotesi che la densità dell'acciaio sia pari a 7,85 kg/dm^3.
Gli acciai B450C possono essere impiegati in barre di diametro compreso tra 6 e 40 mm, mentre il diametro delle barre degli acciai B450A deve essere compreso tra 5 e 10 mm. L'uso di acciai forniti in rotolo è ammesso, esclusivamente per impieghi strutturali, per diametri non superiori a 16 mm per gli acciai B450C e diametri non superiori a 10 mm per gli acciai B450A.

24.4.2 Requisiti degli acciai per calcestruzzo armato B450C e B450A

L'acciaio per c.a. laminato a caldo, denominato B450C, dovrà rispettare i requisiti minimi sulle caratteristiche meccaniche previste nella tabella 11.3.Ib seguente tratta dalle NTC2018:

Caratteristiche	Requisito	Frattile (%)
Tensione caratteristica di snervamento f_{yk} (MPa)	≥ 450 ($f_{y\,nom}$)	5.0
Tensione caratteristica di rottura f_{tk} (MPa)	≥ 540 ($f_{t\,nom}$)	5.0
$(f_t/f_y)_k$	≥ 1.15 < 1.35	10.0
$(f_y/f_{y\,nom})_k$	≤ 1.25	10.0
Allungamento $(A_{gt})_k$ (%)	≥ 7.5	10.0
Diametro del mandrino per prove di piegamento a 90° e successivo raddrizzamento senza cricche:		
Ø < 12 mm	4 Ø	

12 ≤ Ø ≤16 mm	5 Ø	
16 < Ø ≤ 25 mm	8 Ø	
25 < Ø ≤ 40 mm	10 Ø	

L'acciaio per c.a. trafilato a freddo, denominato B450A, dovrà rispettare i requisiti sulle caratteristiche meccaniche previste nella tabella seguente:

Caratteristiche	Classe A	Requisito o frattile (%)
Tensione caratteristica di snervamento f_{yk} (MPa)	≥ 450 ($f_{y\,nom}$)	5.0
Tensione caratteristica di rottura f_{tk} (MPa)	≥ 540 ($f_{t\,nom}$)	5.0
$(f_t/f_y)_k$	≥ 1.05	10.0
$(f_y/f_{y\,nom})_k$	≤ 1.25	10.0
Allungamento $(A_{gt})_k$ (%)	≥ 2.5	10.0
Diametro del mandrino per prove di piegamento a 90° e successivo raddrizzamento senza cricche:		
Ø ≤10 mm	4 Ø	

24.4.3 Reti e tralicci elettrosaldati

Gli acciai delle reti e tralicci elettrosaldati devono essere saldabili. L'interasse delle barre non deve superare, nelle due direzioni, 330 mm. I tralicci e le reti sono prodotti reticolari assemblati in stabilimento mediante elettrosaldature, eseguite da macchine automatiche in tutti i punti di intersezione.
Per le reti ed i tralicci costituiti con acciaio B450C, gli elementi base devono avere diametro che rispetta la limitazione: 6 mm ≤ Ø ≤ 16 mm.
Per le reti ed i tralicci costituiti con acciaio B450A, gli elementi base devono avere diametro che rispetta la limitazione: 5 mm ≤ Ø ≤ 10 mm.
Il rapporto tra i diametri delle barre componenti reti e tralicci deve essere: Ø min / Ø max ≥ 0,6.
I nodi (incroci) delle reti devono resistere ad una forza di distacco determinata in accordo con la UNI EN ISO 15630–2 e pari al 25% della forza di snervamento della barra, da computarsi per quella di diametro maggiore sulla tensione di snervamento pari a 450 N/mm^2.
Oltre a quanto sopra citato, con riferimento ai procedimenti di saldatura non automatizzati ed ai saldatori di reti e tralicci elettrosaldati, si applicano la norma UNI EN ISO 17660-1 per i giunti saldati destinati alla trasmissione dei carichi ed UNI EN 7660-2 per i giunti saldati non destinati alla trasmissione dei carichi.
In ogni elemento di rete o traliccio le singole armature componenti devono essere della stessa classe di acciaio. Nel caso dei tralicci è ammesso l'uso di elementi di collegamento fra correnti superiori ed inferiori aventi superficie liscia purché realizzate con acciaio B450A oppure B450C.

24.4.4 Tolleranze dimensionali

La deviazione ammissibile per la massa nominale per metro deve essere come riportato nella Tab. 11.3.III seguente tratta dalle NTC2018.

Tab. 11.3.III

Diametro nominale, (mm)	$5 \le \phi \le 8$	$8 < \phi \le 40$
Tolleranza in % sulla massa nominale per metro	± 6	± 4,5

24.4.5 Acciai inossidabili

E' ammesso l'impiego di acciai inossidabili di natura austenitica o austeno-ferritica per armature di cemento armato purchè le caratteristiche meccaniche siano conformi alle prescrizioni relative agli acciai da c.a. di cui alla Tabella 11.3.Ib di al § 24.4.1.2 del presente articolo di capitolato con l'avvertenza di sostituire al termine f_t, solo nel calcolo del rapporto f_t / f_y, il termine $f_{7\%}$, tensione corrispondente ad un allungamento totale pari al 7%.

Nel rispetto di quanto sopra detto, gli acciai inossidabili dovranno essere del tipo austenitico denominati con le sigle 1.4306 e 1.4435 della classificazione UNI EN 10088.
La composizione chimica (analisi di colata) degli acciai inossidabili per c.a. sarà quella prevista al prospetto 3 delle norma UNI EN 10088, di cui si riporta uno stralcio:

Sigla UNI EN 10088	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo
1.4306	≤ 0,03%	≤ 2,0%	≤ 1,0%	≤ 0,045%	≤ 0,03%	18÷20	10÷12	-
1.4435	≤ 0,03%	≤ 2,0%	≤ 1,0%	≤ 0,045%	≤ 0,03%	17÷19	12.5÷15	2.5 ÷ 3

La saldabilità di tali acciai va documentata attraverso prove di saldabilità certificata da un laboratorio autorizzato (ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n°380/2001) ed effettuate secondo gli specifici procedimenti di saldature, da utilizzare in cantiere o in officina, previsti dal produttore. Dovranno inoltre risultare positivi gli esiti delle seguenti prove:
- piegamento e raddrizzamento su mandrino;
- indice di aderenza eseguito secondo il metodo "Beam Test".

Per i controlli da effettuare in cantiere vale quanto previsto al § 24.6.

24.4.6 Acciai zincati

La zincatura a caldo degli acciai per c.a., qualora prevista negli elaborati di progetto, è ammessa purché le caratteristiche fisiche, meccaniche e tecnologiche siano conformi alle prescrizioni relative agli acciai B450C e B450A. Il materiale base da sottoporre a zincatura deve essere qualificato all'origine con marcatura aggiuntiva che identifichi lo stabilimento di zincatura.
La zincatura a caldo deve avvenire in conformità alla norma UNI 10662 con massa di zinco per unità di superficie nei limiti di cui al § 6.3.4 della citata norma UNI:
- ≥ 468 g/m^2 (circa 65 µm) per il tondo di diametro 5 mm;
- ≥ 540 g/m^2 (circa 75 µm) per diametri maggiori di 5 mm;
- < 1.070 g/m^2 (circa 150 µm) per tutti i diametri.

24.5 Criteri di accettazione degli acciai per c.a.p.

24.5.1 Caratteristiche dimensionali di impiego per fili, barre, trecce e trefoli

L'acciaio per armature da precompressione deve essere conforme a quanto indicato al § 11.3.3.1 delle NTC2018 ed è generalmente fornito sotto forma di:
- *Filo*: Prodotto trafilato di sezione piena che possa fornirsi in rotoli o in fasci;
- *Barra*: Prodotto laminato di sezione piena che possa fornirsi soltanto in forma di elementi rettilinei, le caratteristiche finali del prodotto possono essere conferite con trattamento termico o meccanico successivo alla laminazione;
- *Treccia*: prodotti formati da 2 o 3 fili trafilati dello stess diametro nomilale avvolti ad elica intorno al loro comune asse longitudinale fornito in rotolo o bobine; passo e senso di avvolgimento dell'elica sono eguali per tutti i fili della treccia;

- *Trefolo*: prodotto formato da 6 fili trafilati avvolti ad elica intorno ad un filo trafilato rettilineo completamente ricoperto dai fili elicoidali, fornito in bobine. Il passo ed il senso di avvolgimento dell'elica sono uguali per tutti i fili di uno stesso strato esterno.

I fili possono essere a sezione trasversale circolare o di altre forme. I fili sono individuati mediante il diametro nominale o il diametro nominale equivalente riferito alla sezione circolare equipesante. La superficie dei fili può essere liscia o improntata.
Non è consentito l'impiego di fili lisci nelle strutture precompresse ad armature pre-tese.
I fili delle trecce possono essere lisci o improntati. I fili dello strato esterno dei trefoli possono essere lisci od improntati.
Il processo di improntatura deve essere completato prima della trecciatura o della trefolatura, rispettivamente per le trecce e per i trefoli. I trefoli compattati possono essere prodotti per trafilatura o laminazione dopo la trefolatura e prima del trattamento termico. Quando la trefolatura e la compattazione sono eseguite contemporaneamente, il filo centrale rettilineo deve avere diametro almeno uguale a quello dei fili esterni.
Le barre possono essere lisce, a filettatura continua o parziale, con risalti o nervature; vengono individuate mediante il diametro nominale nel caso di barre lisce o mediante il diametro nominale equivalente riferito alla sezione circolare equipesante nel caso di barre non lisce. Le barre filettate devono avere filetto con passo uniforme e non superiore a 0,8 volte il diametro nominale. Le barre a filettatura continua o parziale, con risalti o nervature, devono avere geometria superficiale conforme a quanto specificato nel § 11.3.3.5.2.3 delle NTC2018.
I trefoli e le trecce possono essere prodotti e forniti protetti con guaina oppure protetti con cera o grasso, oltre alla guaina. Le caratteristiche delle guaina, della cera e del grasso sono specificate nella norma UNI 7676. Tutti i prodotti possono essere forniti con protezione superficiale costituita da uno strato di zinco. L'operazione di zincatura deve essere eseguita come specificato nelle UNI 7675 ed UNI 7676. Lo spessore dello strato di zinco o la quantità di zinco per unità di lunghezza di prodotto, deve essere verificato secondo quanto specificato nelle UNI 7675 ed UNI 7676.
I fili devono essere forniti in rotoli di diametro tale che, all'atto dello svolgimento, allungati al suolo su un tratto di 10 m non presentino curvatura con freccia superiore a 400 mm; il fabbricante deve indicare il diametro minimo di avvolgimento.
I fili devono essere esenti da saldature. Sono ammesse le saldature di fili destinati alla produzione di trecce e di trefoli se effettuate prima della trafilatura; non sono ammesse saldature durante l'operazione di cordatura.
All'atto della posa in opera gli acciai devono presentarsi privi di ossidazione, corrosione, difetti superficiali visibili, pieghe.
È tollerata un'ossidazione che scompaia totalmente mediante sfregamento con un panno asciutto.
In cantiere non è ammessa alcuna operazione di raddrizzamento.
Con riferimento ai procedimenti di saldatura ed alla qualifica dei saldatori impiegati per giunzioni saldate delle barre, si applicano la norma UNI EN ISO 17660-1 per i giunti saldati destinati alla trasmissione dei carichi ed UNI EN 17660-2 per i giunti saldati non destinati alla trasmissione dei carichi.

24.5.2 Caratteristiche dinamiche, fisiche e geometriche.

Gli acciai per armature da precompressione devono possedere proprietà meccaniche e di duttilità, garantite dal fabbricante, non inferiori a quelle indicate nella successiva Tab. 11.3.VIII tratta dal § 11.3.3.2 delle NTC2018:

Tab. 11.3.VIII

Tipo di acciaio	Barre	Fili	Trefoli e trecce	Trefoli compattati
Tensione caratteristica al carico massimo f_{ptk} N/mm²	≥ 1000	≥ 1570	≥1860	≥ 1820
Tensione caratteristica allo 0,1 % di deformazione residua - scostamento dalla proporzionalità $f_{p(0,1)k}$ N/mm²	na	≥ 1420	na	na
Tensione caratteristica all'1 % di deformazione totale ……$f_{p(1)k}$ N/mm²	na	na	≥1670	≥ 1620
Tensione caratteristiche di snervamento f_{pyk} N/mm²	≥ 800	na	na	na
Allungamento totale percentuale a carico massimo A_{gt}	≥ 3,5	≥ 3,5	≥3,5	≥ 3,5

na=non applicabile

24.5.3 Cadute di tensione per rilassamento

Le cadute di tensione per rilassamento devono essere riferite al valore percentuale ottenuto sperimentalmente dopo 1000 ore dalla messa in tensione (ρ_{1000}). La tensione iniziale (σ_{spi}) di prova deve essere pari al 70% del valore fpt ottenuto come valore medio della tensione al carico massimo ottenuta su due saggi prelevati in adiacenza a quello sottoposto a prova.
Il valore della caduta di rilassamento dopo 1000 ore (ρ1000), non può essere assunto superiore a quello indicato nella tabella 11.3.IX delle NTC2018. In mancanza di specifica sperimentazione, i valori di ρ1000 possono essere tratti dalla citata Tab. 11.3.IX di seguito richiamata:

Tab. 11.3.IX

armatura Prodotto	ρ_{1000}
Trecce, filo o trefolo stabilizzato	2,5
Barre laminate a caldo	4,0

24.5.4 Prodotti inguainati o inguainati e cerati

Trattandosi di ulteriori trasformazioni, è richiesto che gli acciai di partenza (trefoli per calcestruzzo armato precompresso) siano già qualificati secondo le procedure finora descritte. Per le ulteriori caratteristiche (materiale protettivo, quantità, guaine, spessore, ecc…) si rimanda a quanto contenuto nella specifica UNI 7676
Si precisa solo che il cavo inguainato dovrà essere di tipo compatto, costituito da trefolo in fili di acciaio a sezione poligonale, controllati in stabilimento, rivestito con guaina tubolare in polietilene ad alta densità, intasata internamente con grasso anticorrosivo ad alta viscosità, stabile ed idoneo all'uso specifico.
L'Appaltatore dovrà sottoporre alla preventiva approvazione della Direzione Lavori il sistema proposto per l'ingrassaggio, l'infilaggio e l'eventuale sostituzione dei trefoli.

24.5.5 Prodotti zincati

È ammesso l'uso di acciai zincati purché le caratteristiche fisiche, meccaniche e tecnologiche siano conformi alle prescrizioni relative agli acciai di cui al paragrafo §11.3.3 delle NTC2018.
Il materiale base da sottoporre a zincatura deve essere qualificato all'origine. I controlli di accettazione in cantiere e la relativa verifica di quanto sopra indicato, devono essere effettuati sul prodotto finito, dopo il processo di zincatura, presso un laboratorio di cui all'articolo 59 del DPR 380/2001, secondo quanto previsto al § 11.3.3.5.4 delle stesse NTC.
Per le modalità di controllo del rivestimento di zinco (qualità superficiale, adesione del rivestimento, massa di rivestimento per unità di superficie) si può fare riferimento alle norme UNI 7675 e UNI 7676.

24.5.6 Ancoraggi dell'armatura di precompressione

Per i criteri di accettazione, le modalità esecutive e i controlli sugli ancoraggi si rimanda all'art. 21 di questo capitolato.

24.5.7 Tesatura delle armature di precompressione in cantiere

Per i criteri di accettazione, le modalità esecutive e i controlli sulla tesatura delle armature di precompressione in cantiere si rimanda all'art. 21 di questo capitolato.

24.6 Prequalifica dei fornitori di acciaio per c.a. e c.a.p.

L'Appaltatore, prima di approvvigionare le armature, deve prequalificare il fornitore presentando al Direttore dei Lavori per sua approvazione, la seguente documentazione:

- Certificato UNI EN ISO 9001 del sistema di gestione qualità del o dei produttori da cui l'Impresa intenda rifornirsi o delle specifiche unità operative ove l'acciaio viene prodotto, sagomato, assemblato, distribuito;
- Attestato di qualificazione, rilasciato dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici in conformità al § 11.3.1.2 delle NTC2018, per i tipi (450C, 450A, ecc.) e forme (barre o rotoli, reti o tralicci) di acciaio e relativi diametri che si producono negli stabilimenti da cui l'Impresa intenda rifornirsi. La qualificazione ha validità di cinque anni dalla data di rilascio dell'Attestato;
- Attestato di denuncia dell'Attività di centro di trasformazione di cui al § 11.3.1.7 delle NTC2018, rilasciato dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, degli stabilimenti da cui l'Impresa intenda eventualmente rifornirsi.
- Eventuale dichiarazione di prodotto EPD da parte del produttore di acciaio qualora disponibile

24.7 Controlli dei documenti di accompagno delle forniture all'arrivo in cantiere

In accordo al § 11.3.1.5 delle NTC2018, tutte le forniture di acciaio per c.a. e c.a.p., per le quali non sussiste l'obbligo della Marcatura CE, devono essere accompagnate:

- dalla copia dell'attestato di qualificazione del Servizio Tecnico Centrale;
- dal certificato di controllo interno tipo 3.1, di cui alla norma UNI EN 10204, dello specifico lotto di materiale fornito. Il certificato tipo 3.1. è un documento emesso dal fabbricante in cui questi dichiara che i prodotti forniti sono conformi ai requisiti dell'ordine e nel quale fornisce i risultati di prova. L'unità di prova e le prove da eseguire sono definite dalla specifica di prodotto, dal regolamento ufficiale e dalle regole corrispondenti e/o dall'ordine. Il documento è validato dal rappresentante del fabbricante autorizzato per il controllo indipendente dal reparto di fabbricazione. Deve essere possibile per il fabbricante trasferire sul certificato di controllo 3.1 risultati di prova pertinenti ottenuti dal controllo specifico sui prodotti primari o in entrata che utilizza, a condizione che il fabbricante applichi procedure di rintracciabilità e possa fornire documenti di controllo corrispondenti richiesti;
- dal documento di trasporto DDT con riferimento agli attestati comprovanti la qualificazione del prodotto.

Le forniture effettuate da un distributore o commerciante intermedio, devono essere accompagnate da copia dei documenti rilasciati dal fabbricante e completati con il riferimento al documento di trasporto del distributore o commerciante intermedio stesso.

Ogni fornitura in cantiere di acciaio per c.a. o c.a.p., proveniente da un Centro di trasformazione, deve essere accompagnata:

a) da dichiarazione, su documento di trasporto, degli estremi dell'Attestato di "Denuncia dell'attività del centro di trasformazione", rilasciato dal Servizio Tecnico Centrale, recante il logo o il marchio del centro di trasformazione;
b) dall'attestazione inerente l'esecuzione delle prove di controllo interno di cui ai paragrafi specifici relativi a ciascun prodotto (§ 11.3.2.10.3, § 11.3.3.5.3, § 11.3.4.11.2 delle NTC2018), fatte eseguire dal Direttore Tecnico del centro di trasformazione, con l'indicazione dei giorni nei quali la fornitura è stata lavorata. Qualora il Direttore dei Lavori lo richieda, può prendere visione del Registro di cui al § 11.3.2.10.3;
c) da dichiarazione contenente i riferimenti alla documentazione fornita dal fabbricante ai sensi del § 11.3.1.5 in relazione ai prodotti utilizzati nell'ambito della specifica fornitura. Copia della documentazione fornita dal fabbricante e citata nella dichiarazione del centro di trasformazione, è consegnata al Direttore dei Lavori se richiesta.

Il Direttore dei Lavori, prima della messa in opera, è tenuto a verificare quanto sopra indicato e a rifiutare o ad allontanare dal cantiere le eventuali forniture non conformi a cura e spese dell'Appaltatore, ferme restando le responsabilità del fabbricante e del Centro di trasformazione.
Si prescrive anche l'obbligo di mantenere compilato ed aggiornato un registro di tutte le armature che man mano giungono in cantiere in modo da garantire sempre la rintracciabilità tra i DdT, le certificazioni, la parte d'opera in cui vengono posati e le relative quantità.
I documenti citati devono essere consegnati settimanalmente alla Direzione Lavori.

24.8 Prove e prelievi in cantiere per l'accettazione degli acciai - condizioni generali

I controlli di accettazione in cantiere sono obbligatori e devono essere effettuati, entro 30 giorni dalla data di consegna del materiale, a cura di un laboratorio di cui all'art. 59 del DPR n. 380/2001.
Essi devono essere eseguiti in ragione di 3 campioni ogni 30 t di acciaio impiegato della stessa classe proveniente dallo stesso stabilimento o Centro di trasformazione, anche se con forniture successive.
Il prelievo dei campioni va eseguito a cura dell'Appaltatore alla presenza del Direttore dei Lavori o di un tecnico di sua fiducia che provvede alla redazione di apposito verbale di prelievo ed alla identificazione dei provini mediante sigle, etichettature indelebili, ecc. Il prelievo potrà anche essere eseguito dallo stesso laboratorio incaricato della esecuzione delle prove.
Qualora la fornitura di elementi sagomati o assemblati, provenga da un Centro di trasformazione, il Direttore dei Lavori può recarsi presso il medesimo Centro di trasformazione ed effettuare in stabilimento tutti i controlli di accettazione prescritti al presente paragrafo. In tal caso il prelievo dei campioni viene effettuato dal Direttore Tecnico del Centro di trasformazione secondo le disposizioni del Direttore dei Lavori; quest'ultimo deve assicurare, mediante sigle, etichettature indelebili, ecc., che i campioni inviati per le prove da effettuarsi presso il laboratorio di cui all'art. 59 del DPR n. 380/2001 incaricato delle prove di accettazione in cantiere, siano effettivamente quelli prelevati, nonché sottoscrivere la relativa richiesta di prove contenente l'indicazione delle strutture cui si riferisce ciascun prelievo.
La richiesta di prove al laboratorio incaricato deve essere sempre firmata dal Direttore dei Lavori, che rimane anche responsabile della trasmissione dei campioni che nel caso di prelievi eseguiti presso Centro di trasformazione è delegata al Direttore Tecnico dello stabilimento.
Resta nella discrezionalità del Direttore dei Lavori effettuare tutti gli eventuali ulteriori controlli ritenuti opportuni.

24.8.1 Acciaio da calcestruzzo armato normale

I campioni devono essere ricavati da barre di uno stesso diametro o della stessa tipologia (in termini di diametro e dimensioni) per reti e tralicci, e recare il marchio di provenienza. Tali campioni possono essere, su richiesta del Direttore dei Lavori al Direttore Tecnico del Centro di trasformazione, preparati direttamente nello stabilimento senza che in cantiere si debba eseguire tagli ed avere inutili sfridi. Al ricevimento in cantiere il Direttore dei Lavori provvederà al prelievo dei campioni e alla spedizione al laboratorio ufficiale incaricato.
I valori di resistenza ed allungamento di ciascun campione, accertati in applicazione della norma UNI EN ISO 15630-1 e in accordo con il § 11.3.2.3, da eseguirsi comunque prima della messa in opera del prodotto riferiti ad uno stesso diametro, devono essere compresi fra i valori massimi e minimi riportati nelle tabelle seguenti tratte dalle NTC2018, rispettivamente per barre e reti e tralicci.
Le prove di resistenza al distacco offerta dalla saldatura del nodo, determinata forzando con idoneo dispositivo il filo trasversale nella direzione di quello longitudinale posto in trazione sono da effettuarsi secondo la norma UNI EN 10080 per i tralicci e secondo la norma UNI EN ISO 15630-2 per le reti elettrosaldate.

Tab. 11.3.VII a) – *Valori di accettazione in cantiere – barre*

Caratteristica	Valore limite	Note
f_y minimo	425 N/mm²	per acciai B450A e B450C
f_y massimo	572 N/mm²	per acciai B450A e B450C
A_{gt} minimo	≥ 6,0%	per acciai B450C
A_{gt} minimo	≥ 2,0%	per acciai B450A
f_t / f_y	$1,13 \le f_t / f_y \le 1,37$	per acciai B450C
f_t / f_y	$f_t / f_y \ge 1,03$	per acciai B450A
Piegamento/raddrizzamento	assenza di cricche	per acciai B450A e B450C

Tab. 11.3.VII b) – *Valori di accettazione in cantiere – reti e tralicci*

Caratteristica	Valore limite	Note
f_y minimo	425 N/mm²	per acciai B450A e B450C
f_y massimo	572 N/mm²	per acciai B450A e B450C
A_{gt} minimo	≥ 6,0%	per acciai B450C
A_{gt} minimo	≥ 2,0%	per acciai B450A
f_t / f_y	$1,13 \le f_t / f_y \le 1,37$	per acciai B450C
f_t / f_y	$f_t / f_y \ge 1,03$	per acciai B450A
Distacco del nodo	≥ Sez. nom. Ø maggiore × 450 × 25%	per acciai B450A e B450C

Occorre infine eseguire le prove per la verifica dell'analisi chimico fisica dell'acciaio nel rispetto dei contenuti di cui al § 24.4.1.1 secondo UNI EN 10315, UNI EN ISO 15350 o al CR 10320.
Qualora il risultato non sia conforme a quello dichiarato dal fabbricante, il Direttore dei Lavori dispone la ripetizione della prova su 6 ulteriori campioni dello stesso diametro.
Ove anche da tale accertamento i limiti dichiarati non risultino rispettati, il controllo deve estendersi, previo avviso al fabbricante nel caso di fornitura di acciaio non lavorato presso un centro di

trasformazione, o al centro di trasformazione, a 25 campioni, applicando ai dati ottenuti la formula generale valida per controlli sistematici in stabilimento (§ 11.3.2.10.1.3 NTC2018).
L'ulteriore risultato negativo comporta l'inidoneità della partita e la trasmissione dei risultati da parte del Direttore dei Lavori al fabbricante, nel caso di fornitura di acciaio non lavorato presso un centro di trasformazione, o al centro di trasformazione, che sarà tenuto a farli inserire tra i risultati dei controlli statistici della sua produzione. Analoghe norme si applicano ai controlli di duttilità, aderenza e distacco al nodo saldato: un singolo risultato negativo sul primo prelievo comporta l'esame di sei nuovi campioni dello stesso diametro, un ulteriore singolo risultato negativo comporta l'inidoneità della partita.
Inoltre il Direttore dei Lavori deve comunicare il risultato anomalo al Servizio tecnico centrale. I certificati di prova emessi dai laboratori devono contenere tutte le indicazioni elencate nel par. 11.3.2.12 del D.M. 17.01.2018 e la verifica delle tolleranze dimensionali riportate al par. 11.3.2.7 del medesimo D.M.

24.8.2 Acciaio da calcestruzzo armato precompresso

Si determinano i corrispondenti valori minimi di f_{pt}, f_{py}, $f_{p(1)}$, $f_{p(0,1)}$, A_{gt} e E_p secondo le norme UNI EN ISO 15630-1, 2 e 3. I risultati delle prove sono considerati accettabili se:

- nessuno dei valori di tensione sopra indicati è inferiore al corrispondente valore caratteristico dichiarato dal fabbricante;
- tutti i valori di tensione al carico massimo f_{pt} non superano il valore caratteristico f_{ptk} corrispondente, incrementato del 15%.
- tutti i valori dell'allungamento totale percentuale al carico massimo Agt non sono inferiori al limite della seguente Tab 11.3.VIII tratta dalle NTC2018.

Tab. 11.3.VIII

Tipo di acciaio	Barre	Fili	Trefoli e trecce	Trefoli compattati
Tensione caratteristica al carico massimo f_{ptk} N/mm²	≥ 1000	≥ 1570	≥1860	≥ 1820
Tensione caratteristica allo 0,1 % di deformazione residua - scostamento dalla proporzionalità $f_{p(0,1)k}$ N/mm²	na	≥ 1420	na	na
Tensione caratteristica all'1 % di deformazione totale ……$f_{p(1)k}$ N/mm²	na	na	≥1670	≥ 1620
Tensione caratteristiche di snervamento f_{pyk} N/mm²	≥ 800	na	na	na
Allungamento totale percentuale a carico massimo A_{gt}	≥ 3,5	≥ 3,5	≥3,5	≥ 3,5

na=non applicabile

Nel caso che anche uno solo dei valori delle tensioni o dell'allungamento totale percentuale al carico massimo non rispetti la corrispondente condizione, verranno eseguite prove supplementari su un campione costituito da almeno 10 saggi prelevati da altrettanti rotoli, bobine o fasci. Se il numero dei rotoli, bobine o fasci è inferiore a 10, da alcuni fasci sono prelevati due saggi da due barre diverse, mentre da alcuni rotoli o bobine verranno prelevati due saggi, uno da ciascuna estremità.
Ogni saggio deve recare contrassegni atti ad individuare il lotto ed il rotolo, bobina o fascio di provenienza.
Effettuato il prelievo supplementare si determinano, mediante prove effettuate sempre presso un laboratorio di cui all'art. 59 del DPR n. 380/2001, i valori di f_{pt}, f_{py}, $f_{p(1)}$, $f_{p(0,1)}$, A_{gt} e E_p.
La fornitura è considerata conforme se:

- la media dei risultati ottenuti per le grandezze f_{pt}, f_{py}, $f_{p(1)}$, $f_{p(0,1)}$ sugli ulteriori saggi è almeno uguale al valore caratteristico garantito dal fabbricante e i singoli valori sono superiori allo stesso valore caratteristico garantito, diminuito del 1,5%;

- la media dei risultati ottenuti per la grandezza fpt sui 10 ulteriori saggi è al massimo uguale a 1,15 volte il valore caratteristico f_{ptk} garantito dal fabbricante e i singoli valori sono inferiori allo stesso limite, incrementato del 1,5%;
- la media dei risultati ottenuti per la grandezza Agt sui 10 ulteriori saggi è al minimo uguale al limite indicato nella Tab. 11.3.VIII tratta dalle NTC2018 e i singoli valori sono superiori allo stesso limite, diminuito del 5%.

L'ulteriore risultato negativo comporta l'inidoneità della fornitura e la trasmissione dei risultati da parte del Direttore dei Lavori al fabbricante, nel caso di fornitura di acciaio non lavorato presso un centro di trasformazione, o al centro di trasformazione, che sarà tenuto a farli inserire tra i risultati dei controlli statistici della sua produzione.

24.8.3 Verifiche sulle zincature

Oltre alle prove previste ai § 24.6.1 e 24.6.2, dirette a verificare la resistenza dei materiali, dovranno essere effettuate anche le prove di seguito descritte, per verificare la rispondenza del trattamento di zincatura alle prescrizioni delle norme tecniche di riferimento UNI 10622 e ed UNI EN ISO 1461.
In primo luogo la Direzione Lavori procederà in contraddittorio con l'Appaltatore ad un'accurata ispezione visiva della partita per accertare lo stato della zincatura. Le caratteristiche del rivestimento dovranno soddisfare i seguenti requisiti:

- Aspetto:

  Il rivestimento sui prodotti zincati a caldo deve essere compatto ed uniforme, privo di zone scoperte, di bolle, di macchie di flusso, di inclusioni, di scorie, di macchie acide o nere; possono essere ammesse delle discontinuità nello spessore di zinco con ispessimenti, in particolare alla base delle nervature, pur nel rispetto dei parametri di forma delle norme di prodotto di riferimento per barre ad aderenza migliorata.
- Adesione:

  Il rivestimento di zinco deve essere ben aderente alle barre di armatura, in modo da non poter essere rimosso da ogni usuale processo di movimentazione, lavorazione e posa in opera.
- Massa di zinco:

  La massa di zinco per unità di superficie dovrà corrispondere ai requisiti del punto 6.3.4 delle norme UNI 10622 riportate per comodità di consultazione al § 24.4.1.6.
- Continuità del rivestimento:

  La continuità del rivestimento deve essere tale che il valore caratteristico dello spessore del rivestimento sia maggiore o uguale a 360 g/mq (circa 50 μm).

In seguito alle operazioni di zincatura, le barre non devono presentarsi incollate fra loro e barre che presentano gocce e/o punte aguzze saranno rifiutate. In presenza di zone scoperte o di altre irregolarità superficiali le partite saranno rifiutate e l'Appaltatore dovrà allontanarle dal cantiere a sua cura e spese.

- Determinazione dell'adesione del rivestimento di zinco mediante una prova di piegamento o di non fragilità (secondo norma di riferimento per barre da c.a.); dopo tale prova il rivestimento non deve presentare nella zona di massima curvatura distacco del rivestimento di zinco.
- Determinazione della massa di zinco: per la determinazione della massa di zinco per unità di superficie possono essere impiegati due metodi:
  a) Metodo per dissoluzione chimica (distruttivo) secondo UNI EN ISO 1460.
  b) Misura magnetica dello spessore del rivestimento (non distruttiva) secondo la UNI ISO 2178.
- Verifica dell'uniformità del rivestimento: l'uniformità dello strato di zincatura sarà verificato con il metodo di prova della UNI 11406 (Metodo di Preece).

Le unità non accettabili, per qualsiasi carenza, saranno rifiutate e dovranno essere allontanate dal cantiere a cura e spese dell'Appaltatore.

24.8.4 Modalità esecutive e controlli in corso d'opera

Per quanto riguarda le modalità esecutive per la posa delle armature per c.a. e c.a.p. si rimanda alle indicazioni di cui ai §§ 20.12.4.1 e 20.12.4.2. L'Impresa non potrà eseguire le operazioni di getto se la Direzione Lavori non avrà eseguito, con esito posito, le verifiche del rispetto delle condizioni di posa cui ai citati paragrafi come specificato anche nel § 20.12.5.

Art. 25 CAM - Acciaio per strutture metalliche e per strutture composte acciaio calcestruzzo

25.1 Campo di applicazione

Questo articolo di capitolato si applica a tutte le carpenterie metalliche avente funzione strutturale ed utilizzate per la realizzazione di impalcati stradali, gallerie foniche, passerelle barriere acustiche e integrate (per quanto non in contrasto con quello prescritto al § 36.2.9 e 36.2.10 e ad esclusione della parte afferente le barriere di sicurezza), pensiline di stazione, pali e portali di segnaletica, portali a messaggio variabile (PMV e PMF), torri faro, tettoie, edifici, centine e centinini per gallerie ed in generale qualsiasi elemento strutturale con processo di assemblaggio in stabilimento.
Le strutture metalliche dovranno sempre prevedere una protezione contro la corrosione che sarà individuata negli elaborati progettuali e potrà essere realizzata direttamente con l'utilizzo di un acciaio autoprotetto o tramite verniciatura o zincatura nelle modalità previste nell'art. 25bis.

25.2 Normativa di riferimento

- Decreto 5 agosto 2024, recante "Adozione dei criteri ambientali minimi per l'affidamento del servizio di progettazione ed esecuzione dei lavori di costruzione, manutenzione e adeguamento delle infrastrutture stradali (CAM Strade e s.m.i)".
- NTC 2018 § 11.3.1 Generalità comuni a tutte le tipologie di acciaio
  § 11.3.4 Acciaio per strutture metalliche e per strutture composte

Norme per la valutazione della conformità e delle condizioni di fornitura

- UNI EN 1090-1: Esecuzione di strutture di acciaio e di alluminio - Parte 1: Requisiti per la valutazione di conformità dei componenti strutturali
- UNI EN 1090-2: Esecuzione di strutture di acciaio e di alluminio - Parte 2: Requisiti tecnici per strutture di acciaio
- UNI EN 10025-1: Prodotti laminati a caldo di acciai per impieghi strutturali - Parte 1: Condizioni tecniche generali di fornitura
- UNI EN 10025-2: Prodotti laminati a caldo di acciai per impieghi strutturali - Parte 2: Condizioni tecniche di fornitura di acciai non legati per impieghi strutturali
- UNI EN 10025-3: Prodotti laminati a caldo di acciai per impieghi strutturali - Parte 3: Condizioni tecniche di fornitura di acciai per impieghi strutturali saldabili a grano fine allo stato normalizzato/normalizzato laminato
- UNI EN 10025-4: Prodotti laminati a caldo di acciai per impieghi strutturali - Parte 4: Condizioni tecniche di fornitura di acciai saldabili a grano fine per impieghi strutturali ottenuti mediante laminazione termomeccanica
- UNI EN 10025-5: Prodotti laminati a caldo di acciai per impieghi strutturali - Parte 5: Condizioni tecniche di fornitura di acciai con resistenza migliorata alla corrosione atmosferica per impieghi strutturali
- UNI EN 10210-1: Profilati cavi finiti a caldo di acciai non legati e a grano fine per impieghi strutturali - Parte 1: Condizioni tecniche di fornitura
- UNI EN 10219-1: Profilati cavi saldati formati a freddo per impieghi strutturali di acciai non legati e a grano fine - Parte 1: Condizioni tecniche di fornitura
- UNI EN 10088-4: Acciai inossidabili - Parte 4: Condizioni tecniche di fornitura dei fogli, delle lamiere e dei nastri di acciaio resistente alla corrosione per impieghi nelle costruzioni
- UNI EN 10088-5: Acciai inossidabili - Parte 5: Condizioni tecniche di fornitura delle barre, vergelle, filo, profilati e prodotti trasformati a freddo di acciaio resistente alla corrosione per impieghi nelle costruzioni

- UNI EN 14399-1: Assiemi di bulloneria strutturale ad alta resistenza da precarico - Parte 1: Requisiti generali per assiemi strutturali di viti, dadi e rondelle ad alta resistenza adatti ad un precarico determinato
- UNI EN 14399-3: Assiemi di bulloneria strutturale ad alta resistenza da precarico - Parte 3: Sistema HR - Assiemi vite e dado esagonali
- UNI EN 14399-4: Assiemi di bulloneria strutturale ad alta resistenza da precarico - Parte 4: Sistema HV - Assiemi vite e dado esagonali
- UNI EN 14399-10: Assiemi di bulloneria strutturale ad alta resistenza da precarico - Parte 10: Sistema HRC - Assiemi vite e dado con serraggio calibrato

Prove per l'accertamento delle caratteristiche meccaniche e chimiche

- UNI EN ISO 377: Acciaio e prodotti di acciaio - Prelievo e preparazione dei campioni e dei provini per prove meccaniche
- UNI EN ISO 6892-1: Materiali metallici - Prova di trazione - Parte 1: Metodo di prova a temperatura ambiente
- UNI EN ISO 148-1: Materiali metallici - Prova di resilienza Charpy - Parte 1: Metodo di prova
- UNI EN 10315: Metodi di routine per l'analisi di acciai alto legati per spettrometria di luorescenza ai raggi X mediante un metodo di correzione
- UNI EN ISO 15350 Acciai e ghise - Determinazione del contenuto totale di carbonio e di zolfo - Metodo di assorbimento nell'infrarosso dopo combustione in un forno a induzione (metodo di routine)
- CR 10320: Optical emission analysis of low alloy steels (routine method) - Method for determination of C, Si, S, P, Mn, Cr, Ni and Cu
- UNI EN 14399-2: Assiemi di bulloneria strutturale ad alta resistenza da precarico - Parte 2: Idoneità al precarico
- UNI EN ISO 898-1: Caratteristiche meccaniche degli elementi di collegamento di acciaio - Parte 1: Viti e viti prigioniere con classi di resistenza specificate - Filettature a passo grosso e a passo fine
- UNI EN ISO 898-2: Caratteristiche meccaniche degli elementi di collegamento di acciaio al carbonio e acciaio legato - Parte 2: Dadi con classi di resistenza specificate - Filettatura a passo grosso e filettatura a passo fine
- UNI EN ISO 6507-1: Materiali metallici - Prova di durezza Vickers - Parte 1: Metodo di prova
- UNI EN ISO 6508-1: Materiali metallici - Prova di durezza Rockwell - Parte 1: metodo di prova

25.3 Criteri di accettazione per la produzione, qualifica e trasformazione degli acciai

25.3.1 Generalità sulla conformità degli acciai

Per la realizzazione di strutture metalliche e di strutture composte oggetto della presente voce di capitolato si dovranno utilizzare esclusivamente acciai dotati di marcatura CE in conformità alla seguenti norme europee armonizzate:

- UNI EN 10025-1 per i prodotti laminati a caldo con sistema di attestazione della conformità di tipo 2+;
- UNI EN 10210-1 per i tubi senza saldatura formati a caldo con sistema di attestazione della conformità di tipo 2+;
- UNI EN 10219-1 per i profilati cavi saldati formati a freddo con sistema di attestazione della conformità di tipo 2+.

Solo per i prodotti per cui non sia applicabile la marcatura CE si rimanda a quanto specificato al punto B del § 11.1 e in tal caso i produttori di nastri e lamiere in acciaio devono:

- organizzare la produzione con un sistema permanente di controllo interno della produzione in stabilimento che deve assicurare il mantenimento dello stesso livello di affidabilità nella conformità del prodotto finito, indipendentemente dal processo di produzione ed essere in possesso del Certificato UNI EN ISO 9001 del sistema di gestione qualità e certificato da parte di un organismo terzo indipendente, di adeguata competenza ed organizzazione, che opera in coerenza con le norme UNI CEI EN ISO/IEC 17021-1;
- essere in possesso dell'Attestato di qualificazione, rilasciato dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici in conformità al § 11.3.1.2 delle NTC2018. L'Attestato di qualificazione ha validità di cinque anni, tuttavia, i produttori con cadenza annuale, devono procedere al mantenimento di detto Attestato nei modi indicati al § 11.3.1.3 e all'esecuzione di tutti i controlli e prove di laboratorio sugli acciai di cui al § 11.3.4.11 delle NTC2018;
- garantire l'identificazione e la rintracciabilità dei prodotti qualificati tramite marchiatura indelebile depositata presso il Servizio Tecnico Centrale, dalla quale risulti, in modo inequivocabile, il riferimento all'Azienda produttrice, allo Stabilimento, al tipo di acciaio ed alla sua eventuale saldabilità (§ 11.3.1.4 NTC2018). Ogni prodotto deve essere marchiato con identificativi diversi sia da quelli di prodotti fabbricati nello stesso stabilimento ma aventi differenti caratteristiche, sia da quelli di prodotti con uguali caratteristiche ma fabbricati in altri stabilimenti, siano essi o meno dello stesso fabbricante. La marchiatura deve essere inalterabile nel tempo e senza possibilità di manomissione.

Per la conformità di eventuali elementi di carpenteria non riferibili ad una norma armonizzata di marcatura CE, occorre riferirsi a quanto indicato al § 24.3 valido per gli acciai in c.a. e c.a.p. conformemente a quanto specificato al punto B del § 11.1 delle NTC2018 con l'applicazione della procedura di cui ai § 11.3.1.2 e § 11.3.4.11.1.

25.3.2 Contenuto di materia recuperata, ovvero riciclata, ovvero di sottoprodotti per l'acciao e di CO2 equivalente per unità di prodotto.

Salvo diverse specifiche contenute negli elaborati di progetto esecutivo e riassunte nella relazione CAM (criterio 1.1. del D.M.), si riportano di seguito i contenuti minimi per l'applicazione dei criteri ai sensi del D.M. 5 agosto 2024 (CAM Strade).
Per tutte le tipologie di acciaio disciplinate dal presente articolo l'acciaio approvvigionato (anche di manufatti prefabbricati) per usi strutturali e non strutturali deve rispettare un contenuto minimo di materia recuperata, ovvero riciclata, ovvero di sottoprodotti, inteso come la somma delle tre frazioni, come segue:

Acciaio per usi strutturali:

- Acciaio da forno elettrico non legato: contenuto minimo pari al 75%.
- Acciaio da forno elettrico legato: contenuto minimo pari al 60%.
- Acciaio da ciclo integrale: contenuto minimo pari al 12%.

Acciaio per usi non strutturali:

- Acciaio da forno elettrico non legato: contenuto minimo pari al 65%.
- Acciaio da forno elettrico legato: contenuto minimo pari al 60%.
- Acciaio da ciclo integrale: contenuto minimo pari al 12%.

Con il termine "acciaio da forno elettrico legato" si intendono gli "acciai inossidabili" e gli "altri acciai legati" ai sensi della norma tecnica UNI EN 10020, e gli "acciai alto legati da EAF" ai sensi del Regolamento delegato (UE) 2019/331 della Commissione.

I prodotti finiti consegnati in cantiere possono essere costituiti da una o più tipologie di acciaio. In questi casi, ogni materiale base d'origine deve essere conforme ai criteri di provenienza e alle percentuali minime di materia riciclata, recuperata o sottoprodotti sopra indicate.

Il contenuto di materia riciclata ovvero recuperata ovvero di sottoprodotti è dimostrato tramite una delle seguenti opzioni, producendo il relativo certificato nel quale sia chiaramente riportato il numero dello stesso, il valore percentuale richiesto, il nome del prodotto certificato, le date di rilascio e di scadenza:

- una dichiarazione ambientale di Prodotto di Tipo III (EPD), conforme alla norma UNI EN 15804 e alla norma UNI EN ISO 14025, quali ad esempio lo schema internazionale EPD© o EPDItaly©, con indicazione della percentuale di materiale riciclato ovvero recuperato ovvero di sottoprodotti, specificandone la metodologia di calcolo;
- certificazione "ReMade in Italy®" con indicazione in etichetta della percentuale di materiale riciclato ovvero di sottoprodotto;
- una certificazione di prodotto, basata sulla tracciabilità dei materiali e sul bilancio di massa, rilasciata da un organismo di valutazione della conformità, con l'indicazione della percentuale di materiale riciclato ovvero recuperato ovvero di sottoprodotti;
- una certificazione di prodotto, rilasciata da un Organismo di valutazione della conformità, in conformità alla prassi UNI/PdR 88 "Requisiti di verifica del contenuto di riciclato e/o recuperato e/o sottoprodotto, presente nei prodotti", qualora il materiale rientri nel campo di applicazione di tale prassi.

Sono fatte salve le asserzioni ambientali auto-dichiarate, conformi alla norma UNI EN ISO 14021, validate da un organismo di valutazione della conformità, in corso di validità ed eventuali ulteriori certificazioni e dichiarazioni equivalenti a quanto sopra specificato.
Laddove disponibile, dovrà inoltre essere fornita dal Produttore, qualora non presente nei documenti sopra menzionati, una dichiarazione rilasciata da un ente terzo di certificazione che attesti il quantitativo di CO_2 equivalente per unità di prodotto determinata secondo il metodo LCA.

25.3.2.1 Acciaio inossidabile

È consentito l'impiego di acciaio inossidabile per la realizzazione di strutture metalliche e composte. Si dovranno utilizzare acciai conformi alle norme armonizzate UNI EN 10088-4 e UNI EN 10088-5, recanti la Marcatura CE e per i quali si rimanda a quanto specificato al punto A del § 11.1 delle NTC2018.

25.3.2.2 Acciaio per strutture saldate

Gli acciai per strutture saldate devono avere composizione chimica conforme a quanto riportato nelle norme europee armonizzate applicabili, di cui al § 25.3.1.

25.3.3 Obblighi per i centri di trasformazione e centri di produzione di elementi in acciao

Nell'ambito degli acciai per carpenteria metallica, per i prodotti e/o componenti strutturali per cui non sia applicabile la marcatura CE, si definiscono: *centri di trasformazione per carpenteria metallica* e *centri di produzione di elementi in acciaio*.

Nel caso in cui gli elementi base di acciaio (prodotti lunghi e/o piani di lamiere grecate e profilati formati a freddo, prodotti base per bulloni e chiodi, elementi strutturali di serie) vengano spediti dal produttore (detto appunto di elementi base in acciaio) a dei centri esterni alla fabbrica, per realizzare elementi singoli prelavorati che vengono successivamente utilizzati dalle officine di produzione di

carpenteria metallica (per realizzare a loro volta strutture complesse nell'ambito elle costruzioni), tali luoghi sono definiti *centri di trasformazione per carpenteria metallica*. Tali luoghi si suddivisono in *centri di prelavorazione o di servizio* o *officine di produzione di carpenterie metalliche*.
I centri di trasformazione *per carpenteria metallica* devono:

- dotarsi di un sistema di controllo della lavorazione allo scopo di garantire che le lavorazioni effettuate assicurino il mantenimento della conformità delle caratteristiche meccaniche e geometriche dei prodotti alle presenti norme. Il sistema di gestione della qualità del prodotto, che sovrintende al processo di trasformazione, deve essere predisposto in coerenza con la norma UNI EN ISO 9001 certificato da parte di un organismo terzo indipendente, di adeguata competenza ed organizzazione, che opera in coerenza con la norma UNI CEI EN ISO/IEC 17021-1;
- dichiarare al Servizio Tecnico Centrale la loro attività nelle modalità definite nel § 11.3.1.7 delle NTC2018 ed ottenere dallo stesso Servizio Tecnico Centrale l'Attestato di denuncia dell'Attività di centro di trasformazione. I centri di trasformazione sono tenuti a comunicare ogni variazione rispetto a quanto dichiarato in sede di presentazione della denuncia di attività;
- mantenere l'identificazione e la rintracciabilità dei prodotti dalla quale risulti, in modo inequivocabile, il riferimento all'Azienda produttrice, allo Stabilimento, al tipo di acciaio ed alla sua eventuale saldabilità. Qualora, l'unità marchiata (pezzo singolo o confezione) venga scorporata, per cui una parte, o il tutto, perda l'originale marchiatura del prodotto è responsabilità del centro di trasformazione documentare la provenienza mediante i documenti di accompagnamento del materiale e gli estremi del deposito del marchio presso il Servizio Tecnico Centrale;
- far eseguire da laboratori di cui all'art. 59 del D.P.R. 380/2001 le prove indicate negli specifici paragrafi relativi a ciascun prodotto in acciaio (§11.3.4.11.2 delle NTC2018) e devono comunicare al Servizio Tecnico Centrale le eventuali variazioni apportate al processo di produzione depositato;

I centri di produzione di elementi in acciaio sono:

- *centri di produzione di prodotti formati a freddo e lamiere grecate*: tutti quegli impianti che ricevono dai produttori di acciaio nastri o lamiere e realizzano profilati formati a freddo, lamiere grecate e pannelli composti profilati, ivi compresi quelli saldati che però non siano sottoposti a successive modifiche o trattamenti termici. Per quanto riguarda i materiali soggetti a lavorazione, può farsi utile riferimento, oltre a quanto richiamato in precedenza, anche alle norme UNI EN 10346, UNI EN 10268 ed UNI EN 10149 (parti 1, 2 e 3);
- *le officine per la produzione di bulloni e chiodi*: tutti quegli impianti che ricevono dai produttori di acciaio prodotti base e realizzano bulloni e chiodi di cui al § 11.3.4.6 delle NTC2018;
- *le officine di produzione di elementi strutturali:* tutti quegli impianti che ricevono dai produttori di acciaio prodotti base qualificati e realizzano elementi strutturali in serie per l'impiego nelle costruzioni non ricadenti nelle precedenti categorie.

Per i centri di produzione di elementi in acciaio, oltre agli obblighi validi per i centri di trasformazione sopra elencati, si applicano anche gli obblighi del produttore di elementi base di cui al precedente § 25.3.1.

25.3.4 Classe di esecuzione della struttura

Il progetto definisce il livello di qualità di realizzazione dell'opera richiesto individuando la classe di esecuzione dell'opera tra quelle previste al §4.1.2 della norma UNI EN 1090-2 come richiesto al §

4.2 delle NTC2018. Le classi possibili vanno da 1 a 4 con livello crescente: EXC1, EXC2, EXC3, EXC4 e sono attribuite in funzione delle conseguenze, in termini di perdita di vite umane e danni economici, di un collasso o di un malfunzionamento delle opere, in funzione della severità delle azioni ambientali alle quali le opere sono soggette e in funzione della tipologia costruttiva adottata. Una struttura può avere anche diverse EXC per diverse sue parti.
L'Appaltatore è tenuto ad applicare alle strutture fornite le prescrizioni stabilite dalla UNI EN 1090-2 per la classe di esecuzione assegnata.
I requisiti specifici per ciascuna delle classi di esecuzione sono indicati al prospetto A.3 della norma UNI EN 1090-2
di carpenteria metallica oggetto del presente articolo di capitolato:

prospetto A.3 **Requisiti per ciascuna classe di esecuzione**

Punti	EXC1	EXC2	EXC3	EXC4
4 - Specifiche e documentazione				
4.2 Documentazione del costruttore				
4.2.1 Documentazione sulla qualità [PC]	Nr	Sì	Sì	Sì
5 - Prodotti costituenti				
5.2 Identificazione, documenti di ispezione e rintracciabilità				
Rintracciabilità [PC]	Nr	Sì (per marcatura)	Sì (dal ricevimento al passaggio di consegne)	Sì (dal ricevimento al passaggio di consegne)
Marcatura [PC]	Nr	Sì	Sì	Sì
6 - Preparazione e assemblaggio				
6.4 Taglio				
6.4.3 Taglio termico [PC]	Vedere prospetto 9	Vedere prospetto 9	Vedere prospetto 9	Vedere prospetto 9
7 - Saldatura				
7.1 Generalità				
7.1 Generalità [PC]	EN ISO 3834-4	EN ISO 3834-3	EN ISO 3834-2	EN ISO 3834-2
7.4 Qualificazione delle procedure di saldatura e del personale addetto alla saldatura				
7.4.1 Qualificazione delle procedure di saldatura				
7.4.1.1 Generalità [PC]	Istruzioni di lavoro appropriate (se specificate per l'utilizzo)	Vedere EN ISO 3834-3	Vedere EN ISO 3834-2	Vedere EN ISO 3834-2
7.4.1.2 Qualificazione delle procedure di saldatura [PC]	Nr	Vedere prospetto 12	Vedere prospetto 12	Vedere prospetto 12
7.4.2.1 Saldatori e operatori di saldatura [PC]	Frequenza di riconvalida specificata	Vedere EN ISO 3834-3	Vedere EN ISO 3834-2	Vedere EN ISO 3834-2
7.4.3 Coordinamento delle attività di saldatura [PC]	Supervisione sufficiente	Conoscenze tecniche secondo i prospetti 14 o 15	Conoscenze tecniche secondo i prospetti 14 o 15	Conoscenze tecniche secondo i prospetti 14 o 15
7.5 Preparazione ed esecuzione della saldatura				
7.5.1 Preparazione del giunto				
7.5.1.1 Generalità [PC]	Nr	Primer di prefabbricazione non ammessi se non sottoposti a prova	Primer di prefabbricazione non ammessi se non sottoposti a prova	Primer di prefabbricazione non ammessi se non sottoposti a prova
7.5.6 Attacchi temporanei [PS]	Nr	Nr	Possono essere specificate restrizioni sull'utilizzo	Possono essere specificate restrizioni sull'utilizzo
7.5.7 Saldature di puntatura [PC]	Nr	Procedura di saldatura qualificata	Procedura di saldatura qualificata	Procedura di saldatura qualificata

ONSULTAZ

Punti	EXC1	EXC2	EXC3	EXC4
7.5.9 Saldature di testa				
7.5.9.1 Generalità [PC]	Nr	Pezzi di inizio saldatura e di fine saldatura per saldature di testa trasversali a piena penetrazione (se specificato) Pezzi di inizio saldatura e di fine saldatura per saldature di testa longitudinali a piena penetrazione o saldature di testa a penetrazione parziale (se specificato)	Pezzi di inizio saldatura e di fine saldatura per saldature di testa trasversali a piena penetrazione Pezzi di inizio saldatura e di fine saldatura per saldature di testa longitudinali a piena penetrazione o saldature di testa a penetrazione parziale (se specificato)	Pezzi di inizio saldatura e di fine saldatura per saldature di testa trasversali a piena penetrazione Pezzi di inizio saldatura e di fine saldatura per saldature di testa longitudinali a piena penetrazione o saldature di testa a penetrazione parziale (se specificato)
7.5.9.2 Saldature su un solo lato [PC]	Nr	Nr	Sostegno permanente continuo	Sostegno permanente continuo
7.6 Criteri di accettazione				
7.6.1 Requisiti ordinari [PC] [PS per EXC4]	EN ISO 5817 Generalmente livello di qualità D	EN ISO 5817 Generalmente livello di qualità C	EN ISO 5817 Livello di qualità B	EN ISO 5817, EXC3 come minimo con criteri specifici per saldature identificate
7.6.2 Requisiti di fatica [PC]	Non applicabile	EN ISO 5817:2014, appendice C (se il suo utilizzo è specificato)	EN ISO 5817:2014, appendice C (se il suo utilizzo è specificato)	EN ISO 5817:2014, appendice C (se il suo utilizzo è specificato)
9 - Costruzione				
9.6 Costruzione e lavoro in cantiere				
9.6.3 Manipolazione e immagazzinamento in cantiere [PC]	Nr	Procedura di ripristino documentata	Procedura di ripristino documentata	Procedura di ripristino documentata
12 - Ispezione, prove e riparazione				
12.4 Saldatura				
12.4.2 Ispezione dopo la saldatura				
12.4.2.3 Ispezione ordinaria [PC]	NDT: vedere prospetto 24	NDT: vedere prospetto 24	NDT: vedere prospetto 24	NDT: EXC3 secondo il prospetto 24 come minimo
12.4.2.4 Ispezione specifica di progetto [PS]	Vedere prospetto A.2	Vedere prospetto A.2	Vedere prospetto A.2	Giunti identificati per l'ispezione insieme con l'entità delle prove
12.4.2.7 Correzione delle saldature [PC]	Nr	Secondo la WPS	Secondo la WPS	Secondo la WPS
12.5 Elementi di collegamento meccanici				
12.5.2 Ispezione e prova di collegamenti imbullonati precaricati				
12.5.2.3 Prima del serraggio [PC]	Nr	Controllo della procedura di serraggio	Controllo della procedura di serraggio	Controllo della procedura di serraggio
12.5.2.4 Durante e dopo il serraggio [PC]	Nr	5% della seconda fase di serraggio utilizzando il tipo sequenziale A (se non diversamente specificato)	5% della prima fase di serraggio e 10% della seconda fase di serraggio utilizzando il tipo sequenziale A (se non diversamente specificato)	5% della prima fase di serraggio e 10% della seconda fase di serraggio utilizzando il tipo sequenziale B (se non diversamente specificato)
12.5.2.5 Metodo della coppia [PC]	Nr	Vedere prospetto 25	Vedere prospetto 25	Vedere prospetto 25
12.5.2.6 Metodo combinato [PC]	Nr per il controllo della prima fase di serraggio	Nr per il controllo della prima fase di serraggio	Controllo della prima fase di serraggio prima della marcatura	Controllo della prima fase di serraggio prima della marcatura

CONSULTAZIONE

Punti	EXC1	EXC2	EXC3	EXC4
12.5.2.7 Metodo HRC [PC]	Nr	Ispezione della prima fase di serraggio	Ispezione della prima fase di serraggio	Ispezione della prima fase di serraggio
12.5.3.1 Ispezione, prova e riparazione di rivetti solidi per rivettatura a caldo [PC]	Nr	Prova del suono Tipo sequenziale A	Prova del suono Tipo sequenziale A	Prova del suono Tipo sequenziale B
12.7 Costruzione				
12.7.3.1 Indagine della posizione geometrica dei nodi di collegamento [PC]	Nr	Nr	Registrazione dell'esame	Registrazione dell'esame

Se non diversamente specificato al progetto tutte le carpenterie metalliche oggetto di questo articolo di capitolato hanno classe di esecuzione EXC3.
Fanno eccezione i tratti di barriere acustiche ed integrate in rilevato o su cordolo con altezza fino a 5 metri senza sbraccio se non sovrappassanti linee di comunicazione interferenti, i pali e monopali di segnaletica e le torri faro per cui è richiesta la classe EXC2.

25.4 Criteri di accettazione per gli acciai

25.4.1.1 Requisiti di qualità degli acciai laminati

Gli acciai laminati a caldo per uso strutturale vengono denominati in base al prospetto 1 di cui alla norma UNI EN 10027-1 di cui si riepiloga lo schema sintetico di designazione:

- Simbolo principale per l'impiego specifico:
  - S: acciaio per impiego strutturale (per impieghi di questo articolo di capitolato)
  - B: acciaio per cemento armato (per impieghi di cui all'art 25 del capitolato)
  - Y: acciaio per cemento armato precompresso (per impieghi di cui all'art 25 del capitolato)
  - …. altri impieghi non ammessi in questo articolo di capitolato
- Simbolo principale per l'individuazione delle caratteristiche meccaniche afferenti il valore del carico di snervamento minimo in MPa per la gamma di spessore più ridotto:
  - 215 (non ammesso) 235, 255, 275, 335, 355, 390, 420, 430, 440, 460
- Simbolo addizionale per l'indicazione relativa alla resilienza in Joule:
  - J = 27J
  - K = 40J
  - L = 60 J
- Simbolo addizionale per l'indicazione relativa alla temperatura di prova di resilenza:
  - R = 20 °C
  - 0 = 0 °C
  - 2 = -20 °C
  - 3 = -30 °C
  - 4 = -40 °C
  - 5 = -50 °C
  - 6 = -60 °C
- Simbolo addizionale alfanumerico per la definizione delle condizioni di fornitura che per l'uso strutturale possono assumere i seguenti valori:
  - H = profili cavi
  - L = basse temperature
  - N= normalizzazione o laminazione di normalizzazione
  - M = laminazione termomeccanica
  - Q = Bonifica

- W = resistente alla corrosione atmosferica (CORTEN);
- …. altri impieghi non ammessi in questo articolo di capitolato

I valori nominali delle tensioni caratteristiche di snervamento f_{yk} e di rottura f_{tk} dei laminati a caldo assunti dal progettista nei calcoli, sono indicati nelle seguenti tabelle 4.2.I e 4.2.II delle NTC2018 riportati di seguito per comodità di consultazione.

Tab. 4.2.I – *Laminati a caldo con profili a sezione aperta piani e lunghi*

Norme e qualità degli acciai	Spessore nominale "t" dell'elemento			
	t ≤ 40 mm		40 mm < t ≤ 80 mm	
	f_{yk} [N/mm²]	f_{tk} [N/mm²]	f_{yk} [N/mm²]	f_{tk} [N/mm²]
UNI EN 10025-2				
S 235	235	360	215	360
S 275	275	430	255	410
S 355	355	510	335	470
S 450	440	550	420	550
UNI EN 10025-3				
S 275 N/NL	275	390	255	370
S 355 N/NL	355	490	335	470
S 420 N/NL	420	520	390	520
S 460 N/NL	460	540	430	540
UNI EN 10025-4				
S 275 M/ML	275	370	255	360
S 355 M/ML	355	470	335	450
S 420 M/ML	420	520	390	500
S 460 M/ML	460	540	430	530
S460 Q/QL/QL1	460	570	440	580
UNI EN 10025-5				
S 235 W	235	360	215	340
S 355 W	355	510	335	490

Tab. 4.2.II - *Laminati a caldo con profili a sezione cava*

Norme e qualità degli acciai	Spessore nominale "t" dell'elemento			
	t ≤ 40 mm		40 mm < t ≤ 80 mm	
	f_{yk} [N/mm²]	f_{tk} [N/mm²]	f_{yk} [N/mm²]	f_{tk} [N/mm²]
UNI EN 10210-1				
S 235 H	235	360	215	340
S 275 H	275	430	255	410
S 355 H	355	510	335	490
S 275 NH/NLH	275	390	255	370
S 355 NH/NLH	355	490	335	470
S 420 NH/NLH	420	540	390	520
S 460 NH/NLH	460	560	430	550
UNI EN 10219-1				
S 235 H	235	360		
S 275 H	275	430		
S 355 H	355	510		
S 275 NH/NLH	275	370		
S 355 NH/NLH	355	470		
S 275 MH/MLH	275	360		
S 355 MH/MLH	355	470		
S 420 MH/MLH	420	500		
S460 MH/MLH	460	530		
S460 NH/NHL	460	550		

Per le applicazioni nelle zone dissipative delle costruzioni (non comuni tra quelle oggetto di questo articolo di capitolato) soggette ad azioni sismiche devono essere specificati negli elaborati progettuali i seguenti ulteriori requisiti specificati nel § 11.3.4.9 delle NTC2018:

- per gli acciai da carpenteria il rapporto fra i valori caratteristici della tensione di rottura f_{tk} e la tensione di snervamento f_{yk} deve essere maggiore di 1,15[6] e l'allungamento a rottura A_5, misurato su provino standard, deve essere non inferiore al 20%;
- la tensione di snervamento media $f_{y,media}$ deve risultare inferiore ad 1,20 $f_{y,k}$ per acciaio S235 e S275, oppure ad 1,10 $f_{y,k}$ per acciai S355 S420 ed S460;
- i collegamenti bullonati devono essere realizzati con bulloni ad alta resistenza di classe 8.8 o 10.9.

Il valore del rapporto snervamento/snervamento nominale (f_y/f_{ynom}) risulti sempre non minore di 0,94 ($f_{y,min} \geq 425$ N/mm2) e non maggiore di 1,27 ($f_{y,max} \leq 572$ N/mm^2)[7].

La rispondenza a tali eventuali ulteriori requisiti devono essere verificati a cura del Direttore dei Lavori nella fase di controlli di accettazione di cui al § 25.8.2.

[6] Ai sensi del § C11.3.2.12 della Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP. – Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018, tale valore è incrementato a 1,15 da 1,10. Il maggiore limite di 1,15 deve essere preso come nuovo riferimento.

[7] Ai sensi del § C11.3.2.12 della Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP.

25.4.1.2 Tipologie di acciai laminati

Gli acciai laminati di uso generale per la realizzazione di strutture metalliche e per le strutture composte comprendono:

- Prodotti lunghi
  - laminati mercantili (angolari, L, T, piatti e altri prodotti di forma)
  - travi ad ali parallele del tipo HE e IPE, travi IPN
  - laminati ad U
- Prodotti piani
  - lamiere e piatti
  - nastri
  - nastri zincati di spessore ≤ 4 mm
- Profilati cavi
  - tubi prodotti a caldo
- Prodotti derivati
  - travi saldate (ricavate da lamiere o da nastri a caldo)
  - profilati a freddo (ricavati da nastri a caldo)
  - tubi saldati (cilindrici o di forma ricavati da nastri a caldo)
  - lamiere grecate (ricavate da nastri a caldo)

25.4.1.3 Unioni bullonate

25.4.1.3.1 Impieghi ammessi e generalità sulla conformità

L'elemento di unione è composto da: vite, dado e rondella. Esso è definito "assieme". Le unioni realizzate con bulloni si distinguono in "non precaricate" (non a serraggio controllato) e "precaricate" (a serraggio controllato) e sono utilizzabili entrambi con riferimento agli elaborati progettuali.
Sono ammesse unioni bullonate dotate di marcatura CE in conformità alla norma europea armonizzata UNI EN 14399-1 con sistema di attestazione della conformità di tipo 2+ idonea anche all'uso in giunzioni non precaricate.
Non sono ammessi assiemi con marcatura CE ai sensi della UNI EN 15048-1.
I sistemi di unione devono essere prescelti fra quelli indicati dalla norma EN 14399-3 (sistema HR) o dalla norma EN 14399-4 (sistema HV - elementi di unione precaricati o "a serraggio controllato").
È ammesso anche l'uso di bulloni HRC a serraggio controllato meccanicamente (con rottura del codolo) secondo quanto previsto dalle norme armonizzate EN 14399-10.

Viti, dadi e rondelle, in acciaio, devono essere associate come nelle seguenti tabelle 11.3.XIII.a (per gli assiemi non a serraggio controllato per giunzioni non precaricate) e 11.3.XIV (per gli assiemi a serraggio controllato per giunzioni precaricate) delle NTC2018.

Tab. 11.3.XIII.a

Viti	Dadi	Rondelle	Riferimento
Classe di resistenza UNI EN ISO 898-1:2013	Classe di resistenza UNI EN ISO 898-2:2012	Durezza	
8.8	8 oppure 10	100 HV min oppure 300 HV min.	UNI EN 14399-1
10.9	10 oppure 12		

Tab. 11.3.XIV

Sistema	Viti		Dadi		Rondelle	
	Classe di resistenza	Riferimento	Classe di resistenza	Riferimento	Durezza	Riferimento
HR	8.8	UNI EN 14399-1	8	UNI EN 14399-3	300-370 HV	UNI EN 14399 parti 5 e 6
	10.9	UNI EN 14399-3	10	UNI EN 14399-3		
HV	10.9	UNI EN 14399-4	10	UNI EN 14399-4		

Nelle unioni con bulloni ad alta resistenza delle classi 8.8 e 10.9, precaricati con serraggio controllato, per giunzioni ad attrito, le viti, i dadi e le rondelle devono essere forniti dal medesimo produttore.

Per quanto riguarda il materiale base costituente i bulloni e la protezione contro la corrosione valgono le seguenti prescrizioni:

- Per le strutture di carpenteria protette contro la corrosione tramite zincatura a caldo o verniciatura possono essere utilizzati due opzioni di rivestimento protettivo dei bulloni salvo indicazioni progettuali:
    - bulloni con materiali di base conforme al prospetto 2 della norma UNI EN ISO 898-1 per le viti e al prospetto 3 della norma UNI EN ISO 892-2 per i dadi, zincati per immersione a caldo in accordo alla norma UNI EN ISO 10684 con trattamento di centrifuga e tempra per uno spessore non inferiore a 100 µm. Per prevenire fenomeni di infragilimento nei bulloni di classe 10.9 si prescrive di deidrogenizzare gli elementi prima della zincatura. Lo spessore del rivestimento di zinco sulla filettatura deve essere tale da consentire l'avvitamento occorre perciò aumentare il diametro del dado o ridurre quello della vite rispetto alla dimensione non rivestita di circa un 400 µm (4 volte lo spessore della zincatura per filettature a 60° e 4,33 volte per le filettature a 55°);
    - bulloni neri con trattamento di brunitura (bagno di cloruro ferrico);
- Per le strutture in acciaio inossidabile si utilizzano bulloni realizzato in acciaio inossidabile conformemente alle prescrizioni di cui alla UNI EN ISO 3506-1 (Viti e viti prigioniere), UNI EN ISO 3506-2 (Dadi), UNI EN ISO 3506-3 (Viti senza testa e particolari similari non soggetti a trazione), UNI EN ISO 3506-4 (Viti autofilettanti). Per il materiale base si applica quanto previsto nella norma UNI EN 10088-4-5;
- Per le strutture in acciaio corten si utilizzano bulloni neri con trattamento di brunitura (bagno di cloruro ferrico.

È necessario che le forniture dei bulloni siano accompagnate da:

- dal documento di trasporto DDT con riferimento agli attestati comprovanti la qualificazione del prodotto.
- dalla marcatura CE e dalla dichiarazione di prestazione DoP conformemente alle specifiche di cui sopra.

25.4.1.3.2 Diametri delle viti, sistemi e coppie di serraggio per i bulloni 8.8 e 10.9

Il tipo di bullone e la coppia di serraggio sono generalmente indicate dal progettista negli elaborati progettuali conformemente alle tabelle 4.2.XVI e 4.2.XVII delle NTC2018 di seguito riportate:

Tabella 4.2.XVI – *Coppie di serraggio per i bulloni 8.8*

Viti 8.8 – Momento di serraggio M [N m]						
Vite	***k=0.10***	***k=0.12***	***k=0.14***	***k=0.16***	$F_{p,C}$ ***[kN]***	A_{res} ***[mm²]***
M12	56.6	68.0	79.3	90.6	47.2	84.3
M14	90.2	108	126	144	64.4	115
M16	141	169	197	225	87.9	157
M18	194	232	271	310	108	192
M20	274	329	384	439	137	245
M22	373	448	523	597	170	303
M24	474	569	664	759	198	353
M27	694	833	972	1110	257	459
M30	942	1131	1319	1508	314	561
M36	1647	1976	2306	2635	457	817

Tabella 4.2.XVII *Coppie di serraggio per bulloni 10.9*

Viti 10.9 – Momento di serraggio M [N m]						
Vite	***k=0.10***	***k=0.12***	***k=0.14***	***k=0.16***	$F_{p,C}$ ***[kN]***	A_{res} ***[mm²]***
M12	70.8	85.0	99.1	113	59.0	84.3
M14	113	135	158	180	80.5	115
M16	176	211	246	281	110	157
M18	242	290	339	387	134	192
M20	343	412	480	549	172	245
M22	467	560	653	747	212	303
M24	593	712	830	949	247	353
M27	868	1041	1215	1388	321	459
M30	1178	1414	1649	1885	393	561
M36	2059	2471	2882	3294	572	817

Il fattore k descrive la relazione lineare tra la coppia di serraggio M e la forza di precarico F, per il corrispondente diametro d della vite. Gli assiemi possono essere forniti secondo le classi k funzionali K0, K1 e K2 che si differenziano per le modalità di serraggio e per altre caratteristiche funzionali secondo la seguente tabella 4.2.XV tratta dalle NTC2018.

Tabella 4.2.XV - *Classi funzionali per i bulloni*

K0	Nessun requisito sul fattore k
K1	Campo di variabilità del fattore k_i del singolo elemento tra minimo e massimo dichiarati sulla confezione
K2	Valore medio k_m del fattore e suo coefficiente di variazione V_k dichiarati sulla confezione

È ammesso solo l'utilizzo di serraggio con classe funzionale K2. La coppia deve essere applicata mediante serraggio che deve avvenire in accordo alle modalità di cui alla norma UNI EN 1090-2.

25.4.1.4 Unioni con chiodi

Salvo diversa indicazione contenuta negli elaborati progettuali non sono ammesse unioni con chiodi. Le unioni realizzate con chiodi si considerano sempre "non precaricate". Per i chiodi da ribadire a caldo si devono impiegare gli acciai previsti dalla pertinente parte della norma UNI EN 10263.

25.4.1.5 Connettori a piolo

Nel caso si utilizzino connettori a piolo, l'acciaio deve essere qualificato ed idoneo al processo di formazione dello stesso e compatibile per saldatura con il materiale costituente l'elemento strutturale interessato dai pioli stessi.
Salvo diverse indicazioni progettuali è ammesso solo l'utilizzo di pioli elettrosaldati tipo Nelson secondo norme UNI EN ISO 13918 in acciaio S235J2G3+C450 con le seguenti caratteristiche meccaniche:

– allungamento percentuale a rottura (valutato su base $L_0 = 5{,}65\sqrt{A_0}$,dove A_0 è l'area della sezione trasversale del saggio) ≥ 12;
– rapporto ft / fy ≥1,2.

I connettori, uniti alle strutture con procedimenti di saldatura speciali senza metallo d'apporto, devono essere fabbricati con acciai la cui composizione chimica soddisfi le limitazioni seguenti:
C ≤ 0,18%, Mn ≤ 0,9%, S ≤ 0,04%, P ≤ 0,05%

Per le officine per la produzione di elementi strutturali in serie si applicano gli obblighi di cui al precedente § 25.3.2.

25.4.1.6 Tirafondi

I tirafondi sono barre filettate in acciaio per uso strutturale e, in attesa di una normativa univoca per la conformità di questi elementi e in mancanza di un riferimento preciso nel § 11.3.4 delle NTC2018, si possono escludere dall'obbligo di applicazione della norma UNI EN 1090-1.
Il riferimento normativo da utilizzare per i tirafondi è costituito dalla norma per la bulloneria strutturale UNI EN ISO 898-1. Sono ammessi tirafondi con classe di resistenza, se non diversamente specificato negli elaborati progettuali, pari a 8.8 (secondo il prospetto 2 della norma UNI EN ISO 898-1) con filetto metrico ISO a passo grosso.
I limiti per la composizione chimica dell'acciaio del tirafondo devono essere riferiti al prospetto 2 della UNI EN ISO 898-1 che, per la classe 8.8, prevede sempre il trattamento termico di bonifica.
I dadi, se non diversamente specificato nei documenti di progetto, saranno di classe di resistenza di classe di resistenza pari a 8 (secondo la norma UNI EN 898-2) mentre le rosette metalliche devono essere in acciaio C50 UNI EN 10083-2/UNI 5714 temprato e rinvenuto (HRC 32÷40).

In riferimento all'Eurocodice 3 parte 1-8 §3.3, sono ammessi anche tirafondi ricavati da acciaio laminato a caldo secondo UNI EN 10025-2 e B450C secondo la norma UNI EN 10080 e NTC2018 purchè aventi caratteristiche pari o superiori a quelle dei tirafondi di cui alla norma UNI EN ISO 898-1 indicati al capoverso precedente e siano forniti con le opportune certificazioni in funzione delle specifiche norme di riferimento.

- I tirafondi 8.8 e la bulloneria devono essere zincati a caldo in accordo alla norma UNI EN ISO 10684 con trattamento di centrifuga e tempra per uno spessore non inferiore a 100 µm.
- I tirafondi ricavati da acciaio laminato a caldo devono essere zincati secondo la norma UNI ISO1461 con trattamento di immersione a caldo per uno spessore minimo come indicato al prospetto 3 della suddetta norma.

I tirafondi devono sempre essere posti in opera annegati nel getto di calcestruzzo. E' vietato applicare tirafondi in fori realizzati con carotatrice o sistema equivalente e poi inghisati con resine. Nel caso in cui si renda necessario inghisare tirafondi per la risoluzione di non conformità, l'Appaltatore è tenuto a presentare una relazione di calcolo per lo specifico materiale utilizzato e occorre prevedere delle prove di pull-out al limite di esercizio sul 100% dei tirafondi inghisati e a rottura sul 10% del totale in aggiunta a quelli precedenti.

In merito ai tirafondi è necessario che la fornitura sia accompagnata da:

- dal documento di trasporto DDT con riferimento agli attestati comprovanti la qualificazione del prodotto.
- dal certificato di controllo interno tipo 3.1, di cui alla norma UNI EN 10204;

Per i valori della coppia di serraggio in N•M degli elementi di unione tra il sistema di sostegno e i tirafondi si farà riferimento agli elaborati del progetto esecutivo.

25.4.1.7 Processo di saldatura di cui al § 11.3.4.5 NTC2018

La saldatura degli acciai dovrà avvenire con uno dei procedimenti all'arco elettrico codificati secondo la norma UNI EN ISO 4063. È ammesso l'uso di procedimenti diversi purché sostenuti da adeguata documentazione teorica e sperimentale.
Sono richieste caratteristiche di duttilità, snervamento, resistenza e tenacità in zona fusa e in zona termica alterata non inferiori a quelle del materiale base.
I saldatori nei procedimenti semiautomatici e manuali dovranno essere qualificati secondo la norma UNI EN ISO 9606-1 da parte di un Ente terzo. Come richiesto in tale norma, i saldatori che eseguono giunti a T con cordoni d'angolo dovranno essere specificamente qualificati per questo tipo di saldatura e non potranno essere qualificati soltanto per l'esecuzione di saldature di giunti testa-testa in quanto la qualifica per i giunti testa a testa non comprende anche la tipologia di giunto di cui sopra.
Gli operatori dei procedimenti automatici o robotizzati dovranno essere certificati secondo la norma UNI EN ISO 14732. Tutti i procedimenti di saldatura dovranno essere qualificati mediante WPQR (qualifica di procedimento di saldatura) secondo la norma UNI EN ISO 15614-1.
Le durezze eseguite sulle macrografie non dovranno essere superiori a 350 HV30.
Per la saldatura ad arco di prigionieri di materiali metallici (saldatura ad innesco mediante sollevamento e saldatura a scarica di condensatori ad innesco sulla punta) si applica la norma UNI EN ISO 14555; valgono perciò i requisiti di qualità di cui al prospetto A1 della appendice A della stessa norma.
Le prove di qualifica dei saldatori, degli operatori e dei procedimenti dovranno essere eseguite da un Ente terzo; in assenza di prescrizioni in proposito l'Ente sarà scelto dal Centro di trasformazione o di produzione secondo criteri di competenza e di indipendenza.
Nell'esecuzione delle saldature dovranno inoltre essere rispettate le norme UNI EN 1011-19 ed UNI EN 1011-2 per gli acciai ferritici ed UNI EN 1011-3 per gli acciai inossidabili. Per la preparazione dei lembi si applicherà, salvo casi particolari, la norma UNI EN ISO 9692-1.
Le saldature saranno sottoposte a controlli non distruttivi finali per accertare la corrispondenza ai livelli di qualità stabiliti dal progettista sulla base delle norme applicate per la progettazione. In assenza di tali dati per strutture non soggette a fatica si adotterà il livello C della norma UNI EN ISO 5817 e il livello B per strutture soggette a fatica.
L'entità ed il tipo di tali controlli, distruttivi e non distruttivi, in aggiunta a quello visivo al 100%, a cura del Collaudatore e del Direttore dei Lavori sono definiti nel § 25.8.1;
Tutti gli operatori che eseguiranno i controlli dovranno essere qualificati secondo la norma UNI EN ISO 9712 almeno di secondo livello.

Oltre alle prescrizioni applicabili di cui al precedente § 25.3.2, il Centro di trasformazione o di produzione, in relazione alla tipologia dei manufatti realizzati mediante giunzioni saldate, deve essere certificato secondo la norma UNI EN ISO 3834 parti 2, 3 e 4. I requisiti sono riassunti nella Tab. 11.3.XII delle NTC2018 di seguito riportata.

Tab. 11.3.XII

Tipo di azione sulle strutture	Strutture soggette a fatica in modo non significativo			Strutture soggette a fatica in modo significativo
Riferimento	A	B	C	D
Materiale Base: Spessore minimo delle membrature	S235, s ≤ 30 mm S275, s ≤ 30 mm	S355, s ≤ 30 mm S235 S275	S235 S275 S355 S460, s ≤ 30 mm	S235 S275 S355 S460 (Nota 1) Acciai inossidabili e altri acciai non esplicitamente menzionati (Nota 1)
Livello dei requisiti di qualità secondo la norma UNI EN ISO 3834:2006	Elementare UNI EN ISO 3834-4	Medio UNI EN ISO 3834-3	Medio UNI EN ISO 3834-3	Completo UNI EN ISO 3834-2
Livello di conoscenza tecnica del personale di Coordinamento della saldatura secondo la norma UNI EN ISO 14731:2007	Di base	Specifico	Completo	Completo

Nota 1) Vale anche per strutture non soggette a fatica in modo significativo

Nel caso dei portali di segnaletica è necessario per le saldature dei fazzoletti delle flange che il produttore qualifichi preventivamente alla produzione una modalità di esecuzione di dette saldature onde evitare fenomeni di ritiro dovuti alla promiscuità con altre unioni bullonate. A tal fine l'Appaltatore dovrà predisporre una relazione sulle modalità esecutive e realizzare un prototipo in officina che dovrà essere sottoposto a prove in contraddittorio con la Direzione Lavori per gli aspetti tecnici ed approvato dall'IIS o da ente di fiducia della Direzione Lavori per la parte saldature.

25.5 Prequalifica "Q1" per l'approvvigionamento delle forniture

L'Appaltatore, con 20 giorni di anticipo rispetto al momento in cui intende approvvigionare l'acciaio da impiegare per le strutture metalliche, deve presentare al Direttore dei Lavori per sua approvazione, la documentazione di qualifica "Q1" di cui ai seguenti § 25.5.1 e 25.5.2.

25.5.1 Prequalifica dei produttori, centri di trasformazione e centri di produzione degli acciai.

L'Appaltatore, prima di approvvigionare gli acciai, deve qualificare il produttore da cui intende rivolgersi o i centri di trasformazione per carpenteria metallica e i centri di produzione di elementi in acciaio di cui al § 25.3.2 nel caso siano quest'ultimi ad affettuare l'ordine o a prelavorare, realizzare strutture complesse, produrre laminati formati a freddo, bulloni, chiodi o produrre elementi strutturali in serie, presentando la seguente documentazione:

- Certificato UNI EN ISO 9001 del sistema di gestione qualità;
- Attestato di qualificazione, rilasciato dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici in conformità al § 11.3.1.2 delle NTC2018. L'Attestato di qualificazione ha validità di cinque anni tuttavia, i produttori con cadenza annuale, devono procedere al mantenimento di detto Attestato nei modi indicati al § 11.3.1.3 e all'esecuzione di tutti i controlli e prove di laboratorio sugli acciai di cui al § 11.3.4.11 delle NTC2018;
- Attestato di denuncia dell'Attività di centro di trasformazione di cui al § 11.3.1.7 delle NTC2018, rilasciato dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici;

- Certificato UNI EN ISO 3834 parti 2, 3 e 4 del centro di trasformazione o di produzione degli acciai nel caso di esecuzione di operazioni di saldatura di cui al § 11.3.4.5 delle NTC2018;
- Certificato di produzione in fabbrica FPC del centro di trasformazione o di produzione degli acciai per la classe di esecuzione EXC di riferimento del progetto in conformità alla norma UNI EN 1090-2;
- Eventuale dichiarazione di prodotto EPD da parte del produttore di acciaio qualora disponibile

25.5.2 Progetto costruttivo delle strutture metaliiche

Prima dell'approvvigionamento dei materiali, l'Appaltatore dovrà presentare al Direttore dei Lavori una copia cartacea e in formato pdf dei disegni di fabbricazione firmati digitalmente dal redattore (officina di produzione o Appaltatore stesso) del progetto costruttivo redatto in conformità:

- a tutti gli elaborati del Progetto esecutivo della struttura o delle strutture metalliche di riferimento
- a tutte le seguenti indicazioni costruttive e di dettaglio che dovranno essere contenute nel progetto stesso:
  - diametri e classi dei bulloni impiegati secondo quanto prescritto nel § 25.4.1.3
  - il sistema delle unioni bullonate HR, HV, HRC secondo quanto prescritto nel § 25.4.1.3
  - diametri dei fori in funzione dei bulloni e della tipologia di collegamento
  - coppie di serraggio secondo quanto prescritto nel § 25.4.1.3
  - elementi di posizionamento dei pioli di collegamento travi/soletta, con particolare attenzione ad evitare possibili interferenze con i tralicci delle coppelle,soprattutto per gli impalcati in curva
  - principi di esecuzione delle coppelle e distribuzione dei relativi tralicci di armatura
  - indicazione dei giunti d'officina e dei giunti in opera
  - controfrecce d'officina
  - schemi e fasi di montaggio con indicazione completa delle eventuali opere provvisionali necessarie
  - dettagli delle saldature da eseguire in conformità al § 25.4.1.6 con indicazione delle dimensioni, nel caso dei cordoni d'angolo e di parziali penetrazioni
  - eventuali fori di drenaggio per le zincature dovranno avere una distanza sufficiente per non interferire con le saldature e comunque non inferiore a 10 cm
  - le predisposzioni per i sistemi di aggancio di qualsiasi elemento che deve essere collegato con l'opera in carpenteria anche se forniti dalla stazione appaltante (es. pannelli PMV e PMF, cartelli di segnaletica, telecamere o impianti in genere, carter, ecc.)

L'Appaltatore dovrà altresì consegnare al Direttore dei Lavori la distinta dei materiali afferente il progetto costruttivo di cui sopra contenente:

- il codice identificativo dell'elemento
- la descrizione breve dell'elemento
- la quantità
- la designazione del materiale di cui al § 25.4.1.1

- le dimensioni nominali degli elementi del progetto costruttivo: spessore, larghezza, lunghezza e relativo massa nominale determinata utilizzando una massa volumica di 7.850 kg/m^3
- riferimento del disegno o dei disegni ove l'elemento è rappresentato

L'Appaltatore dovrà infine consegnare una relazione di calcolo contenente la verifica dell'idoneità degli eventuali dettagli modificati proposti o aggiuntivi, le indicazioni in merito alla fattibilità del montaggio e varo. Tale relazione di calcolo dovrà essere firmata da un tecnico abilitato all'esercizio della professione. In presenza di tale relazione il tempo di cui al § 25.5 è elevato da 20 a 30 giorni.

25.6 Prequalifica "Q2" per l'inizio delle lavorazioni nei centri di trasformazione e/o di produzione

Dopo l'approvazione da parte del Direttore dei Lavori dei documenti qualifica "Q1" di cui al § 25.5 ed emesso l'ordine di approvvigionamento del materiale, l'Appaltatore, deve:

- presentare al Direttore dei Lavori, per sua approvazione, la documentazione tecnica di cui ai seguenti §§ 25.6.1, 25.6.2;
- avvertire immediatamente la Direzione Lavori dell'arrivo nella sua officina dei materiali che saranno impiegati nella costruzione e presentare la documentazione di cui al § 25.6.3;

Dopo l'approvazione dei documenti di cui sopra entro 10 giorni dalla loro ricezione, l'Appaltatore dovrà concordare con la Direzione Lavori, almeno 5 giorni lavorativi di anticipo rispetto al momento in cui intende iniziare le lavorazioni nei centri di trasformazione o centri di produzione, la data per l'esecuzione dei controlli di cui al § 25.8.2. e la qualifica "Q2" potrà ritenersi conclusa e potranno iniziarsi le lavorazioni in officina.

25.6.1 Approvazione delle saldature del progetto costruttivo da Ente terzo

L'Appaltatore deve, a propria cura e spese, sottoporre all'approvazione dell'I.I.S. (o di altro Ente terzo Accreditato da Accredia per la certificazione dei processi di saldatura e dei saldatori, da sottoporre preventivamente all'approvazione della Direzione Lavori) le modalità esecutive afferenti le saldature contenute nel progetto costruttivo di cui al § 25.5.2 unitamente alle seguenti indicazioni aggiuntive:

- piano di saldatura di cui al § 7.2 della norma UNI EN 1090-2
- la certificazione delle procedure di saldatura e del personale addetto alla saldatura conformemente al § 7.4 della norma UNI EN 1090-2 per la classe di esecuzione EXC definita a progetto, contenente il quaderno di saldatura, in accordo alle NTC2018 e comprensivo di:
  - specifiche di procedimento di saldatura (WPS) e relative qualifiche (WPAR);
  - qualifica dei saldatori e operatori di saldatura

Nel caso l'I.I.S. (o altro Ente Terzo accreditato come sopra descritto) richiedesse di aggiornare o revisionare i contenuti del progetto costruttivo in merito alle saldature, l'Appaltatore è tenuto ad apportare tali modifiche nel più breve tempo possibile e ad ottenere l'approvazione definitiva da parte dell'Ente. Il progetto approvato deve essere trasmesso al Direttore dei Lavori prima dell'inizio delle operazioni di trasformazione. Eventuali richieste di modifica dell'Ente non potranno dare diritto al riconoscimento di alcun compenso, indennizzo o extracosto, di qualsivoglia natura, né diretto (costo della lavorazione, progettazione, prove e collaudi, etc…), né indiretto (ritardo nella realizzazione dell'opera, etc…).

25.6.2 Piano generale di fabbricazione e controlli

L'Appaltatore deve sottoporre all'approvazione del Direttore dei Lavori il piano generale di fabbricazione e controlli del centro di trasformazione e/o di produzione con l'indicazione delle tecnologie, metodologie e sistemi di controllo utilizzati in officina (PCQ riferito alla struttura o alle strutture metalliche oggetto di qualifica) ed eventualmente in cantiere per garantire la qualità attesa con preciso riferimento ai controlli sulle saldature a cura del Committente di cui al successivo § 25.8.1. Tale piano deve essere redatto in conformità alla norma UNI EN 1090-2 e deve altresì contenere il collaudo delle lamiere all'arrivo in officina prima dell'inizio delle lavorazioni. Particolare attenzione verrà posta nei controlli di assenza di sfogliature ed inclusioni con riferimento a dettagli costruttivi che contemplino azioni ortogonali al piano di laminazione.

25.6.3 Piano di utilizzo e rintracciabilità dei materiali

Dopo l'approvvigionamento del materiale, l'Appaltatore deve sottoporre all'approvazione del Direttore dei Lavori il piano di utilizzo e rintracciabilità dei materiali approvvigionati, con riferimento:

- alla distinta dei materiali afferente il progetto costruttivo di cui al § 25.5.2 implementata:
  - dal controllo delle dimensioni effettive degli elementi approvvigionati: spessore, larghezza, lunghezza e relativo peso nominale
  - dalla data di consegna dell'elemento
  - dal nome del produttore
  - dal n. del DDT di provenienza dal produttore (da allegare in copia)
  - dal n. del certificato di collaudo del produttore (da allegare in copia)
  - dalla data del certificato di collaudo del produttore
  - dal n. della colata
  - dal peso riportato nel certificato del produttore
  - dal riferimento della marcatura CE in riferimento ai contenuti dei § 25.3.1 e 25.4.1.3.1 che dovrà risultare leggibile

Qualora il centro di trasformazione e/o di produzione impieghi materiale giacente a magazzino ne dovrà fornire la documentazione d'origine del Produttore necessaria alla compilazione del piano di utilizzo di cui sopra.

25.7 Modalità esecutive delle lavorazioni nei centri di trasformazione e produzione

Le lavorazioni di officina saranno effettuate secondo quanto previsto nell'apposito Piano di fabbricazione.

Per quanto riguarda le tolleranze esecutive si fa riferimento alla norma UNI EN 1090, parti 1 e 2, se non diversamente indicato a Progetto. Per ciascuna opera singola o per prototipi di ciascuna serie di opere è prescritto il premontaggio in officina al fine di controllare e assicurae l'esatezza e la reciproca perfetta corrispondenza dei singoli pezzi assemblati per formare l'opera completa, in modo da poter apportare eventuali modifiche che si rendessero necessarie quando l'opera si trova ancora in officina senza creare soggezione all'esercizio. Eventuali deroghe adeguatamente motivate, dovranno essere esplicitamente approvate dalla Direzione Lavori. Deroghe non esplicitamente autorizzate non saranno accettate.

Alla Direzione Lavori è riservata comunque la facoltà di eseguire in ogni momento della lavorazione tutti i controlli che riterrà opportuni per accertare che i materiali impiegati siano quelli collaudati, che le strutture siano conformi ai disegni di Progetto e che le stesse siano eseguite a perfetta regola d'arte.

In particolare l'Appaltatore dovrà attenersi alle seguenti disposizioni:

- il raddrizzamento e lo spianamento, quando necessari, devono essere fatti preferibilmente con dispositivi agenti per pressione.
- possono essere usati i riscaldamenti locali (caldo), secondo le indicazioni della UNI EN 1090-2, purché programmati in modo da evitare eccessive concentrazioni di tensioni residue e di deformazioni permanenti. I trattamenti termici non sono ammessi, in generale, per acciai termomeccanici;
- la saldatura in zone formate a freddo deve rispettare quanto indicato in UNI EN 1993-1-8
- è ammesso il taglio a ossigeno purché regolare;
- i tagli irregolari devono essere ripassati con la smerigliatrice;
- i fori per bulloni devono essere eseguiti col trapano con assoluto divieto dell'uso della fiamma e presentare superficie interna cilindrica liscia e priva di screpolature e cricche; per le giunzioni con bulloni (normali e ad alta resistenza), le eventuali sbavature sul perimetro del foro dovranno essere asportate mediante molatura locale;
- l'uso di punzonatrici deve essere esplicitamente ammesso a Progetto. Ne è consentito l'uso in forature ridotte di almeno 2 mm e successivamente alesate a diametro definitivo
- i bulloni ad alta resistenza, nel caso di collegamenti a taglio, non dovranno avere il gambo filettato per l'intera lunghezza; la lunghezza del tratto non filettato dovrà essere in generale maggiore di quella delle parti da serrare e si dovrà sempre far uso di rosette sotto la testa e sotto il dado; è tollerato che non più di mezza spira del filetto rimanga compresa nel foro;

Non sono ammesse unioni a taglio per gli elementi soggetti a vibrazioni e/o inversione di sforzo. Nelle unioni ad attrito le superfici dovranno presentarsi pulite, prive cioè di olio, grasso, calamina, vernice.
Per coefficienti di attrito superiori a 0.3 si dovranno presentare adeguati test a comprova del coefficiente proposto,ed in ogni caso per superfici verniciate. Al riguardo si fa riferimento ai codici UNI EN 1993-1-1, UNI EN 1993-1-8, UNI EN 1090-1.

25.8 Controlli e prove presso il centro di trasformazione e produzione prima della spedizione in cantiere delle carpenterie

Le carpenterie, o parti di esse, potranno essere spedite dal centro di trasformazione o produzione al cantiere solamente quando:

- saranno concluse con esito positivo tutte le operazioni previste nel piano di fabbricazione e controlli di cui al § 25.6.2;
- saranno state verificate con esito positivo tutte le saldature effettuate in officina nelle modalità di cui al § 25.8.1;
- saranno ultimati gli invii dei prelievi al laboratorio incaricato dalla Committente per i controlli di accettazione di cui al § 25.8.2.

25.8.1 Controlli delle saldature

In riferimento all'entità e al tipo dei controlli distruttivi e non distruttivi delle saldature da definire dal Direttore dei Lavori e dal Collaudatore di cui al § 11.3.4.5 delle NTC2018 e in questo articolo di capitolato.
Per i cordoni ad angolo o giunti a parziale penetrazione si useranno metodi di superficie (ad es. liquidi penetranti o polveri magnetiche), mentre per i giunti a piena penetrazione, oltre a quanto sopra previsto, si useranno metodi volumetrici e cioè raggi X o gamma o ultrasuoni per i giunti testa a testa e solo ultrasuoni per i giunti a T a piena penetrazione.
Per le modalità di esecuzione dei controlli ed i livelli di accettabilità si potrà fare utile riferimento alle prescrizioni della norma UNI EN ISO 17635.

Si stabilisce che l'Istituto Italiano della Saldatura (o da altro Ente terzo) su incarico diretto della Committente eseguirà presso il centro di trasformazione e/o di produzione i seguenti controlli previsti all'interno della UNI EN 1090 parte 2 in conformità alla serie della UNI EN ISO 3834 (Requisiti di qualità per la saldatura per fusione dei materiali metallici):

- controllo visivo secondo EN 970 al 100% di tutte le saldature;
- controllo magnetoscopico secondo EN ISO 17638 al 20% di tutte le saldature (le zone del controllo saranno scelte in base all'esito dell'esame visivo);
- controllo ultrasonoro al 100% secondo UNI EN ISO 17640 dei giunti a piena penetrazione trasversali e dei giunti tecnici;
- controllo ultrasonoro al 50% UNI EN ISO 17640 dei restanti giunti a piena penetrazione.
- controllo visivo 100 % saldature pioli; prova di piegamento a 30°: 5% dei pioli (a colpi di mazza). Eventuali discontinuità risultanti dall'esame visivo saranno ripristinate con elettrodi rivestiti.Non è ammessa la presenza di cricche nelle saldature dei pioli.In caso di rottura di almeno il 5% dei pioli testati, tutti i pioli della stessa membratura saranno sottoposti alla medesima prova.

Tale elenco potrà essere implementato tenendo conto delle eventuali raccomandazioni dell'Ente del Collaudatore e del Direttore dei Lavori a loro insindacabile giudizio senza che ciò possa dare diritto a richieste od al riconoscimento di alcun compenso, indennizzo o extracosto, di qualsivoglia natura, né diretto, né indiretto.
Si precisa che questi controlli verranno eseguiti solamente dopo l'esecuzione dei controlli sulle saldature previsti nel piano generale di prefabbricazione e controlli di cui al § 25.6.2 ad onere del Direttore Tecnico dell'officina in ottemperanza alle NTC2018 e solo dopo che il report di detti controlli verrà trasmesso alla Direzione Lavori e all'Istituto Italiano della Saldatura (o altro Ente terzo).
Qualora l'Istituto Italiano della Saldatura (o altro Ente terzo) riscontrasse delle non conformità tali per cui si debba procedere ad un perfezionamento o al rifacimento dell'originaria saldatura, queste verranno ricontrollate a campione sempre dall'Ente di fiducia del Committente con onere a carico dell'Appaltatore senza che ciò possa dare diritto a richieste od al riconoscimento di alcun compenso, indennizzo o extracosto, di qualsivoglia natura, né diretto, né indiretto.

Il tipo e il numero dei controlli a cura del Centro di Trasformazione e della Direzione Lavori per ciascuna opera, dovranno essere indicati nel piano di fabbricazione e controllo emesso dal Costruttore per approvazione. Dovrà essere indicato altresì un criterio di estensione dei controlli in caso di difetti.

25.8.2 Controlli degli acciai di cui al § 11.3.4.11.3 delle NTC2018

Qualora la fornitura di elementi lavorati provenga da un centro di trasformazione, di produzione o da un fabbricante di elementi marcati CE, personale della Direzione Lavori con frequenza a discrezione del Direttore dei Lavori si recherà presso detto luogo di lavorazione delle carpenterie per effettuare tutti i controlli di accettazione di sua competenza di cui al § 11.3.4.11.3 delle NTC2018.
Il prelievo dei campioni sarà effettuato dal Direttore Tecnico del Centro di trasformazione o del fabbricante secondo le disposizioni del Direttore dei Lavori; quest'ultimo deve assicurare, mediante sigle, etichettature indelebili, ecc., che i campioni inviati per le prove al laboratorio incaricato, con spedizione a cura del Direttore di Stabilimento, siano effettivamente quelli da lui prelevati, nonché sottoscrivere la relativa richiesta di prove. Il prelievo potrà anche essere eseguito dallo stesso laboratorio incaricato della Committente per l'esecuzione delle prove.

A seconda delle tipologie di materiali da spedire in cantiere il Direttore dei Lavori o suo delegato deve effettuare i seguenti prelievi:

- *Elementi di Carpenteria Metallica*: 3 prove ogni 90 tonnellate; il numero di campioni, prelevati e provati nell'ambito di una stessa opera, non può comunque essere inferiore a tre. Per opere per la cui realizzazione è previsto l'impiego di quantità di acciaio da carpenteria non superiore a 2 tonnellate, il numero di campioni da prelevare è individuato dal Direttore dei Lavori, che terrà conto anche della complessità della struttura.
- *Lamiere grecate e profili formati a freddo*: 3 prove ogni 15 tonnellate; il numero di campioni, prelevati e provati nell'ambito di una stessa opera,, non può comunque essere inferiore a tre. Per opere per la cui realizzazione è previsto l'impiego di una quantità di lamiere grecate o profili formati a freddo non superiore a 0.5 tonnellate, il numero di campioni da prelevare è individuato dal Direttore dei Lavori.
- *Bulloni e chiodi*: 3 campioni ogni 1500 pezzi impiegati; il numero di campioni, prelevati e provati nell'ambito di una stessa opera, non può comunque essere inferiore a tre. Per opere per la cui realizzazione è previsto l'impiego di una quantità di pezzi non superiore a 100, il numero di campioni da prelevare è individuato dal Direttore dei Lavori.
- *Giunzioni meccaniche*: 3 campioni ogni 100 pezzi impiegati; il numero di campioni, prelevati e provati nell'ambito di una stessa opera, non può comunque essere inferiore a tre. Per opere per la cui realizzazione è previsto l'impiego di una quantità di pezzi non superiore a 10, il numero di campioni da prelevare è individuato dal Direttore dei Lavori.

Le prove da eseguire sui prelievi di cui sopra a cura della Direzione Lavori per gli elementi di carpenteria lamiere e profili sono le seguenti:

- Prove dimensionali di spessore, lunghezza, larghezza e massa:
  - secondo la UNI EN 10029 per acciai di cui alle UNI EN 10025-2-3-4-5: si riterranno conformi le lamiere con tolleranza sullo spessore pari alla classe B o D di cui ai limiti della tabella 1 del § 6.1 della UNI EN 10029, mentre per lunghezza e larghezza si riteranno conformi elementi rispondenti ai limiti delle tabelle 3 e 2 dei §§ 6.3 e 6.2 della UNI EN 10029;
  - secondo la UNI EN 10210-2 per acciai di cui alla UNI EN 10210-1: si riterranno conformi le lamiere con tolleranza di cui ai prospetti 2, 3 e 4 della UNI EN 10210-2;
  - secondo la UNI EN 10219-2 per acciai di cui alla UNI EN 10219-1: si riterranno conformi le lamiere con tolleranza di ai prospetti 2, 3 e 4 della UNI EN 10219-2;
  - per bulloni e chiodi non sono previste prove dimensionali salvo specifiche richieste del Collaudatore o del Direttore dei Lavori.

- Prove di trazione (snervamento f_y, rottura f_t, allungamento): per impieghi strutturali a temperatura ambiente secondo la norma UNI EN ISO 6892-1. Si riterranno conformi elementi rispondenti ai limiti:
  - del prospetto 6 della norma UNI EN 10025-2 per acciai laminati a caldo non legati;
  - del prospetto 4 della norma UNI EN 10025-3 per acciai laminati a caldo a grano fine saldabili;
  - del prospetto 4 della norma UNI EN 10025-4 per acciai laminati a caldo saldabili a grano fine ottenuti mediante laminazione termomeccanica
  - del prospetto 4 della norma UNI EN 10025-5 per acciai laminati a caldo con resistenza migliorata alla corrosione atmosferica;
  - del prospetto A.3 o B.3 della norma UNI EN 10210-1 per profilati cavi finiti a caldo di acciai non legati e a grano fine;
  - del prospetto A.3, B.4 o B.5 della norma UNI EN 10219-1 per profilati cavi saldati formati a freddo.

Determinati i valori di cui snervamento f_y, rottura f_t per gli acciai di cui al presente capoverso inerente le prove di trazione occorre verificare che rapporti f_t/f_y, e f_y/f_{ynom} siano ricompresi nei limiti di cui al §25.4.1.1 nel caso di applicazioni nelle zone dissipative delle costruzioni (non comuni tra quelle oggetto di questo articolo di capitolato) soggette ad azioni sismiche.

- Prove di resilienza su provetta Charpy secondo la norma UNI EN ISO 148-1. Si riterranno conformi elementi rispondenti ai limiti:
  - del prospetto 8 della norma UNI EN 10025-2 per acciai laminati a caldo non legati;
  - del prospetto 5 della norma UNI EN 10025-3 per acciai laminati a caldo a grano fine saldabili;
  - del prospetto 5 della norma UNI EN 10025-4 per acciai laminati a caldo saldabili a grano fine ottenuti mediante laminazione termomeccanica
  - del prospetto 5 della norma UNI EN 10025-5 per acciai laminati a caldo con resistenza migliorata alla corrosione atmosferica;
  - del prospetto A.3 o B.3 della norma UNI EN 10210-1 per profilati cavi finiti a caldo di acciai non legati e a grano fine;
  - del prospetto A.3, B.4 o B.5 della norma UNI EN 102019-1 per profilati cavi saldati formati a freddo.

- Analisi chimica secondo UNI EN 10315, UNI EN ISO 15350 o al CR 10320:
  - del prospetto 3 della norma UNI EN 10025-2 per acciai laminati a caldo non legati;
  - del prospetto 2 della norma UNI EN 10025-3 per acciai laminati a caldo a grano fine saldabili;
  - del prospetto 2 della norma UNI EN 10025-4 per acciai laminati a caldo saldabili a grano fine ottenuti mediante laminazione termomeccanica
  - del prospetto 3 della norma UNI EN 10025-5 per acciai laminati a caldo con resistenza migliorata alla corrosione atmosferica;
  - del prospetto 1 della norma UNI EN 10210-1 per profilati cavi finiti a caldo di acciai non legati e a grano fine;
  - del prospetto 1 della norma UNI EN 10219-1 per profilati cavi saldati formati a freddo

Le prove da eseguire sui prelievi di cui sopra a cura della Direzione Lavori sui bulloni, chiodi e tirafondi sono le seguenti:

- di resistenza allo snervamento viti ($R_{eL,}$) secondo il § 9.7 della UNI EN ISO 898-1: si riterranno conformi elementi rispondenti ai limiti: del prospetto 3 della stessa norma 898-1;
- di resistenza alla trazione viti ($R_{m,}$) secondo il § 9.7 della UNI EN ISO 898-1 e si riterranno conformi elementi rispondenti ai limiti del prospetto 3 della stessa norma 898-1;
- di allungamento viti (A) secondo il § 9.7 della UNI EN ISO 898-1: si riterranno conformi elementi rispondenti ai limiti del prospetto 3 della stessa norma 898-1;
- di resilienza viti secondo il § 9.14 della UNI EN ISO 898-1: si riterranno conformi elementi rispondenti ai limiti del prospetto 3 della stessa norma 898-1;
- di durezza viti secondo il § 9.9 della UNI EN ISO 898-1 e si riterranno conformi elementi rispondenti ai limiti del prospetto 3 della stessa norma 898-1;
- di durezza dadi secondo il § 9.2 della UNI EN ISO 898-2 e si riterranno conformi elementi rispondenti ai limiti del prospetto 7 della stessa norma 898-2;
- di durezza rondelle secondo la UNI EN ISO 6507-1 o UNI EN ISO 6508-1 e si riterranno conformi elementi rispondenti ai limiti delle citate norme;

- di spessore locale del rivestimento della zincatura a caldo secondo la UNI EN ISO 2178 nei limiti di cui ai §§ 25.4.1.3 e 25.4.1.6;
- di uniformità del rivestimento di zincatura a caldo secondo la norma UNI 11406.

Le prove di trazione, resilienza e chimiche da eseguire sugli elementi di carpenteria in acciaio inossidabile sono da eseguirsi in confomormità alle indicazione del § 7.4 della UNI EN 10088-4 e § 7.4 della UNI EN 10088-5. L'acciaio inox sarà sottoposto anche alla prova di resistenza alla corrosione intergranulare in conformità alla UNI EN ISO 3651-2.

Se un risultato è non conforme, sia il provino che il metodo di prova devono essere esaminati attentamente. Se nel provino è presente un difetto o si ha ragione di credere che si sia verificato un errore durante la prova, il risultato della prova stessa deve essere ignorato. In questo caso occorrerà prelevare un ulteriore (singolo) provino. Se i tutti risultati validi della prova sono maggiori o uguali del previsto valore di accettazione, il lotto consegnato deve essere considerato conforme.
Se i criteri sopra riportati non sono soddisfatti, un ulteriore campionamento, di numerosità doppia rispetto a quanto precedentemente previsto in relazione alle varie tipologie di prodotto, deve essere effettuato da prodotti diversi del lotto in presenza del fabbricante o suo rappresentante che potrà anche assistere all'esecuzione delle prove presso un laboratorio di cui all'art. 59 del DPR n. 380/2001.
Il lotto deve essere considerato conforme se i singoli risultati ottenuti sugli ulteriori provini è maggiore del valore di accettazione. In caso contrario il lotto deve essere respinto e il risultato segnalato al Servizio Tecnico Centrale senza che ciò possa dare diritto a richieste od al riconoscimento di alcun compenso, indennizzo o extracosto, di qualsivoglia natura, né diretto, né indiretto.

In aggiunta a quanto sopra occorre eseguire le prove per la verifica della protezione alla corrosione adottata di cui all'art. 25bis.

25.9 Controlli dei documenti di accompagno delle forniture in cantiere

In accordo al § 11.3.1.5 delle NTC2018, tutte le forniture di acciaio in arrivo in cantiere, per le quali sussiste l'obbligo della Marcatura CE, devono essere accompagnate da:
- Copia del Documento di trasporto DDT
- Copia della Marcatura CE e DOP
- Certificato di controllo interno 3.1. di cui alla norma UNI EN 10204

Si prescrive anche l'obbligo di mantenere compilato ed aggiornato un registro di tutte le carpenterie che man mano giungono in cantiere in modo da garantire sempre la rintracciabilità di tutti i componenti. Detto registro deve implementare i contenuti indicati al § 25.6.3 con l'elenco dei documenti di cui sopra.

L'Appaltatore deve sempre verificare la rispondenza tra i documenti di cui sopra e le forniture in arrivo in cantiere e consegnare settimanalmente copia di detti documenti unitamente al registro della rintracciabilità dei materiali alla Direzione Lavori.

25.10 Montaggio e controlli delle carpenterie a piè d'opera in cantiere (eventuale)

L'Appaltatore è tenuto a completare il montaggio delle carpenterie in officina tenendo conto della fattibilità del trasporto alle aree di cantiere delle varie parti assemblate.

L'Appaltatore è tenuto ad attrezzare in maniera idonea un'area di stoccaggio per le carpenterie anche dal punto di vista ambientale della protezione del suolo da eventuali contaminazioni derivanti dalle lavorazioni previste in tale area e comunque secondo le previsioni progettuali o, laddove queste non siano ritenute sufficienti, è tenuto a provvedere a sua cura e spese senza che ciò possa dare diritto a richieste od al riconoscimento di alcun compenso, indennizzo o extracosto, di qualsivoglia natura, né diretto, né indiretto.
Gli elementi di carpenteria non devono per alcun motivo essere appoggiati direttamente sul terreno per evitare che si sporchino, al riguardo occorre posizionare un adeguato telo di separazione oppure utilizzare appositi distanziatori rispetto al piano di appoggio.
Anche tutti gli accessori da utilizzare per il montaggio delle carpenterie come ad esempio i bulloni, i tirafondi, ecc. devono essere preservati dal contatto con il suolo e da contatti accidentali con attrezzi o mezzi operativi che possono comprometterne la funzionalità e sono da conservare il luoghi chiusi idoneamente predisposti fino al momento del loro utilizzo.
L'Appaltatore è responsabile della manutenzione delle aree di stoccaggio al fine di manterle in piena efficienza per tutta la durata del cantiere.
Ogni lavorazione in cantiere deve rispettare i contenuti di cui al § 25.7 e degli specifici contenuti di cui al §25.6.2.
Nei collegamenti con bulloni si dovrà procedere alla alesatura di quei fori che non risultino centrati e nei quali i bulloni previsti in Progetto non entrino liberamente.
Se il diametro del foro alesato risulta superiore al diametro nominale del bullone oltre la tolleranza prevista dalle norme in vigore, si dovrà procedere alla sostituzione del bullone con uno di diametro superiore previa approvazione del progettista.
L'appaltatore nella fase di montaggio procederà alla compilazione di documentazione che attesti la corretta esecuzione secondo quanto riportato nei seguenti paragrafi sui controlli.

25.10.1 Controlli delle saldature in cantiere

Sono ammesse in cantiere esclusivamente operazioni di saldatura che per loro natura non possono essere eseguite in officina.
Per queste, oltre ai controlli interni di qualità in capo al Direttore Tecnico dello stabilimento, occorre procedere ai controlli di cui al § 25.8.1.
Per procedere alle saldature in cantiere sarà necessario attrezzare a cura e spese dell'appaltatore aree idonee in conformità con le procedure approvate dall'IIS o istituto equivalente.

25.10.2 Controlli delle carpenterie in cantiere

Prima del posizionamento in opera degli impalcati e in generale di carpenterie che hanno necessitato di un assemblaggio a piè d'opera, indipendentemente dal metodo di varo, l'Appaltatore dovrà controllare e dare evidenza alla Direzione Lavori di tali controlli in merito a:

- geometria di assemblaggio di ogni singolo concio
- accoppiamento tra conci contigui
- geometria di controventi e diaframmi, con verifica delle tolleranze foro/bullone
- controllo a spot degli spessori impiegati
- acquisizione dei certificati di approvazione da parte di Ente terzo di eventuali giunti saldati di cantiere e relative specifiche di saldatura
- controlli di serraggio e relative superfici di accoppiamento per eventuali giunti bullonati eseguiti a piè d'opera
- topograficamente le quote planoaltimetriche dei punti di contatto della struttura di appoggio con la carpenteria metallica da varare

25.10.3 Controlli del serraggio dei bulloni

Al termine del montaggio a piè d'opera della carpenteria metallica e del completamento del serraggio di tutti i bulloni a cura dell'Appaltatore risulta necessario procedere alla verifica del serraggio nella seguente modalità in ordine cronologico:

1. verifica a cura dell'Appaltatore almeno sul 20% del totale delle unioni bullonate ed in ogni caso su non meno di quattro con evidenza del controllo da trasmettere in un report alla Direzione Lavori;
2. verifica a cura della Direzione Lavori in contraddittorio con l'Appaltatore almeno sul 10% del totale delle unioni bullonate a mezzo di certificato di laboratorio.

Per il controllo del serraggio si procederà nel modo seguente:

- Marcatura con pennarello indelebile di dado, vite e lamiera per identificarne la posizione relativa;
- Serraggio del dado con la coppia prescritta e controllo che l'angolo di rotazione tra vite e dado non risulti > di +15°.

Se il bullone risulta sotto serrato dovrà essere riportato al corretto serraggio e dovranno essere verificati tutti i bulloni del giunto.
E' prescritta inoltre prevista la verifica del sovra serraggio sul 5% dei bulloni da eseguire in contraddittorio tra Appaltatore e Direttore dei Lavori con la seguente modalità:

- Allentamento del dado con una rotazione almeno pari a 60° prestando attenzione che non ruoti la vite nel qual caso occorre tenere ferma la testa dalla parte opposta;
- Serraggio del dado con la coppia prescritta e controllo del ritorno alla posizione originaria.

Nel caso in cui l'angolo di rotazione tra vite e dado dovesse risultare > di -15° il bullone risulta sovra serrato. Tutti i bulloni sovra serrati dovranno essere sostituiti ed il controllo verrà esteso a tutti i bulloni del giunto.

Relativamente alle modalità di montaggio ed al controllo dei bulloni si farà riferimento alla norma EN 1090-2.
È ammesso il serraggio dei bulloni con chiave idraulica purché questo sia controllato con chiave dinamometrica, la cui taratura dovrà risultare da certificato rilasciato da Laboratorio Ufficiale in data non anteriore a dodici mesi.

25.11 Prequalifica "Q3" delle operazioni di varo

L'Appaltatore sottoporrà al preventivo benestare della Direzione Lavori il sistema e le modalità esecutive che intende adottare (qualifica "Q3"), ferma restando la piena responsabilità dell'Appaltatore stesso per quanto riguarda l'esecuzione delle operazioni di montaggio, la loro rispondenza a tutte le norme di legge ed ai criteri di sicurezza che comunque possono riguardarle.
Il sistema prescelto potrà essere in alternativa a quello previsto a Progetto purchè ne rispetti i livelli di sicurezza e sia idoneo a consentire la realizzazione della struttura in conformità alle disposizioni contenute nel Progetto esecutivo ed in accordo ai tempi contrattuali.
La relazione di varo dovrà essere redatta in coerenza con il POS da sottoporre per approvazione al Coordinatore della Sicurezza in fase di Esecuzione e deve contenere una descrizione dei seguenti aspetti:

- *Cronoprogramma esecutivo della sequenza di montaggio*: descrizione delle varie fasi di lavoro in funzione e nel rispetto rigoroso, ove applicabile, dei tempi di parzializzazione o chiusura delle corsie stradali e/o autostradali. Tale sequenza deve essere realizzata su scala oraria e riportare tutte le squadre e i mezzi impegnati nelle singole lavorazioni;

- *Verifica della stabilità dei mezzi di sollevamento*: indicare in una o più planimetrie e sezioni la posizione, il tipo di mezzo di sollevamento, la portata, il raggio d'azione in funzione della massima dimensione e peso dei pezzi da movimentare, di eventuali azioni orizzontali (anche massima velocità del vento ammissibile) in tutte le fasi di lavoro provvisorie. Occorre altresì verificare l'idoneità dei piani di appoggio nei punti di scarico a terra delle grù e degli apprestamenti provvisionali a mezzo di opportune prove di piastra da eseguirsi a onere dell'Appaltatore. Eventuali adeguamenti dei piani di appoggio restano un onere a carico dell'Appaltatore;
- *Schema di sollevamento*: indicare la modalità di aggancio e imbracatura della carpenteria ai mezzi di sollevamento;
- *Schema di trasporto della carpenteria dall'area di assemblaggio all'area di varo*: indicare i mezzi utilizzati e lo schema di fissaggio della carpenteria trasportata con la valutazione dell'accessibilità ai luoghi e dell'assenza di ostacoli rispetto alla sagoma complessiva del carico (cartelli di segnaletica, cordoli, barriere di sicurezza, reti aeree interferenti, ecc.) che dovranno essere smontati e riposizionati a cura ed onere dell'Appaltatore. Resta altresì onere dell'Appaltatore quello di richiedere le opportune eventuali autorizzazioni per il trasporto eccezionale ai gestori proprietari delle viabilità;
- *Assistenza tecnica*: indicare il nome della ditta, recapito telefonico con reperibilità h 24 dell'assistenza tecnica in caso di guasto dei macchinari (autogrù, carrelloni, ecc) e tempo di intervento. Si precisa che è facontà insidacabile del Direttore dei Lavori richiedere che l'assistenza tecnica sia presente in cantiere durante le fasi di varo con onere a carico dell'Appaltatore;
- *Verifica delle controfrecce* intermedie per i vari realizzati per fasi e/o spinta compresa l'indicazione dei valori da monitorate e di eventuali controventature e/o pile provvisorie che si rendono necessarie;
- *L'indicazione della configurazione di bloccaggio / scorrimento di eventuali appoggi e ritegni* ove verranno poste le carpenterie e del momento in cui questi verranno definitivmente posti nella configurazione definitiva con la struttura;
- *Modalità di smontaggio delle eventuali strutture provvisorie*.
- *La previsione di opportune protezioni delle parti di carpenteria* che possono entrare in contatto con funi, catene ed altri organi di sollevamento;
- *Le modalita di serraggio* delle unioni bullonate in conformità alla norma UNI EN 1090-2 e ai contenuti del § 24.4.1.3.

In ragione dell'alto contenuto di natura strutturale, la relazione di varo dovrà essere firmata da un tecnico abilitato all'esercizio della professione e come visto dal Direttore Tecnico dell'Appaltatore.

Il DL e il CSE, in funzione della particolare natura del varo da eseguire, potranno a loro insindacabile giudizio implementare i contenuti della relazione di varo rispetto all'elenco di cui sopra.

Nell'impiego delle attrezzature di varo, l'Appaltatore è tenuto a rispettare le norme, le prescrizioni ed i vincoli che eventualmente fossero imposti da Enti, Uffici e persone responsabili riguardo alla zona interessata ed in particolare:
- per l'ingombro degli alvei dei corsi d'acqua;
- per le sagome da lasciare libere nei sovrappassi o sottopassi di strade, autostrade, ferrovie, e tramvie, ecc.;
- per le interferenze con servizi di soprassuolo e di sottosuolo.

25.12 Modalità esecutive del varo e controlli

Durante tutte le fasi di varo l'Appaltatore dovrà attenersi alle indicazioni di cui alla relazione di varo approvata dal Direttore dei Lavori con la massima cura per evitare, ritardi e che le strutture vengano deformate o soprasollecitate.

Per quelle operazioni di varo soggette a chiusure o parzializzazioni autostradali, l'Appaltatore deve monitorare continuamente la rispondenza del cronoprogramma esecutivo di cui al § 25.11 al reale avanzamento delle attività di cantiere ed avvisare immediatamente la Direzione Lavori e la Direzione di Tronco di competenza eventuali ritardi che possano compromettere la riuscita del varo nei tempi previsti. Laddove tali ritardi possano comportare un ritardo nella riapertura delle carreggiate autostradali rispetto ai tempi concessi, il Direttore dei Lavori, in qualsiasi momento, potrà sospendere in tutto o in parte le operazioni di varo. Ogni maggiore costo per il fermo delle macchine, degli operai e per la riprogrammazione ed esecuzione di un nuovo varo restano ad esclusivo carico dell'Appaltatore.

Il montaggio sarà eseguito in modo che la struttura raggiunga la configurazione geometrica di Progetto.
In particolare, per quanto riguarda le strutture a travata, si dovrà controllare che la controfreccia ed il posizionamento sugli apparecchi di appoggio siano conformi alle indicazioni di Progetto, rispettando le tolleranze previste, con particolare riferimento alle norme UNI EN 1090, parti 1 e 2.
La Direzione Lavori dovrà verificare l'efficacia delle prime operazioni di serraggio eseguite dall'Appaltatore rispetto alle indicazioni riportate nella qualifica Q3.

La stabilità delle strutture dovrà essere assicurata durante tutte le fasi costruttive e la rimozione dei collegamenti provvisori e di altri dispositivi ausiliari dovrà essere fatta solo quando essi risulteranno staticamente superflui.
Le superfici di contatto al montaggio nei collegamenti ad attrito con bulloni ad alta resistenza, sono in genere sabbiate e devono presentarsi pulite, prive di olio, scaglie di laminazione, macchie di grasso. Eventuali vernici saranno ammesse soltanto se previste a Progetto ed in conformità ai relativi test per la verifica del coefficiente di attrito.

Dopo il varo è necessario procedere al controllo del serraggio dei bulloni che sono stati serrati durante tali operazioni con la modalità indicata al § 25.10.3, ed al controllo delle saldature come al §25.8.1 eseguendo il controllo in contraddittorio tra Appaltatore e Direzione Lavori.

A fine posa in opera degli impalcati e prima di dar corso alle fasi di getto delle solette in c.a. nelle modalità definite in progetto o concordate con il Direttore dei Lavori, l'Appaltatore dovrà controllare quanto segue e fornire idoneo report alla Direzione Lavori:

- corrispondenza tra irrigidenti d'anima e asse appoggi
- contromonte residue
- verifica delle reazioni con martinetti idraulici

In tutte le fasi esecutive, comprese le fasi di preparazione e di sistemazione finale delle aree, per gli aspetti e le problematiche relative a temi ambientali, quali impatti acustici e vibrazionali, emissioni in atmosfera, impatto sulle acque superficiali, sotterranee e sul suolo, impatti sulla componente fauna e vegetazione, si rimanda integralmente a quanto prescritto dalla Normativa Nazionale e Regionale vigente, alle prescrizioni degli Enti preposti alla tutela ambientale, nonché alle condizioni ambientali

contenute nelle autorizzazioni ed alle disposizioni del Capitolato Ambientale e Piano di Gestione Terre/Piano di Utilizzo allegati al progetto esecutivo.

25.13 Penali

L'Appaltatore è tenuto altresì al rigoroso rispetto dei contenuti delle qualifiche Q1, Q2 e Q3.
In aggiunta a quanto sopra, nel caso in cui l'Appaltatore durante le operazioni di varo, non rispetti per qualsiasi motivo i tempi concessi dal gestore dell'infrastruttura autostradale per la riapertura al traffico delle corsie, è tenuto al pagamento di una penale con la seguente modalità.
Per tutte le tratte di viabilità autostradali la penale sarà pari a 1.000 €/h fino ad un massimo di 10.000 € nel caso in cui il ritardo della riapertura totale o parziale delle corsie, provochi una coda maggiore di 2 km o nel caso il gestore della viabilità sia costretto a deviare il traffico verso altri percorsi.

Art. 25 NO CAM - Acciaio per strutture metalliche e per strutture composte acciaio calcestruzzo

25.1 Campo di applicazione

Questo articolo di capitolato si applica a tutte le carpenterie metalliche avente funzione strutturale ed utilizzate per la realizzazione di impalcati stradali, gallerie foniche, passerelle barriere acustiche e integrate (per quanto non in contrasto con quello prescritto al § 36.2.9 e 36.2.10 e ad esclusione della parte afferente le barriere di sicurezza), pensiline di stazione, pali e portali di segnaletica, portali a messaggio variabile (PMV e PMF), torri faro, tettoie, edifici, centine e centinini per gallerie ed in generale qualsiasi elemento strutturale con processo di assemblaggio in stabilimento.
Le strutture metalliche dovranno sempre prevedere una protezione contro la corrosione che sarà individuata negli elaborati progettuali e potrà essere realizzata direttamente con l'utilizzo di un acciaio autoprotetto o tramite verniciatura o zincatura nelle modalità previste nell'art. 25bis.

25.2 Normativa di riferimento

- NTC 2018 § 11.3.1 Generalità comuni a tutte le tipologie di acciaio
  § 11.3.4 Acciaio per strutture metalliche e per strutture composte

Norme per la valutazione della conformità e delle condizioni di fornitura

- UNI EN 1090-1: Esecuzione di strutture di acciaio e di alluminio - Parte 1: Requisiti per la valutazione di conformità dei componenti strutturali
- UNI EN 1090-2: Esecuzione di strutture di acciaio e di alluminio - Parte 2: Requisiti tecnici per strutture di acciaio
- UNI EN 10025-1: Prodotti laminati a caldo di acciai per impieghi strutturali - Parte 1: Condizioni tecniche generali di fornitura
- UNI EN 10025-2: Prodotti laminati a caldo di acciai per impieghi strutturali - Parte 2: Condizioni tecniche di fornitura di acciai non legati per impieghi strutturali
- UNI EN 10025-3: Prodotti laminati a caldo di acciai per impieghi strutturali - Parte 3: Condizioni tecniche di fornitura di acciai per impieghi strutturali saldabili a grano fine allo stato normalizzato/normalizzato laminato
- UNI EN 10025-4: Prodotti laminati a caldo di acciai per impieghi strutturali - Parte 4: Condizioni tecniche di fornitura di acciai saldabili a grano fine per impieghi strutturali ottenuti mediante laminazione termomeccanica
- UNI EN 10025-5: Prodotti laminati a caldo di acciai per impieghi strutturali - Parte 5: Condizioni tecniche di fornitura di acciai con resistenza migliorata alla corrosione atmosferica per impieghi strutturali
- UNI EN 10210-1: Profilati cavi finiti a caldo di acciai non legati e a grano fine per impieghi strutturali - Parte 1: Condizioni tecniche di fornitura
- UNI EN 10219-1: Profilati cavi saldati formati a freddo per impieghi strutturali di acciai non legati e a grano fine - Parte 1: Condizioni tecniche di fornitura
- UNI EN 10088-4: Acciai inossidabili - Parte 4: Condizioni tecniche di fornitura dei fogli, delle lamiere e dei nastri di acciaio resistente alla corrosione per impieghi nelle costruzioni
- UNI EN 10088-5: Acciai inossidabili - Parte 5: Condizioni tecniche di fornitura delle barre, vergelle, filo, profilati e prodotti trasformati a freddo di acciaio resistente alla corrosione per impieghi nelle costruzioni
- UNI EN 14399-1: Assiemi di bulloneria strutturale ad alta resistenza da precarico - Parte 1: Requisiti generali per assiemi strutturali di viti, dadi e rondelle ad alta resistenza adatti ad un precarico determinato

- UNI EN 14399-3: Assiemi di bulloneria strutturale ad alta resistenza da precarico - Parte 3: Sistema HR - Assiemi vite e dado esagonali
- UNI EN 14399-4: Assiemi di bulloneria strutturale ad alta resistenza da precarico - Parte 4: Sistema HV - Assiemi vite e dado esagonali
- UNI EN 14399-10: Assiemi di bulloneria strutturale ad alta resistenza da precarico - Parte 10: Sistema HRC - Assiemi vite e dado con serraggio calibrato

Prove per l'accertamento delle caratteristiche meccaniche e chimiche

- UNI EN ISO 377: Acciaio e prodotti di acciaio - Prelievo e preparazione dei campioni e dei provini per prove meccaniche
- UNI EN ISO 6892-1: Materiali metallici - Prova di trazione - Parte 1: Metodo di prova a temperatura ambiente
- UNI EN ISO 148-1: Materiali metallici - Prova di resilienza Charpy - Parte 1: Metodo di prova
- UNI EN 10315: Metodi di routine per l'analisi di acciai alto legati per spettrometria di luorescenza ai raggi X mediante un metodo di correzione
- UNI EN ISO 15350 Acciai e ghise - Determinazione del contenuto totale di carbonio e di zolfo - Metodo di assorbimento nell'infrarosso dopo combustione in un forno a induzione (metodo di routine)
- CR 10320: Optical emission analysis of low alloy steels (routine method) - Method for determination of C, Si, S, P, Mn, Cr, Ni and Cu
- UNI EN 14399-2: Assiemi di bulloneria strutturale ad alta resistenza da precarico - Parte 2: Idoneità al precarico
- UNI EN ISO 898-1: Caratteristiche meccaniche degli elementi di collegamento di acciaio - Parte 1: Viti e viti prigioniere con classi di resistenza specificate - Filettature a passo grosso e a passo fine
- UNI EN ISO 898-2: Caratteristiche meccaniche degli elementi di collegamento di acciaio al carbonio e acciaio legato - Parte 2: Dadi con classi di resistenza specificate - Filettatura a passo grosso e filettatura a passo fine
- UNI EN ISO 6507-1: Materiali metallici - Prova di durezza Vickers - Parte 1: Metodo di prova
- UNI EN ISO 6508-1: Materiali metallici - Prova di durezza Rockwell - Parte 1: metodo di prova

25.3 Criteri di accettazione per la produzione, qualifica e trasformazione degli acciai

25.3.1 Generalità sulla conformità degli acciai

Per la realizzazione di strutture metalliche e di strutture composte oggetto della presente voce di capitolato si dovranno utilizzare esclusivamente acciai dotati di marcatura CE in conformità alla seguenti norme europee armonizzate:

- UNI EN 10025-1 per i prodotti laminati a caldo con sistema di attestazione della conformità di tipo 2+;
- UNI EN 10210-1 per i tubi senza saldatura formati a caldo con sistema di attestazione della conformità di tipo 2+;
- UNI EN 10219-1 per i profilati cavi saldati formati a freddo con sistema di attestazione della conformità di tipo 2+.

Solo per i prodotti per cui non sia applicabile la marcatura CE si rimanda a quanto specificato al punto B del § 11.1 e in tal caso i produttori di nastri e lamiere in acciaio devono:

- organizzare la produzione con un sistema permanente di controllo interno della produzione in stabilimento che deve assicurare il mantenimento dello stesso livello di affidabilità nella conformità del prodotto finito, indipendentemente dal processo di produzione ed essere in

possesso del Certificato UNI EN ISO 9001 del sistema di gestione qualità e certificato da parte di un organismo terzo indipendente, di adeguata competenza ed organizzazione, che opera in coerenza con le norme UNI CEI EN ISO/IEC 17021-1;

- essere in possesso dell'Attestato di qualificazione, rilasciato dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici in conformità al § 11.3.1.2 delle NTC2018. L'Attestato di qualificazione ha validità di cinque anni, tuttavia, i produttori con cadenza annuale, devono procedere al mantenimento di detto Attestato nei modi indicati al § 11.3.1.3 e all'esecuzione di tutti i controlli e prove di laboratorio sugli acciai di cui al § 11.3.4.11 delle NTC2018;
- garantire l'identificazione e la rintracciabilità dei prodotti qualificati tramite marchiatura indelebile depositata presso il Servizio Tecnico Centrale, dalla quale risulti, in modo inequivocabile, il riferimento all'Azienda produttrice, allo Stabilimento, al tipo di acciaio ed alla sua eventuale saldabilità (§ 11.3.1.4 NTC2018). Ogni prodotto deve essere marchiato con identificativi diversi sia da quelli di prodotti fabbricati nello stesso stabilimento ma aventi differenti caratteristiche, sia da quelli di prodotti con uguali caratteristiche ma fabbricati in altri stabilimenti, siano essi o meno dello stesso fabbricante. La marchiatura deve essere inalterabile nel tempo e senza possibilità di manomissione.

Per la conformità di eventuali elementi di carpenteria non riferibili ad una norma armonizzata di marcatura CE, occorre riferirsi a quanto indicato al § 24.3 valido per gli acciai in c.a. e c.a.p. conformemente a quanto specificato al punto B del § 11.1 delle NTC2018 con l'applicazione della procedura di cui ai § 11.3.1.2 e § 11.3.4.11.1.

25.3.1.1 Acciaio inossidabile

È consentito l'impiego di acciaio inossidabile per la realizzazione di strutture metalliche e composte. Si dovranno utilizzare acciai conformi alle norme armonizzate UNI EN 10088-4 e UNI EN 10088-5, recanti la Marcatura CE e per i quali si rimanda a quanto specificato al punto A del § 11.1 delle NTC2018.

25.3.1.2 Acciaio per strutture saldate

Gli acciai per strutture saldate devono avere composizione chimica conforme a quanto riportato nelle norme europee armonizzate applicabili, di cui al § 25.3.1.

25.3.2 Obblighi per i centri di trasformazione e centri di produzione di elementi in acciao

Nell'ambito degli acciai per carpenteria metallica, per i prodotti e/o componenti strutturali per cui non sia applicabile la marcatura CE, si definiscono: *centri di trasformazione per carpenteria metallica* e *centri di produzione di elementi in acciaio*.

Nel caso in cui gli elementi base di acciaio (prodotti lunghi e/o piani di lamiere grecate e profilati formati a freddo, prodotti base per bulloni e chiodi, elementi strutturali di serie) vengano spediti dal produttore (detto appunto di elementi base in acciaio) a dei centri esterni alla fabbrica, per realizzare elementi singoli prelavorati che vengono successivamente utilizzati dalle officine di produzione di carpenteria metallica (per realizzare a loro volta strutture complesse nell'ambito elle costruzioni), tali luoghi sono definiti *centri di trasformazione per carpenteria metallica*. Tali luoghi si suddivisono in *centri di prelavorazione o di servizio* o *officine di produzione di carpenterie metalliche*.
I centri di trasformazione *per carpenteria metallica* devono:

- dotarsi di un sistema di controllo della lavorazione allo scopo di garantire che le lavorazioni effettuate assicurino il mantenimento della conformità delle caratteristiche meccaniche e geometriche dei prodotti alle presenti norme. Il sistema di gestione della

qualità del prodotto, che sovrintende al processo di trasformazione, deve essere predisposto in coerenza con la norma UNI EN ISO 9001 certificato da parte di un organismo terzo indipendente, di adeguata competenza ed organizzazione, che opera in coerenza con la norma UNI CEI EN ISO/IEC 17021-1;

- dichiarare al Servizio Tecnico Centrale la loro attività nelle modalità definite nel § 11.3.1.7 delle NTC2018 ed ottenere dallo stesso Servizio Tecnico Centrale l'Attestato di denuncia dell'Attività di centro di trasformazione. I centri di trasformazione sono tenuti a comunicare ogni variazione rispetto a quanto dichiarato in sede di presentazione della denuncia di attività;
- mantenere l'identificazione e la rintracciabilità dei prodotti dalla quale risulti, in modo inequivocabile, il riferimento all'Azienda produttrice, allo Stabilimento, al tipo di acciaio ed alla sua eventuale saldabilità. Qualora, l'unità marchiata (pezzo singolo o confezione) venga scorporata, per cui una parte, o il tutto, perda l'originale marchiatura del prodotto è responsabilità del centro di trasformazione documentare la provenienza mediante i documenti di accompagnamento del materiale e gli estremi del deposito del marchio presso il Servizio Tecnico Centrale;
- far eseguire da laboratori di cui all'art. 59 del D.P.R. 380/2001 le prove indicate negli specifici paragrafi relativi a ciascun prodotto in acciaio (§11.3.4.11.2 delle NTC2018) e devono comunicare al Servizio Tecnico Centrale le eventuali variazioni apportate al processo di produzione depositato;

I centri di produzione di elementi in acciaio sono:

- *centri di produzione di prodotti formati a freddo e lamiere grecate*: tutti quegli impianti che ricevono dai produttori di acciaio nastri o lamiere e realizzano profilati formati a freddo, lamiere grecate e pannelli composti profilati, ivi compresi quelli saldati che però non siano sottoposti a successive modifiche o trattamenti termici. Per quanto riguarda i materiali soggetti a lavorazione, può farsi utile riferimento, oltre a quanto richiamato in precedenza, anche alle norme UNI EN 10346, UNI EN 10268 ed UNI EN 10149 (parti 1, 2 e 3);
- *le officine per la produzione di bulloni e chiodi*: tutti quegli impianti che ricevono dai produttori di acciaio prodotti base e realizzano bulloni e chiodi di cui al § 11.3.4.6 delle NTC2018;
- *le officine di produzione di elementi strutturali:* tutti quegli impianti che ricevono dai produttori di acciaio prodotti base qualificati e realizzano elementi strutturali in serie per l'impiego nelle costruzioni non ricadenti nelle precedenti categorie.

Per i centri di produzione di elementi in acciaio, oltre agli obblighi validi per i centri di trasformazione sopra elencati, si applicano anche gli obblighi del produttore di elementi base di cui al precedente § 25.3.1.

25.3.3 Classe di esecuzione della struttura

Il progetto definisce il livello di qualità di realizzazione dell'opera richiesto individuando la classe di esecuzione dell'opera tra quelle previste al §4.1.2 della norma UNI EN 1090-2 come richiesto al § 4.2 delle NTC2018. Le classi possibili vanno da 1 a 4 con livello crescente: EXC1, EXC2, EXC3, EXC4 e sono attribuite in funzione delle conseguenze, in termini di perdita di vite umane e danni economici, di un collasso o di un malfunzionamento delle opere, in funzione della severità delle azioni ambientali alle quali le opere sono soggette e in funzione della tipologia costruttiva adottata. Una struttura può avere anche diverse EXC per diverse sue parti.
L'Appaltatore è tenuto ad applicare alle strutture fornite le prescrizioni stabilite dalla UNI EN 1090-2 per la classe di esecuzione assegnata.

I requisiti specifici per ciascuna delle classi di esecuzione sono indicati al prospetto A.3 della norma UNI EN 1090-2
di carpenteria metallica oggetto del presente articolo di capitolato:

prospetto A.3 **Requisiti per ciascuna classe di esecuzione**

Punti	EXC1	EXC2	EXC3	EXC4
4 - Specifiche e documentazione				
4.2 Documentazione del costruttore				
4.2.1 Documentazione sulla qualità [PC]	Nr	Sì	Sì	Sì
5 - Prodotti costituenti				
5.2 Identificazione, documenti di ispezione e rintracciabilità				
Rintracciabilità [PC]	Nr	Sì (per marcatura)	Sì (dal ricevimento al passaggio di consegne)	Sì (dal ricevimento al passaggio di consegne)
Marcatura [PC]	Nr	Sì	Sì	Sì
6 - Preparazione e assemblaggio				
6.4 Taglio				
6.4.3 Taglio termico [PC]	Vedere prospetto 9	Vedere prospetto 9	Vedere prospetto 9	Vedere prospetto 9
7 - Saldatura				
7.1 Generalità				
7.1 Generalità [PC]	EN ISO 3834-4	EN ISO 3834-3	EN ISO 3834-2	EN ISO 3834-2
7.4 Qualificazione delle procedure di saldatura e del personale addetto alla saldatura				
7.4.1 Qualificazione delle procedure di saldatura				
7.4.1.1 Generalità [PC]	Istruzioni di lavoro appropriate (se specificate per l'utilizzo)	Vedere EN ISO 3834-3	Vedere EN ISO 3834-2	Vedere EN ISO 3834-2
7.4.1.2 Qualificazione delle procedure di saldatura [PC]	Nr	Vedere prospetto 12	Vedere prospetto 12	Vedere prospetto 12
7.4.2.1 Saldatori e operatori di saldatura [PC]	Frequenza di riconvalida specificata	Vedere EN ISO 3834-3	Vedere EN ISO 3834-2	Vedere EN ISO 3834-2
7.4.3 Coordinamento delle attività di saldatura [PC]	Supervisione sufficiente	Conoscenze tecniche secondo i prospetti 14 o 15	Conoscenze tecniche secondo i prospetti 14 o 15	Conoscenze tecniche secondo i prospetti 14 o 15
7.5 Preparazione ed esecuzione della saldatura				
7.5.1 Preparazione del giunto				
7.5.1.1 Generalità [PC]	Nr	Primer di prefabbricazione non ammessi se non sottoposti a prova	Primer di prefabbricazione non ammessi se non sottoposti a prova	Primer di prefabbricazione non ammessi se non sottoposti a prova
7.5.6 Attacchi temporanei [PS]	Nr	Nr	Possono essere specificate restrizioni sull'utilizzo	Possono essere specificate restrizioni sull'utilizzo
7.5.7 Saldature di puntatura [PC]	Nr	Procedura di saldatura qualificata	Procedura di saldatura qualificata	Procedura di saldatura qualificata

CONSULTAZIONE

Punti	EXC1	EXC2	EXC3	EXC4
7.5.9 Saldature di testa				
7.5.9.1 Generalità [PC]	Nr	Pezzi di inizio saldatura e di fine saldatura per saldature di testa trasversali a piena penetrazione (se specificato) Pezzi di inizio saldatura e di fine saldatura per saldature di testa longitudinali a piena penetrazione o saldature di testa a penetrazione parziale (se specificato)	Pezzi di inizio saldatura e di fine saldatura per saldature di testa trasversali a piena penetrazione Pezzi di inizio saldatura e di fine saldatura per saldature di testa longitudinali a piena penetrazione o saldature di testa a penetrazione parziale (se specificato)	Pezzi di inizio saldatura e di fine saldatura per saldature di testa trasversali a piena penetrazione Pezzi di inizio saldatura e di fine saldatura per saldature di testa longitudinali a piena penetrazione o saldature di testa a penetrazione parziale (se specificato)
7.5.9.2 Saldature su un solo lato [PC]	Nr	Nr	Sostegno permanente continuo	Sostegno permanente continuo
7.6 Criteri di accettazione				
7.6.1 Requisiti ordinari [PC] [PS per EXC4]	EN ISO 5817 Generalmente livello di qualità D	EN ISO 5817 Generalmente livello di qualità C	EN ISO 5817 Livello di qualità B	EN ISO 5817, EXC3 come minimo con criteri specifici per saldature identificate
7.6.2 Requisiti di fatica [PC]	Non applicabile	EN ISO 5817:2014, appendice C (se il suo utilizzo è specificato)	EN ISO 5817:2014, appendice C (se il suo utilizzo è specificato)	EN ISO 5817:2014, appendice C (se il suo utilizzo è specificato)
9 - Costruzione				
9.6 Costruzione e lavoro in cantiere				
9.6.3 Manipolazione e immagazzinamento in cantiere [PC]	Nr	Procedura di ripristino documentata	Procedura di ripristino documentata	Procedura di ripristino documentata
12 - Ispezione, prove e riparazione				
12.4 Saldatura				
12.4.2 Ispezione dopo la saldatura				
12.4.2.3 Ispezione ordinaria [PC]	NDT: vedere prospetto 24	NDT: vedere prospetto 24	NDT: vedere prospetto 24	NDT: EXC3 secondo il prospetto 24 come minimo
12.4.2.4 Ispezione specifica di progetto [PS]	Vedere prospetto A.2	Vedere prospetto A.2	Vedere prospetto A.2	Giunti identificati per l'ispezione insieme con l'entità delle prove
12.4.2.7 Correzione delle saldature [PC]	Nr	Secondo la WPS	Secondo la WPS	Secondo la WPS
12.5 Elementi di collegamento meccanici				
12.5.2 Ispezione e prova di collegamenti imbullonati precaricati				
12.5.2.3 Prima del serraggio [PC]	Nr	Controllo della procedura di serraggio	Controllo della procedura di serraggio	Controllo della procedura di serraggio
12.5.2.4 Durante e dopo il serraggio [PC]	Nr	5% della seconda fase di serraggio utilizzando il tipo sequenziale A (se non diversamente specificato)	5% della prima fase di serraggio e 10% della seconda fase di serraggio utilizzando il tipo sequenziale A (se non diversamente specificato)	5% della prima fase di serraggio e 10% della seconda fase di serraggio utilizzando il tipo sequenziale B (se non diversamente specificato)
12.5.2.5 Metodo della coppia [PC]	Nr	Vedere prospetto 25	Vedere prospetto 25	Vedere prospetto 25
12.5.2.6 Metodo combinato [PC]	Nr per il controllo della prima fase di serraggio	Nr per il controllo della prima fase di serraggio	Controllo della prima fase di serraggio prima della marcatura	Controllo della prima fase di serraggio prima della marcatura

CONSULTAZIONE

Punti	EXC1	EXC2	EXC3	EXC4
12.5.2.7 Metodo HRC [PC]	Nr	Ispezione della prima fase di serraggio	Ispezione della prima fase di serraggio	Ispezione della prima fase di serraggio
12.5.3.1 Ispezione, prova e riparazione di rivetti solidi per rivettatura a caldo [PC]	Nr	Prova del suono Tipo sequenziale A	Prova del suono Tipo sequenziale A	Prova del suono Tipo sequenziale B
12.7 Costruzione				
12.7.3.1 Indagine della posizione geometrica dei nodi di collegamento [PC]	Nr	Nr	Registrazione dell'esame	Registrazione dell'esame

Se non diversamente specificato al progetto tutte le carpenterie metalliche oggetto di questo articolo di capitolato hanno classe di esecuzione EXC3.
Fanno eccezione i tratti di barriere acustiche ed integrate in rilevato o su cordolo con altezza fino a 5 metri senza sbraccio se non sovrappassanti linee di comunicazione interferenti, i pali e monopali di segnaletica e le torri faro per cui è richiesta la classe EXC2.

25.4 Criteri di accettazione per gli acciai

25.4.1.1 Requisiti di qualità degli acciai laminati

Gli acciai laminati a caldo per uso strutturale vengono denominati in base al prospetto 1 di cui alla norma UNI EN 10027-1 di cui si riepiloga lo schema sintetico di designazione:

- Simbolo principale per l'impiego specifico:
  - S: acciaio per impiego strutturale (per impieghi di questo articolo di capitolato)
  - B: acciaio per cemento armato (per impieghi di cui all'art 25 del capitolato)
  - Y: acciaio per cemento armato precompresso (per impieghi di cui all'art 25 del capitolato)
  - …. altri impieghi non ammessi in questo articolo di capitolato
- Simbolo principale per l'individuazione delle caratteristiche meccaniche afferenti il valore del carico di snervamento minimo in MPa per la gamma di spessore più ridotto:
  - 215 (non ammesso) 235, 255, 275, 335, 355, 390, 420, 430, 440, 460
- Simbolo addizionale per l'indicazione relativa alla resilienza in Joule:
  - J = 27J
  - K = 40J
  - L = 60 J
- Simbolo addizionale per l'indicazione relativa alla temperatura di prova di resilenza:
  - R = 20 °C
  - 0 = 0 °C
  - 2 = -20 °C
  - 3 = -30 °C
  - 4 = -40 °C
  - 5 = -50 °C
  - 6 = -60 °C
- Simbolo addizionale alfanumerico per la definizione delle condizioni di fornitura che per l'uso strutturale possono assumere i seguenti valori:
  - H = profili cavi
  - L = basse temperature
  - N= normalizzazione o laminazione di normalizzazione
  - M = laminazione termomeccanica
  - Q = Bonifica

- W = resistente alla corrosione atmosferica (CORTEN);
- …. altri impieghi non ammessi in questo articolo di capitolato

I valori nominali delle tensioni caratteristiche di snervamento f_{yk} e di rottura f_{tk} dei laminati a caldo assunti dal progettista nei calcoli, sono indicati nelle seguenti tabelle 4.2.I e 4.2.II delle NTC2018 riportati di seguito per comodità di consultazione.

Tab. 4.2.I – *Laminati a caldo con profili a sezione aperta piani e lunghi*

Norme e qualità degli acciai	Spessore nominale "t" dell'elemento			
	t ≤ 40 mm		40 mm < t ≤ 80 mm	
	f_{yk} [N/mm²]	f_{tk} [N/mm²]	f_{yk} [N/mm²]	f_{tk} [N/mm²]
UNI EN 10025-2				
S 235	235	360	215	360
S 275	275	430	255	410
S 355	355	510	335	470
S 450	440	550	420	550
UNI EN 10025-3				
S 275 N/NL	275	390	255	370
S 355 N/NL	355	490	335	470
S 420 N/NL	420	520	390	520
S 460 N/NL	460	540	430	540
UNI EN 10025-4				
S 275 M/ML	275	370	255	360
S 355 M/ML	355	470	335	450
S 420 M/ML	420	520	390	500
S 460 M/ML	460	540	430	530
S460 Q/QL/QL1	460	570	440	580
UNI EN 10025-5				
S 235 W	235	360	215	340
S 355 W	355	510	335	490

Tab. 4.2.II - *Laminati a caldo con profili a sezione cava*

Norme e qualità degli acciai	Spessore nominale "t" dell'elemento			
	t ≤ 40 mm		40 mm < t ≤ 80 mm	
	f_{yk} [N/mm²]	f_{tk} [N/mm²]	f_{yk} [N/mm²]	f_{tk} [N/mm²]
UNI EN 10210-1				
S 235 H	235	360	215	340
S 275 H	275	430	255	410
S 355 H	355	510	335	490
S 275 NH/NLH	275	390	255	370
S 355 NH/NLH	355	490	335	470
S 420 NH/NLH	420	540	390	520
S 460 NH/NLH	460	560	430	550
UNI EN 10219-1				
S 235 H	235	360		
S 275 H	275	430		
S 355 H	355	510		
S 275 NH/NLH	275	370		
S 355 NH/NLH	355	470		
S 275 MH/MLH	275	360		
S 355 MH/MLH	355	470		
S 420 MH/MLH	420	500		
S460 MH/MLH	460	530		
S460 NH/NHL	460	550		

Per le applicazioni nelle zone dissipative delle costruzioni (non comuni tra quelle oggetto di questo articolo di capitolato) soggette ad azioni sismiche devono essere specificati negli elaborati progettuali i seguenti ulteriori requisiti specificati nel § 11.3.4.9 delle NTC2018:

- per gli acciai da carpenteria il rapporto fra i valori caratteristici della tensione di rottura f_{tk} e la tensione di snervamento f_{yk} deve essere maggiore di 1,15[8] e l'allungamento a rottura A_5, misurato su provino standard, deve essere non inferiore al 20%;
- la tensione di snervamento media $f_{y,media}$ deve risultare inferiore ad 1,20 $f_{y,k}$ per acciaio S235 e S275, oppure ad 1,10 $f_{y,k}$ per acciai S355 S420 ed S460;
- i collegamenti bullonati devono essere realizzati con bulloni ad alta resistenza di classe 8.8 o 10.9.

Il valore del rapporto snervamento/snervamento nominale (f_y/f_{ynom}) risulti sempre non minore di 0,94 ($f_{y,min} \geq 425$ N/mm2) e non maggiore di 1,27 ($f_{y,max} \leq 572$ N/mm^2)[9].

La rispondenza a tali eventuali ulteriori requisiti devono essere verificati a cura del Direttore dei Lavori nella fase di controlli di accettazione di cui al § 25.8.2.

[8] Ai sensi del § C11.3.2.12 della Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP. – Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018, tale valore è incrementato a 1,15 da 1,10. Il maggiore limite di 1,15 deve essere preso come nuovo riferimento.

[9] Ai sensi del § C11.3.2.12 della Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP.

25.4.1.2 Tipologie di acciai laminati

Gli acciai laminati di uso generale per la realizzazione di strutture metalliche e per le strutture composte comprendono:

- Prodotti lunghi
  - laminati mercantili (angolari, L, T, piatti e altri prodotti di forma)
  - travi ad ali parallele del tipo HE e IPE, travi IPN
  - laminati ad U
- Prodotti piani
  - lamiere e piatti
  - nastri
  - nastri zincati di spessore ≤ 4 mm
- Profilati cavi
  - tubi prodotti a caldo
- Prodotti derivati
  - travi saldate (ricavate da lamiere o da nastri a caldo)
  - profilati a freddo (ricavati da nastri a caldo)
  - tubi saldati (cilindrici o di forma ricavati da nastri a caldo)
  - lamiere grecate (ricavate da nastri a caldo)

25.4.1.3 Unioni bullonate

25.4.1.3.1 Impieghi ammessi e generalità sulla conformità

L'elemento di unione è composto da: vite, dado e rondella. Esso è definito "assieme". Le unioni realizzate con bulloni si distinguono in "non precaricate" (non a serraggio controllato) e "precaricate" (a serraggio controllato) e sono utilizzabili entrambi con riferimento agli elaborati progettuali.
Sono ammesse unioni bullonate dotate di marcatura CE in conformità alla norma europea armonizzata UNI EN 14399-1 con sistema di attestazione della conformità di tipo 2+ idonea anche all'uso in giunzioni non precaricate.
Non sono ammessi assiemi con marcatura CE ai sensi della UNI EN 15048-1.
I sistemi di unione devono essere prescelti fra quelli indicati dalla norma EN 14399-3 (sistema HR) o dalla norma EN 14399-4 (sistema HV - elementi di unione precaricati o "a serraggio controllato").
È ammesso anche l'uso di bulloni HRC a serraggio controllato meccanicamente (con rottura del codolo) secondo quanto previsto dalle norme armonizzate EN 14399-10.

Viti, dadi e rondelle, in acciaio, devono essere associate come nelle seguenti tabelle 11.3.XIII.a (per gli assiemi non a serraggio controllato per giunzioni non precaricate) e 11.3.XIV (per gli assiemi a serraggio controllato per giunzioni precaricate) delle NTC2018.

Tab. 11.3.XIII.a

Viti	Dadi	Rondelle	Riferimento
Classe di resistenza UNI EN ISO 898-1:2013	Classe di resistenza UNI EN ISO 898-2:2012	Durezza	
8.8	8 oppure 10	100 HV min oppure 300 HV min.	UNI EN 14399-1
10.9	10 oppure 12		

Tab. 11.3.XIV

Sistema	Viti		Dadi		Rondelle	
	Classe di resistenza	Riferimento	Classe di resistenza	Riferimento	Durezza	Riferimento
HR	8.8	UNI EN 14399-1	8	UNI EN 14399-3	300-370 HV	UNI EN 14399 parti 5 e 6
	10.9	UNI EN 14399-3	10	UNI EN 14399-3		
HV	10.9	UNI EN 14399-4	10	UNI EN 14399-4		

Nelle unioni con bulloni ad alta resistenza delle classi 8.8 e 10.9, precaricati con serraggio controllato, per giunzioni ad attrito, le viti, i dadi e le rondelle devono essere forniti dal medesimo produttore.

Per quanto riguarda il materiale base costituente i bulloni e la protezione contro la corrosione valgono le seguenti prescrizioni:

- Per le strutture di carpenteria protette contro la corrosione tramite zincatura a caldo o verniciatura possono essere utilizzati due opzioni di rivestimento protettivo dei bulloni salvo indicazioni progettuali:
    - bulloni con materiali di base conforme al prospetto 2 della norma UNI EN ISO 898-1 per le viti e al prospetto 3 della norma UNI EN ISO 892-2 per i dadi, zincati per immersione a caldo in accordo alla norma UNI EN ISO 10684 con trattamento di centrifuga e tempra per uno spessore non inferiore a 100 µm. Per prevenire fenomeni di infragilimento nei bulloni di classe 10.9 si prescrive di deidrogenizzare gli elementi prima della zincatura. Lo spessore del rivestimento di zinco sulla filettatura deve essere tale da consentire l'avvitamento occorre perciò aumentare il diametro del dado o ridurre quello della vite rispetto alla dimensione non rivestita di circa un 400 µm (4 volte lo spessore della zincatura per filettature a 60° e 4,33 volte per le filettature a 55°);
    - bulloni neri con trattamento di brunitura (bagno di cloruro ferrico);
- Per le strutture in acciaio inossidabile si utilizzano bulloni realizzato in acciaio inossidabile conformemente alle prescrizioni di cui alla UNI EN ISO 3506-1 (Viti e viti prigioniere), UNI EN ISO 3506-2 (Dadi), UNI EN ISO 3506-3 (Viti senza testa e particolari similari non soggetti a trazione), UNI EN ISO 3506-4 (Viti autofilettanti). Per il materiale base si applica quanto previsto nella norma UNI EN 10088-4-5;
- Per le strutture in acciaio corten si utilizzano bulloni neri con trattamento di brunitura (bagno di cloruro ferrico.

È necessario che le forniture dei bulloni siano accompagnate da:

- dal documento di trasporto DDT con riferimento agli attestati comprovanti la qualificazione del prodotto.
- dalla marcatura CE e dalla dichiarazione di prestazione DoP conformemente alle specifiche di cui sopra.

25.4.1.3.2 Diametri delle viti, sistemi e coppie di serraggio per i bulloni 8.8 e 10.9

Il tipo di bullone e la coppia di serraggio sono generalmente indicate dal progettista negli elaborati progettuali conformemente alle tabelle 4.2.XVI e 4.2.XVII delle NTC2018 di seguito riportate:

Tabella 4.2.XVI – *Coppie di serraggio per i bulloni 8.8*

Viti 8.8 – Momento di serraggio M [N m]						
Vite	***k=0.10***	***k=0.12***	***k=0.14***	***k=0.16***	***$F_{p,C}$ [kN]***	***A_{res} [mm²]***
M12	56.6	68.0	79.3	90.6	47.2	84.3
M14	90.2	108	126	144	64.4	115
M16	141	169	197	225	87.9	157
M18	194	232	271	310	108	192
M20	274	329	384	439	137	245
M22	373	448	523	597	170	303
M24	474	569	664	759	198	353
M27	694	833	972	1110	257	459
M30	942	1131	1319	1508	314	561
M36	1647	1976	2306	2635	457	817

Tabella 4.2.XVII *Coppie di serraggio per bulloni 10.9*

Viti 10.9 – Momento di serraggio M [N m]						
Vite	***k=0.10***	***k=0.12***	***k=0.14***	***k=0.16***	***$F_{p,C}$ [kN]***	***A_{res} [mm²]***
M12	70.8	85.0	99.1	113	59.0	84.3
M14	113	135	158	180	80.5	115
M16	176	211	246	281	110	157
M18	242	290	339	387	134	192
M20	343	412	480	549	172	245
M22	467	560	653	747	212	303
M24	593	712	830	949	247	353
M27	868	1041	1215	1388	321	459
M30	1178	1414	1649	1885	393	561
M36	2059	2471	2882	3294	572	817

Il fattore k descrive la relazione lineare tra la coppia di serraggio M e la forza di precarico F, per il corrispondente diametro d della vite. Gli assiemi possono essere forniti secondo le classi k funzionali K0, K1 e K2 che si differenziano per le modalità di serraggio e per altre caratteristiche funzionali secondo la seguente tabella 4.2.XV tratta dalle NTC2018.

Tabella 4.2.XV - *Classi funzionali per i bulloni*

K0	Nessun requisito sul fattore k
K1	Campo di variabilità del fattore k_i del singolo elemento tra minimo e massimo dichiarati sulla confezione
K2	Valore medio k_m del fattore e suo coefficiente di variazione V_k dichiarati sulla confezione

E' ammesso solo l'utilizzo di serraggio con classe funzionale K2. La coppia deve essere applicata mediante serraggio che deve avvenire in accordo alle modalità di cui alla norma UNI EN 1090-2.

25.4.1.4 Unioni con chiodi

Salvo diversa indicazione contenuta negli elaborati progettuali non sono ammesse unioni con chiodi. Le unioni realizzate con chiodi si considerano sempre "non precaricate". Per i chiodi da ribadire a caldo si devono impiegare gli acciai previsti dalla pertinente parte della norma UNI EN 10263.

25.4.1.5 Connettori a piolo

Nel caso si utilizzino connettori a piolo, l'acciaio deve essere qualificato ed idoneo al processo di formazione dello stesso e compatibile per saldatura con il materiale costituente l'elemento strutturale interessato dai pioli stessi.
Salvo diverse indicazioni progettuali è ammesso solo l'utilizzo di pioli elettrosaldati tipo Nelson secondo norme UNI EN ISO 13918 in acciaio S235J2G3+C450 con le seguenti caratteristiche meccaniche:

– allungamento percentuale a rottura (valutato su base $L_0 = 5{,}65\sqrt{A_0}$,dove A_0 è l'area della sezione trasversale del saggio) ≥ 12;
– rapporto ft / fy ≥1,2.

I connettori, uniti alle strutture con procedimenti di saldatura speciali senza metallo d'apporto, devono essere fabbricati con acciai la cui composizione chimica soddisfi le limitazioni seguenti:
C ≤ 0,18%, Mn ≤ 0,9%, S ≤ 0,04%, P ≤ 0,05%

Per le officine per la produzione di elementi strutturali in serie si applicano gli obblighi di cui al precedente § 25.3.2.

25.4.1.6 Tirafondi

I tirafondi sono barre filettate in acciaio per uso strutturale e, in attesa di una normativa univoca per la conformità di questi elementi e in mancanza di un riferimento preciso nel § 11.3.4 delle NTC2018, si possono escludere dall'obbligo di applicazione della norma UNI EN 1090-1.
Il riferimento normativo da utilizzare per i tirafondi è costituito dalla norma per la bulloneria strutturale UNI EN ISO 898-1. Sono ammessi tirafondi con classe di resistenza, se non diversamente specificato negli elaborati progettuali, pari a 8.8 (secondo il prospetto 2 della norma UNI EN ISO 898-1) con filetto metrico ISO a passo grosso.
I limiti per la composizione chimica dell'acciaio del tirafondo devono essere riferiti al prospetto 2 della UNI EN ISO 898-1 che, per la classe 8.8, prevede sempre il trattamento termico di bonifica.
I dadi, se non diversamente specificato nei documenti di progetto, saranno di classe di resistenza di classe di resistenza pari a 8 (secondo la norma UNI EN 898-2) mentre le rosette metalliche devono essere in acciaio C50 UNI EN 10083-2/UNI 5714 temprato e rinvenuto (HRC 32÷40).

In riferimento all'Eurocodice 3 parte 1-8 §3.3, sono ammessi anche tirafondi ricavati da acciaio laminato a caldo secondo UNI EN 10025-2 e B450C secondo la norma UNI EN 10080 e NTC2018 purchè aventi caratteristiche pari o superiori a quelle dei tirafondi di cui alla norma UNI EN ISO 898-1 indicati al capoverso precedente e siano forniti con le opportune certificazioni in funzione delle specifiche norme di riferimento.

- I tirafondi 8.8 e la bulloneria devono essere zincati a caldo in accordo alla norma UNI EN ISO 10684 con trattamento di centrifuga e tempra per uno spessore non inferiore a 100 µm.
- I tirafondi ricavati da acciaio laminato a caldo devono essere zincati secondo la norma UNI ISO1461 con trattamento di immersione a caldo per uno spessore minimo come indicato al prospetto 3 della suddetta norma.

I tirafondi devono sempre essere posti in opera annegati nel getto di calcestruzzo. E' vietato applicare tirafondi in fori realizzati con carotatrice o sistema equivalente e poi inghisati con resine. Nel caso in cui si renda necessario inghisare tirafondi per la risoluzione di non conformità, l'Appaltatore è tenuto a presentare una relazione di calcolo per lo specifico materiale utilizzato e occorre prevedere delle prove di pull-out al limite di esercizio sul 100% dei tirafondi inghisati e a rottura sul 10% del totale in aggiunta a quelli precedenti.

In merito ai tirafondi è necessario che la fornitura sia accompagnata da:

- dal documento di trasporto DDT con riferimento agli attestati comprovanti la qualificazione del prodotto.
- dal certificato di controllo interno tipo 3.1, di cui alla norma UNI EN 10204;

Per i valori della coppia di serraggio in N•M degli elementi di unione tra il sistema di sostegno e i tirafondi si farà riferimento agli elaborati del progetto esecutivo.

25.4.1.7 Processo di saldatura di cui al § 11.3.4.5 NTC2018

La saldatura degli acciai dovrà avvenire con uno dei procedimenti all'arco elettrico codificati secondo la norma UNI EN ISO 4063. È ammesso l'uso di procedimenti diversi purché sostenuti da adeguata documentazione teorica e sperimentale.
Sono richieste caratteristiche di duttilità, snervamento, resistenza e tenacità in zona fusa e in zona termica alterata non inferiori a quelle del materiale base.
I saldatori nei procedimenti semiautomatici e manuali dovranno essere qualificati secondo la norma UNI EN ISO 9606-1 da parte di un Ente terzo. Come richiesto in tale norma, i saldatori che eseguono giunti a T con cordoni d'angolo dovranno essere specificamente qualificati per questo tipo di saldatura e non potranno essere qualificati soltanto per l'esecuzione di saldature di giunti testa-testa in quanto la qualifica per i giunti testa a testa non comprende anche la tipologia di giunto di cui sopra.
Gli operatori dei procedimenti automatici o robotizzati dovranno essere certificati secondo la norma UNI EN ISO 14732. Tutti i procedimenti di saldatura dovranno essere qualificati mediante WPQR (qualifica di procedimento di saldatura) secondo la norma UNI EN ISO 15614-1.
Le durezze eseguite sulle macrografie non dovranno essere superiori a 350 HV30.
Per la saldatura ad arco di prigionieri di materiali metallici (saldatura ad innesco mediante sollevamento e saldatura a scarica di condensatori ad innesco sulla punta) si applica la norma UNI EN ISO 14555; valgono perciò i requisiti di qualità di cui al prospetto A1 della appendice A della stessa norma.
Le prove di qualifica dei saldatori, degli operatori e dei procedimenti dovranno essere eseguite da un Ente terzo; in assenza di prescrizioni in proposito l'Ente sarà scelto dal Centro di trasformazione o di produzione secondo criteri di competenza e di indipendenza.
Nell'esecuzione delle saldature dovranno inoltre essere rispettate le norme UNI EN 1011-19 ed UNI EN 1011-2 per gli acciai ferritici ed UNI EN 1011-3 per gli acciai inossidabili. Per la preparazione dei lembi si applicherà, salvo casi particolari, la norma UNI EN ISO 9692-1.
Le saldature saranno sottoposte a controlli non distruttivi finali per accertare la corrispondenza ai livelli di qualità stabiliti dal progettista sulla base delle norme applicate per la progettazione. In assenza di tali dati per strutture non soggette a fatica si adotterà il livello C della norma UNI EN ISO 5817 e il livello B per strutture soggette a fatica.
L'entità ed il tipo di tali controlli, distruttivi e non distruttivi, in aggiunta a quello visivo al 100%, a cura del Collaudatore e del Direttore dei Lavori sono definiti nel § 25.8.1;
Tutti gli operatori che eseguiranno i controlli dovranno essere qualificati secondo la norma UNI EN ISO 9712 almeno di secondo livello.

Oltre alle prescrizioni applicabili di cui al precedente § 25.3.2, il Centro di trasformazione o di produzione, in relazione alla tipologia dei manufatti realizzati mediante giunzioni saldate, deve essere certificato secondo la norma UNI EN ISO 3834 parti 2, 3 e 4. I requisiti sono riassunti nella Tab. 11.3.XII delle NTC2018 di seguito riportata.

Tab. 11.3.XII

Tipo di azione sulle strutture	Strutture soggette a fatica in modo non significativo			Strutture soggette a fatica in modo significativo
Riferimento	A	B	C	D
Materiale Base: Spessore minimo delle membrature	S235, s ≤ 30 mm S275, s ≤ 30 mm	S355, s ≤ 30 mm S235 S275	S235 S275 S355 S460, s ≤ 30 mm	S235 S275 S355 S460 (Nota 1) Acciai inossidabili e altri acciai non esplicitamente menzionati (Nota 1)
Livello dei requisiti di qualità secondo la norma UNI EN ISO 3834:2006	Elementare UNI EN ISO 3834-4	Medio UNI EN ISO 3834-3	Medio UNI EN ISO 3834-3	Completo UNI EN ISO 3834-2
Livello di conoscenza tecnica del personale di Coordinamento della saldatura secondo la norma UNI EN ISO 14731:2007	Di base	Specifico	Completo	Completo

Nota 1) Vale anche per strutture non soggette a fatica in modo significativo

Nel caso dei portali di segnaletica è necessario per le saldature dei fazzoletti delle flange che il produttore qualifichi preventivamente alla produzione una modalità di esecuzione di dette saldature onde evitare fenomeni di ritiro dovuti alla promiscuità con altre unioni bullonate. A tal fine l'Appaltatore dovrà predisporre una relazione sulle modalità esecutive e realizzare un prototipo in officina che dovrà essere sottoposto a prove in contraddittorio con la Direzione Lavori per gli aspetti tecnici ed approvato dall'IIS o da ente di fiducia della Direzione Lavori per la parte saldature.

25.5 Prequalifica "Q1" per l'approvvigionamento delle forniture

L'Appaltatore, con 20 giorni di anticipo rispetto al momento in cui intende approvvigionare l'acciaio da impiegare per le strutture metalliche, deve presentare al Direttore dei Lavori per sua approvazione, la documentazione di qualifica "Q1" di cui ai seguenti § 25.5.1 e 25.5.2.

25.5.1 Prequalifica dei produttori, centri di trasformazione e centri di produzione degli acciai.

L'Appaltatore, prima di approvvigionare gli acciai, deve qualificare il produttore da cui intende rivolgersi o i centri di trasformazione per carpenteria metallica e i centri di produzione di elementi in acciaio di cui al § 25.3.2 nel caso siano quest'ultimi ad affettuare l'ordine o a prelavorare, realizzare strutture complesse, produrre laminati formati a freddo, bulloni, chiodi o produrre elementi strutturali in serie, presentando la seguente documentazione:

- Certificato UNI EN ISO 9001 del sistema di gestione qualità;
- Attestato di qualificazione, rilasciato dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici in conformità al § 11.3.1.2 delle NTC2018. L'Attestato di qualificazione ha validità di cinque anni tuttavia, i produttori con cadenza annuale, devono procedere al mantenimento di detto Attestato nei modi indicati al § 11.3.1.3 e all'esecuzione di tutti i controlli e prove di laboratorio sugli acciai di cui al § 11.3.4.11 delle NTC2018;
- Attestato di denuncia dell'Attività di centro di trasformazione di cui al § 11.3.1.7 delle NTC2018, rilasciato dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici;

- Certificato UNI EN ISO 3834 parti 2, 3 e 4 del centro di trasformazione o di produzione degli acciai nel caso di esecuzione di operazioni di saldatura di cui al § 11.3.4.5 delle NTC2018;
- Certificato di produzione in fabbrica FPC del centro di trasformazione o di produzione degli acciai per la classe di esecuzione EXC di riferimento del progetto in conformità alla norma UNI EN 1090-2;
- Eventuale dichiarazione di prodotto EPD da parte del produttore di acciaio qualora disponibile

25.5.2 Progetto costruttivo delle strutture metaliiche

Prima dell'approvvigionamento dei materiali, l'Appaltatore dovrà presentare al Direttore dei Lavori una copia cartacea e in formato pdf dei disegni di fabbricazione firmati digitalmente dal redattore (officina di produzione o Appaltatore stesso) del progetto costruttivo redatto in conformità:

- a tutti gli elaborati del Progetto esecutivo della struttura o delle strutture metalliche di riferimento
- a tutte le seguenti indicazioni costruttive e di dettaglio che dovranno essere contenute nel progetto stesso:
  - diametri e classi dei bulloni impiegati secondo quanto prescritto nel § 25.4.1.3
  - il sistema delle unioni bullonate HR, HV, HRC secondo quanto prescritto nel § 25.4.1.3
  - diametri dei fori in funzione dei bulloni e della tipologia di collegamento
  - coppie di serraggio secondo quanto prescritto nel § 25.4.1.3
  - elementi di posizionamento dei pioli di collegamento travi/soletta, con particolare attenzione ad evitare possibili interferenze con i tralicci delle coppelle,soprattutto per gli impalcati in curva
  - principi di esecuzione delle coppelle e distribuzione dei relativi tralicci di armatura
  - indicazione dei giunti d'officina e dei giunti in opera
  - controfrecce d'officina
  - schemi e fasi di montaggio con indicazione completa delle eventuali opere provvisionali necessarie
  - dettagli delle saldature da eseguire in conformità al § 25.4.1.6 con indicazione delle dimensioni, nel caso dei cordoni d'angolo e di parziali penetrazioni
  - eventuali fori di drenaggio per le zincature dovranno avere una distanza sufficiente per non interferire con le saldature e comunque non inferiore a 10 cm
  - le predisposzioni per i sistemi di aggancio di qualsiasi elemento che deve essere collegato con l'opera in carpenteria anche se forniti dalla stazione appaltante (es. pannelli PMV e PMF, cartelli di segnaletica, telecamere o impianti in genere, carter, ecc.)

L'Appaltatore dovrà altresì consegnare al Direttore dei Lavori la distinta dei materiali afferente il progetto costruttivo di cui sopra contenente:

- il codice identificativo dell'elemento
- la descrizione breve dell'elemento
- la quantità
- la designazione del materiale di cui al § 25.4.1.1

- le dimensioni nominali degli elementi del progetto costruttivo: spessore, larghezza, lunghezza e relativo massa nominale determinata utilizzando una massa volumica di 7.850 kg/m^3
- riferimento del disegno o dei disegni ove l'elemento è rappresentato

L'Appaltatore dovrà infine consegnare una relazione di calcolo contenente la verifica dell'idoneità degli eventuali dettagli modificati proposti o aggiuntivi, le indicazioni in merito alla fattibilità del montaggio e varo. Tale relazione di calcolo dovrà essere firmata da un tecnico abilitato all'esercizio della professione. In presenza di tale relazione il tempo di cui al § 25.5 è elevato da 20 a 30 giorni.

25.6 Prequalifica "Q2" per l'inizio delle lavorazioni nei centri di trasformazione e/o di produzione

Dopo l'approvazione da parte del Direttore dei Lavori dei documenti qualifica "Q1" di cui al § 25.5 ed emesso l'ordine di approvvigionamento del materiale, l'Appaltatore, deve:

- presentare al Direttore dei Lavori, per sua approvazione, la documentazione tecnica di cui ai seguenti §§ 25.6.1, 25.6.2;
- avvertire immediatamente la Direzione Lavori dell'arrivo nella sua officina dei materiali che saranno impiegati nella costruzione e presentare la documentazione di cui al § 25.6.3;

Dopo l'approvazione dei documenti di cui sopra entro 10 giorni dalla loro ricezione, l'Appaltatore dovrà concordare con la Direzione Lavori, almeno 5 giorni lavorativi di anticipo rispetto al momento in cui intende iniziare le lavorazioni nei centri di trasformazione o centri di produzione, la data per l'esecuzione dei controlli di cui al § 25.8.2. e la qualifica "Q2" potrà ritenersi conclusa e potranno iniziarsi le lavorazioni in officina.

25.6.1 Approvazione delle saldature del progetto costruttivo da Ente terzo

L'Appaltatore deve, a propria cura e spese, sottoporre all'approvazione dell'I.I.S. (o di altro Ente terzo Accreditato da Accredia per la certificazione dei processi di saldatura e dei saldatori, da sottoporre preventivamente all'approvazione della Direzione Lavori) le modalità esecutive afferenti le saldature contenute nel progetto costruttivo di cui al § 25.5.2 unitamente alle seguenti indicazioni aggiuntive:

- piano di saldatura di cui al § 7.2 della norma UNI EN 1090-2
- la certificazione delle procedure di saldatura e del personale addetto alla saldatura conformemente al § 7.4 della norma UNI EN 1090-2 per la classe di esecuzione EXC definita a progetto, contenente il quaderno di saldatura, in accordo alle NTC2018 e comprensivo di:
  - specifiche di procedimento di saldatura (WPS) e relative qualifiche (WPAR);
  - qualifica dei saldatori e operatori di saldatura

Nel caso l'I.I.S. (o altro Ente Terzo accreditato come sopra descritto) richiedesse di aggiornare o revisionare i contenuti del progetto costruttivo in merito alle saldature, l'Appaltatore è tenuto ad apportare tali modifiche nel più breve tempo possibile e ad ottenere l'approvazione definitiva da parte dell'Ente. Il progetto approvato deve essere trasmesso al Direttore dei Lavori prima dell'inizio delle operazioni di trasformazione. Eventuali richieste di modifica dell'Ente non potranno dare diritto al riconoscimento di alcun compenso, indennizzo o extracosto, di qualsivoglia natura, né diretto (costo della lavorazione, progettazione, prove e collaudi, etc…), né indiretto (ritardo nella realizzazione dell'opera, etc…).

25.6.2 Piano generale di fabbricazione e controlli

L'Appaltatore deve sottoporre all'approvazione del Direttore dei Lavori il piano generale di fabbricazione e controlli del centro di trasformazione e/o di produzione con l'indicazione delle tecnologie, metodologie e sistemi di controllo utilizzati in officina (PCQ riferito alla struttura o alle strutture metalliche oggetto di qualifica) ed eventualmente in cantiere per garantire la qualità attesa con preciso riferimento ai controlli sulle saldature a cura del Committente di cui al successivo § 25.8.1. Tale piano deve essere redatto in conformità alla norma UNI EN 1090-2 e deve altresì contenere il collaudo delle lamiere all'arrivo in officina prima dell'inizio delle lavorazioni. Particolare attenzione verrà posta nei controlli di assenza di sfogliature ed inclusioni con riferimento a dettagli costruttivi che contemplino azioni ortogonali al piano di laminazione.

25.6.3 Piano di utilizzo e rintracciabilità dei materiali

Dopo l'approvvigionamento del materiale, l'Appaltatore deve sottoporre all'approvazione del Direttore dei Lavori il piano di utilizzo e rintracciabilità dei materiali approvvigionati, con riferimento:

- alla distinta dei materiali afferente il progetto costruttivo di cui al § 25.5.2 implementata:
  - dal controllo delle dimensioni effettive degli elementi approvvigionati: spessore, larghezza, lunghezza e relativo peso nominale
  - dalla data di consegna dell'elemento
  - dal nome del produttore
  - dal n. del DDT di provenienza dal produttore (da allegare in copia)
  - dal n. del certificato di collaudo del produttore (da allegare in copia)
  - dalla data del certificato di collaudo del produttore
  - dal n. della colata
  - dal peso riportato nel certificato del produttore
  - dal riferimento della marcatura CE in riferimento ai contenuti dei § 25.3.1 e 25.4.1.3.1 che dovrà risultare leggibile

Qualora il centro di trasformazione e/o di produzione impieghi materiale giacente a magazzino ne dovrà fornire la documentazione d'origine del Produttore necessaria alla compilazione del piano di utilizzo di cui sopra.

25.7 Modalità esecutive delle lavorazioni nei centri di trasformazione e produzione

Le lavorazioni di officina saranno effettuate secondo quanto previsto nell'apposito Piano di fabbricazione.

Per quanto riguarda le tolleranze esecutive si fa riferimento alla norma UNI EN 1090, parti 1 e 2, se non diversamente indicato a Progetto. Per ciascuna opera singola o per prototipi di ciascuna serie di opere è prescritto il premontaggio in officina al fine di controllare e assicurae l'esatezza e la reciproca perfetta corrispondenza dei singoli pezzi assemblati per formare l'opera completa, in modo da poter apportare eventuali modifiche che si rendessero necessarie quando l'opera si trova ancora in officina senza creare soggezione all'esercizio. Eventuali deroghe adeguatamente motivate, dovranno essere esplicitamente approvate dalla Direzione Lavori. Deroghe non esplicitamente autorizzate non saranno accettate.

Alla Direzione Lavori è riservata comunque la facoltà di eseguire in ogni momento della lavorazione tutti i controlli che riterrà opportuni per accertare che i materiali impiegati siano quelli collaudati, che le strutture siano conformi ai disegni di Progetto e che le stesse siano eseguite a perfetta regola d'arte.

In particolare l'Appaltatore dovrà attenersi alle seguenti disposizioni:

- il raddrizzamento e lo spianamento, quando necessari, devono essere fatti preferibilmente con dispositivi agenti per pressione.
- possono essere usati i riscaldamenti locali (caldo), secondo le indicazioni della UNI EN 1090-2, purché programmati in modo da evitare eccessive concentrazioni di tensioni residue e di deformazioni permanenti. I trattamenti termici non sono ammessi, in generale, per acciai termomeccanici;
- la saldatura in zone formate a freddo deve rispettare quanto indicato in UNI EN 1993-1-8
- è ammesso il taglio a ossigeno purché regolare;
- i tagli irregolari devono essere ripassati con la smerigliatrice;
- i fori per bulloni devono essere eseguiti col trapano con assoluto divieto dell'uso della fiamma e presentare superficie interna cilindrica liscia e priva di screpolature e cricche; per le giunzioni con bulloni (normali e ad alta resistenza), le eventuali sbavature sul perimetro del foro dovranno essere asportate mediante molatura locale;
- l'uso di punzonatrici deve essere esplicitamente ammesso a Progetto. Ne è consentito l'uso in forature ridotte di almeno 2 mm e successivamente alesate a diametro definitivo
- i bulloni ad alta resistenza, nel caso di collegamenti a taglio, non dovranno avere il gambo filettato per l'intera lunghezza; la lunghezza del tratto non filettato dovrà essere in generale maggiore di quella delle parti da serrare e si dovrà sempre far uso di rosette sotto la testa e sotto il dado; è tollerato che non più di mezza spira del filetto rimanga compresa nel foro;

Non sono ammesse unioni a taglio per gli elementi soggetti a vibrazioni e/o inversione di sforzo. Nelle unioni ad attrito le superfici dovranno presentarsi pulite, prive cioè di olio, grasso, calamina, vernice.
Per coefficienti di attrito superiori a 0.3 si dovranno presentare adeguati test a comprova del coefficiente proposto,ed in ogni caso per superfici verniciate. Al riguardo si fa riferimento ai codici UNI EN 1993-1-1, UNI EN 1993-1-8, UNI EN 1090-1.

25.8 Controlli e prove presso il centro di trasformazione e produzione prima della spedizione in cantiere delle carpenterie

Le carpenterie, o parti di esse, potranno essere spedite dal centro di trasformazione o produzione al cantiere solamente quando:

- saranno concluse con esito positivo tutte le operazioni previste nel piano di fabbricazione e controlli di cui al § 25.6.2;
- saranno state verificate con esito positivo tutte le saldature effettuate in officina nelle modalità di cui al § 25.8.1;
- saranno ultimati gli invii dei prelievi al laboratorio incaricato dalla Committente per i controlli di accettazione di cui al § 25.8.2.

25.8.1 Controlli delle saldature

In riferimento all'entità e al tipo dei controlli distruttivi e non distruttivi delle saldature da definire dal Direttore dei Lavori e dal Collaudatore di cui al § 11.3.4.5 delle NTC2018 e in questo articolo di capitolato.
Per i cordoni ad angolo o giunti a parziale penetrazione si useranno metodi di superficie (ad es. liquidi penetranti o polveri magnetiche), mentre per i giunti a piena penetrazione, oltre a quanto sopra previsto, si useranno metodi volumetrici e cioè raggi X o gamma o ultrasuoni per i giunti testa a testa e solo ultrasuoni per i giunti a T a piena penetrazione.
Per le modalità di esecuzione dei controlli ed i livelli di accettabilità si potrà fare utile riferimento alle prescrizioni della norma UNI EN ISO 17635.

Si stabilisce che l'Istituto Italiano della Saldatura (o da altro Ente terzo) su incarico diretto della Committente eseguirà presso il centro di trasformazione e/o di produzione i seguenti controlli previsti all'interno della UNI EN 1090 parte 2 in conformità alla serie della UNI EN ISO 3834 (Requisiti di qualità per la saldatura per fusione dei materiali metallici):

- controllo visivo secondo EN 970 al 100% di tutte le saldature;
- controllo magnetoscopico secondo EN ISO 17638 al 20% di tutte le saldature (le zone del controllo saranno scelte in base all'esito dell'esame visivo);
- controllo ultrasonoro al 100% secondo UNI EN ISO 17640 dei giunti a piena penetrazione trasversali e dei giunti tecnici;
- controllo ultrasonoro al 50% UNI EN ISO 17640 dei restanti giunti a piena penetrazione.
- controllo visivo 100 % saldature pioli; prova di piegamento a 30°: 5% dei pioli (a colpi di mazza). Eventuali discontinuità risultanti dall'esame visivo saranno ripristinate con elettrodi rivestiti.Non è ammessa la presenza di cricche nelle saldature dei pioli.In caso di rottura di almeno il 5% dei pioli testati, tutti i pioli della stessa membratura saranno sottoposti alla medesima prova.

Tale elenco potrà essere implementato tenendo conto delle eventuali raccomandazioni dell'Ente del Collaudatore e del Direttore dei Lavori a loro insindacabile giudizio senza che ciò possa dare diritto a richieste od al riconoscimento di alcun compenso, indennizzo o extracosto, di qualsivoglia natura, né diretto, né indiretto.
Si precisa che questi controlli verranno eseguiti solamente dopo l'esecuzione dei controlli sulle saldature previsti nel piano generale di prefabbricazione e controlli di cui al § 25.6.2 ad onere del Direttore Tecnico dell'officina in ottemperanza alle NTC2018 e solo dopo che il report di detti controlli verrà trasmesso alla Direzione Lavori e all'Istituto Italiano della Saldatura (o altro Ente terzo).
Qualora l'Istituto Italiano della Saldatura (o altro Ente terzo) riscontrasse delle non conformità tali per cui si debba procedere ad un perfezionamento o al rifacimento dell'originaria saldatura, queste verranno ricontrollate a campione sempre dall'Ente di fiducia del Committente con onere a carico dell'Appaltatore senza che ciò possa dare diritto a richieste od al riconoscimento di alcun compenso, indennizzo o extracosto, di qualsivoglia natura, né diretto, né indiretto.

Il tipo e il numero dei controlli a cura del Centro di Trasformazione e della Direzione Lavori per ciascuna opera, dovranno essere indicati nel piano di fabbricazione e controllo emesso dal Costruttore per approvazione. Dovrà essere indicato altresì un criterio di estensione dei controlli in caso di difetti.

25.8.2 Controlli degli acciai di cui al § 11.3.4.11.3 delle NTC2018

Qualora la fornitura di elementi lavorati provenga da un centro di trasformazione, di produzione o da un fabbricante di elementi marcati CE, personale della Direzione Lavori con frequenza a discrezione del Direttore dei Lavori si recherà presso detto luogo di lavorazione delle carpenterie per effettuare tutti i controlli di accettazione di sua competenza di cui al § 11.3.4.11.3 delle NTC2018.
Il prelievo dei campioni sarà effettuato dal Direttore Tecnico del Centro di trasformazione o del fabbricante secondo le disposizioni del Direttore dei Lavori; quest'ultimo deve assicurare, mediante sigle, etichettature indelebili, ecc., che i campioni inviati per le prove al laboratorio incaricato, con spedizione a cura del Direttore di Stabilimento, siano effettivamente quelli da lui prelevati, nonché sottoscrivere la relativa richiesta di prove. Il prelievo potrà anche essere eseguito dallo stesso laboratorio incaricato della Committente per l'esecuzione delle prove.

A seconda delle tipologie di materiali da spedire in cantiere il Direttore dei Lavori o suo delegato deve effettuare i seguenti prelievi:

- *Elementi di Carpenteria Metallica*: 3 prove ogni 90 tonnellate; il numero di campioni, prelevati e provati nell'ambito di una stessa opera, non può comunque essere inferiore a tre. Per opere per la cui realizzazione è previsto l'impiego di quantità di acciaio da carpenteria non superiore a 2 tonnellate, il numero di campioni da prelevare è individuato dal Direttore dei Lavori, che terrà conto anche della complessità della struttura.
- *Lamiere grecate e profili formati a freddo*: 3 prove ogni 15 tonnellate; il numero di campioni, prelevati e provati nell'ambito di una stessa opera,, non può comunque essere inferiore a tre. Per opere per la cui realizzazione è previsto l'impiego di una quantità di lamiere grecate o profili formati a freddo non superiore a 0.5 tonnellate, il numero di campioni da prelevare è individuato dal Direttore dei Lavori.
- *Bulloni e chiodi*: 3 campioni ogni 1500 pezzi impiegati; il numero di campioni, prelevati e provati nell'ambito di una stessa opera, non può comunque essere inferiore a tre. Per opere per la cui realizzazione è previsto l'impiego di una quantità di pezzi non superiore a 100, il numero di campioni da prelevare è individuato dal Direttore dei Lavori.
- *Giunzioni meccaniche*: 3 campioni ogni 100 pezzi impiegati; il numero di campioni, prelevati e provati nell'ambito di una stessa opera, non può comunque essere inferiore a tre. Per opere per la cui realizzazione è previsto l'impiego di una quantità di pezzi non superiore a 10, il numero di campioni da prelevare è individuato dal Direttore dei Lavori.

Le prove da eseguire sui prelievi di cui sopra a cura della Direzione Lavori per gli elementi di carpenteria lamiere e profili sono le seguenti:

- Prove dimensionali di spessore, lunghezza, larghezza e massa:
  - secondo la UNI EN 10029 per acciai di cui alle UNI EN 10025-2-3-4-5: si riterranno conformi le lamiere con tolleranza sullo spessore pari alla classe B o D di cui ai limiti della tabella 1 del § 6.1 della UNI EN 10029, mentre per lunghezza e larghezza si riteranno conformi elementi rispondenti ai limiti delle tabelle 3 e 2 dei §§ 6.3 e 6.2 della UNI EN 10029;
  - secondo la UNI EN 10210-2 per acciai di cui alla UNI EN 10210-1: si riterranno conformi le lamiere con tolleranza di cui ai prospetti 2, 3 e 4 della UNI EN 10210-2;
  - secondo la UNI EN 10219-2 per acciai di cui alla UNI EN 10219-1: si riterranno conformi le lamiere con tolleranza di ai prospetti 2, 3 e 4 della UNI EN 10219-2;
  - per bulloni e chiodi non sono previste prove dimensionali salvo specifiche richieste del Collaudatore o del Direttore dei Lavori.

- Prove di trazione (snervamento f_y, rottura f_t, allungamento): per impieghi strutturali a temperatura ambiente secondo la norma UNI EN ISO 6892-1. Si riterranno conformi elementi rispondenti ai limiti:
  - del prospetto 6 della norma UNI EN 10025-2 per acciai laminati a caldo non legati;
  - del prospetto 4 della norma UNI EN 10025-3 per acciai laminati a caldo a grano fine saldabili;
  - del prospetto 4 della norma UNI EN 10025-4 per acciai laminati a caldo saldabili a grano fine ottenuti mediante laminazione termomeccanica
  - del prospetto 4 della norma UNI EN 10025-5 per acciai laminati a caldo con resistenza migliorata alla corrosione atmosferica;
  - del prospetto A.3 o B.3 della norma UNI EN 10210-1 per profilati cavi finiti a caldo di acciai non legati e a grano fine;
  - del prospetto A.3, B.4 o B.5 della norma UNI EN 10219-1 per profilati cavi saldati formati a freddo.

Determinati i valori di cui snervamento f_y, rottura f_t per gli acciai di cui al presente capoverso inerente le prove di trazione occorre verificare che rapporti f_t/f_y, e f_y/f_{ynom} siano ricompresi nei limiti di cui al §25.4.1.1 nel caso di applicazioni nelle zone dissipative delle costruzioni (non comuni tra quelle oggetto di questo articolo di capitolato) soggette ad azioni sismiche.

- Prove di resilienza su provetta Charpy secondo la norma UNI EN ISO 148-1. Si riterranno conformi elementi rispondenti ai limiti:
  - del prospetto 8 della norma UNI EN 10025-2 per acciai laminati a caldo non legati;
  - del prospetto 5 della norma UNI EN 10025-3 per acciai laminati a caldo a grano fine saldabili;
  - del prospetto 5 della norma UNI EN 10025-4 per acciai laminati a caldo saldabili a grano fine ottenuti mediante laminazione termomeccanica
  - del prospetto 5 della norma UNI EN 10025-5 per acciai laminati a caldo con resistenza migliorata alla corrosione atmosferica;
  - del prospetto A.3 o B.3 della norma UNI EN 10210-1 per profilati cavi finiti a caldo di acciai non legati e a grano fine;
  - del prospetto A.3, B.4 o B.5 della norma UNI EN 102019-1 per profilati cavi saldati formati a freddo.

- Analisi chimica secondo UNI EN 10315, UNI EN ISO 15350 o al CR 10320:
  - del prospetto 3 della norma UNI EN 10025-2 per acciai laminati a caldo non legati;
  - del prospetto 2 della norma UNI EN 10025-3 per acciai laminati a caldo a grano fine saldabili;
  - del prospetto 2 della norma UNI EN 10025-4 per acciai laminati a caldo saldabili a grano fine ottenuti mediante laminazione termomeccanica
  - del prospetto 3 della norma UNI EN 10025-5 per acciai laminati a caldo con resistenza migliorata alla corrosione atmosferica;
  - del prospetto 1 della norma UNI EN 10210-1 per profilati cavi finiti a caldo di acciai non legati e a grano fine;
  - del prospetto 1 della norma UNI EN 10219-1 per profilati cavi saldati formati a freddo

Le prove da eseguire sui prelievi di cui sopra a cura della Direzione Lavori sui bulloni, chiodi e tirafondi sono le seguenti:

- di resistenza allo snervamento viti (R_{eL},) secondo il § 9.7 della UNI EN ISO 898-1: si riterranno conformi elementi rispondenti ai limiti: del prospetto 3 della stessa norma 898-1;
- di resistenza alla trazione viti (R_m,) secondo il § 9.7 della UNI EN ISO 898-1 e si riterranno conformi elementi rispondenti ai limiti del prospetto 3 della stessa norma 898-1;
- di allungamento viti (A) secondo il § 9.7 della UNI EN ISO 898-1: si riterranno conformi elementi rispondenti ai limiti del prospetto 3 della stessa norma 898-1;
- di resilienza viti secondo il § 9.14 della UNI EN ISO 898-1: si riterranno conformi elementi rispondenti ai limiti del prospetto 3 della stessa norma 898-1;
- di durezza viti secondo il § 9.9 della UNI EN ISO 898-1 e si riterranno conformi elementi rispondenti ai limiti del prospetto 3 della stessa norma 898-1;
- di durezza dadi secondo il § 9.2 della UNI EN ISO 898-2 e si riterranno conformi elementi rispondenti ai limiti del prospetto 7 della stessa norma 898-2;
- di durezza rondelle secondo la UNI EN ISO 6507-1 o UNI EN ISO 6508-1 e si riterranno conformi elementi rispondenti ai limiti delle citate norme;

- di spessore locale del rivestimento della zincatura a caldo secondo la UNI EN ISO 2178 nei limiti di cui ai §§ 25.4.1.3 e 25.4.1.6;
- di uniformità del rivestimento di zincatura a caldo secondo la norma UNI 11406.

Le prove di trazione, resilienza e chimiche da eseguire sugli elementi di carpenteria in acciaio inossidabile sono da eseguirsi in confomormità alle indicazione del § 7.4 della UNI EN 10088-4 e § 7.4 della UNI EN 10088-5. L'acciaio inox sarà sottoposto anche alla prova di resistenza alla corrosione intergranulare in conformità alla UNI EN ISO 3651-2.

Se un risultato è non conforme, sia il provino che il metodo di prova devono essere esaminati attentamente. Se nel provino è presente un difetto o si ha ragione di credere che si sia verificato un errore durante la prova, il risultato della prova stessa deve essere ignorato. In questo caso occorrerà prelevare un ulteriore (singolo) provino. Se i tutti risultati validi della prova sono maggiori o uguali del previsto valore di accettazione, il lotto consegnato deve essere considerato conforme.
Se i criteri sopra riportati non sono soddisfatti, un ulteriore campionamento, di numerosità doppia rispetto a quanto precedentemente previsto in relazione alle varie tipologie di prodotto, deve essere effettuato da prodotti diversi del lotto in presenza del fabbricante o suo rappresentante che potrà anche assistere all'esecuzione delle prove presso un laboratorio di cui all'art. 59 del DPR n. 380/2001.
Il lotto deve essere considerato conforme se i singoli risultati ottenuti sugli ulteriori provini è maggiore del valore di accettazione. In caso contrario il lotto deve essere respinto e il risultato segnalato al Servizio Tecnico Centrale senza che ciò possa dare diritto a richieste od al riconoscimento di alcun compenso, indennizzo o extracosto, di qualsivoglia natura, né diretto, né indiretto.

In aggiunta a quanto sopra occorre eseguire le prove per la verifica della protezione alla corrosione adottata di cui all'art. 25bis.

25.9 Controlli dei documenti di accompagno delle forniture in cantiere

In accordo al § 11.3.1.5 delle NTC2018, tutte le forniture di acciaio in arrivo in cantiere, per le quali sussiste l'obbligo della Marcatura CE, devono essere accompagnate da:
- Copia del Documento di trasporto DDT
- Copia della Marcatura CE e DOP
- Certificato di controllo interno 3.1. di cui alla norma UNI EN 10204

Si prescrive anche l'obbligo di mantenere compilato ed aggiornato un registro di tutte le carpenterie che man mano giungono in cantiere in modo da garantire sempre la rintracciabilità di tutti i componenti. Detto registro deve implementare i contenuti indicati al § 25.6.3 con l'elenco dei documenti di cui sopra.

L'Appaltatore deve sempre verificare la rispondenza tra i documenti di cui sopra e le forniture in arrivo in cantiere e consegnare settimanalmente copia di detti documenti unitamente al registro della rintracciabilità dei materiali alla Direzione Lavori.

25.10 Montaggio e controlli delle carpenterie a piè d'opera in cantiere (eventuale)

L'Appaltatore è tenuto a completare il montaggio delle carpenterie in officina tenendo conto della fattibilità del trasporto alle aree di cantiere delle varie parti assemblate.

L'Appaltatore è tenuto ad attrezzare in maniera idonea un'area di stoccaggio per le carpenterie anche dal punto di vista ambientale della protezione del suolo da eventuali contaminazioni derivanti dalle lavorazioni previste in tale area e comunque secondo le previsioni progettuali o, laddove queste non siano ritenute sufficienti, è tenuto a provvedere a sua cura e spese senza che ciò possa dare diritto a richieste od al riconoscimento di alcun compenso, indennizzo o extracosto, di qualsivoglia natura, né diretto, né indiretto.
Gli elementi di carpenteria non devono per alcun motivo essere appoggiati direttamente sul terreno per evitare che si sporchino, al riguardo occorre posizionare un adeguato telo di separazione oppure utilizzare appositi distanziatori rispetto al piano di appoggio.
Anche tutti gli accessori da utilizzare per il montaggio delle carpenterie come ad esempio i bulloni, i tirafondi, ecc. devono essere preservati dal contatto con il suolo e da contatti accidentali con attrezzi o mezzi operativi che possono comprometterne la funzionalità e sono da conservare il luoghi chiusi idoneamente predisposti fino al momento del loro utilizzo.
L'Appaltatore è responsabile della manutenzione delle aree di stoccaggio al fine di manterle in piena efficienza per tutta la durata del cantiere.
Ogni lavorazione in cantiere deve rispettare i contenuti di cui al § 25.7 e degli specifici contenuti di cui al §25.6.2.
Nei collegamenti con bulloni si dovrà procedere alla alesatura di quei fori che non risultino centrati e nei quali i bulloni previsti in Progetto non entrino liberamente.
Se il diametro del foro alesato risulta superiore al diametro nominale del bullone oltre la tolleranza prevista dalle norme in vigore, si dovrà procedere alla sostituzione del bullone con uno di diametro superiore previa approvazione del progettista.
L'appaltatore nella fase di montaggio procederà alla compilazione di documentazione che attesti la corretta esecuzione secondo quanto riportato nei seguenti paragrafi sui controlli.

25.10.1 Controlli delle saldature in cantiere

Sono ammesse in cantiere esclusivamente operazioni di saldatura che per loro natura non possono essere eseguite in officina.
Per queste, oltre ai controlli interni di qualità in capo al Direttore Tecnico dello stabilimento, occorre procedere ai controlli di cui al § 25.8.1.
Per procedere alle saldature in cantiere sarà necessario attrezzare a cura e spese dell'appaltatore aree idonee in conformità con le procedure approvate dall'IIS o istituto equivalente.

25.10.2 Controlli delle carpenterie in cantiere

Prima del posizionamento in opera degli impalcati e in generale di carpenterie che hanno necessitato di un assemblaggio a piè d'opera, indipendentemente dal metodo di varo, l'Appaltatore dovrà controllare e dare evidenza alla Direzione Lavori di tali controlli in merito a:

- geometria di assemblaggio di ogni singolo concio
- accoppiamento tra conci contigui
- geometria di controventi e diaframmi, con verifica delle tolleranze foro/bullone
- controllo a spot degli spessori impiegati
- acquisizione dei certificati di approvazione da parte di Ente terzo di eventuali giunti saldati di cantiere e relative specifiche di saldatura
- controlli di serraggio e relative superfici di accoppiamento per eventuali giunti bullonati eseguiti a piè d'opera
- topograficamente le quote planoaltimetriche dei punti di contatto della struttura di appoggio con la carpenteria metallica da varare

25.10.3 Controlli del serraggio dei bulloni

Al termine del montaggio a piè d'opera della carpenteria metallica e del completamento del serraggio di tutti i bulloni a cura dell'Appaltatore risulta necessario procedere alla verifica del serraggio nella seguente modalità in ordine cronologico:

3. verifica a cura dell'Appaltatore almeno sul 20% del totale delle unioni bullonate ed in ogni caso su non meno di quattro con evidenza del controllo da trasmettere in un report alla Direzione Lavori;
4. verifica a cura della Direzione Lavori in contraddittorio con l'Appaltatore almeno sul 10% del totale delle unioni bullonate a mezzo di certificato di laboratorio.

Per il controllo del serraggio si procederà nel modo seguente:

- Marcatura con pennarello indelebile di dado, vite e lamiera per identificarne la posizione relativa;
- Serraggio del dado con la coppia prescritta e controllo che l'angolo di rotazione tra vite e dado non risulti > di +15°.

Se il bullone risulta sotto serrato dovrà essere riportato al corretto serraggio e dovranno essere verificati tutti i bulloni del giunto.
E' prescritta inoltre prevista la verifica del sovra serraggio sul 5% dei bulloni da eseguire in contraddittorio tra Appaltatore e Direttore dei Lavori con la seguente modalità:

- Allentamento del dado con una rotazione almeno pari a 60° prestando attenzione che non ruoti la vite nel qual caso occorre tenere ferma la testa dalla parte opposta;
- Serraggio del dado con la coppia prescritta e controllo del ritorno alla posizione originaria.

Nel caso in cui l'angolo di rotazione tra vite e dado dovesse risultare > di -15° il bullone risulta sovra serrato. Tutti i bulloni sovra serrati dovranno essere sostituiti ed il controllo verrà esteso a tutti i bulloni del giunto.

Relativamente alle modalità di montaggio ed al controllo dei bulloni si farà riferimento alla norma EN 1090-2.
È ammesso il serraggio dei bulloni con chiave idraulica purché questo sia controllato con chiave dinamometrica, la cui taratura dovrà risultare da certificato rilasciato da Laboratorio Ufficiale in data non anteriore a dodici mesi.

25.11 Prequalifica "Q3" delle operazioni di varo

L'Appaltatore sottoporrà al preventivo benestare della Direzione Lavori il sistema e le modalità esecutive che intende adottare (qualifica "Q3"), ferma restando la piena responsabilità dell'Appaltatore stesso per quanto riguarda l'esecuzione delle operazioni di montaggio, la loro rispondenza a tutte le norme di legge ed ai criteri di sicurezza che comunque possono riguardarle.
Il sistema prescelto potrà essere in alternativa a quello previsto a Progetto purchè ne rispetti i livelli di sicurezza e sia idoneo a consentire la realizzazione della struttura in conformità alle disposizioni contenute nel Progetto esecutivo ed in accordo ai tempi contrattuali.
La relazione di varo dovrà essere redatta in coerenza con il POS da sottoporre per approvazione al Coordinatore della Sicurezza in fase di Esecuzione e deve contenere una descrizione dei seguenti aspetti:

- *Cronoprogramma esecutivo della sequenza di montaggio*: descrizione delle varie fasi di lavoro in funzione e nel rispetto rigoroso, ove applicabile, dei tempi di parzializzazione o chiusura delle corsie stradali e/o autostradali. Tale sequenza deve essere realizzata su scala oraria e riportare tutte le squadre e i mezzi impegnati nelle singole lavorazioni;

- *Verifica della stabilità dei mezzi di sollevamento*: indicare in una o più planimetrie e sezioni la posizione, il tipo di mezzo di sollevamento, la portata, il raggio d'azione in funzione della massima dimensione e peso dei pezzi da movimentare, di eventuali azioni orizzontali (anche massima velocità del vento ammissibile) in tutte le fasi di lavoro provvisorie. Occorre altresì verificare l'idoneità dei piani di appoggio nei punti di scarico a terra delle grù e degli apprestamenti provvisionali a mezzo di opportune prove di piastra da eseguirsi a onere dell'Appaltatore. Eventuali adeguamenti dei piani di appoggio restano un onere a carico dell'Appaltatore;
- *Schema di sollevamento*: indicare la modalità di aggancio e imbracatura della carpenteria ai mezzi di sollevamento;
- *Schema di trasporto della carpenteria dall'area di assemblaggio all'area di varo*: indicare i mezzi utilizzati e lo schema di fissaggio della carpenteria trasportata con la valutazione dell'accessibilità ai luoghi e dell'assenza di ostacoli rispetto alla sagoma complessiva del carico (cartelli di segnaletica, cordoli, barriere di sicurezza, reti aeree interferenti, ecc.) che dovranno essere smontati e riposizionati a cura ed onere dell'Appaltatore. Resta altresì onere dell'Appaltatore quello di richiedere le opportune eventuali autorizzazioni per il trasporto eccezionale ai gestori proprietari delle viabilità;
- *Assistenza tecnica*: indicare il nome della ditta, recapito telefonico con reperibilità h 24 dell'assistenza tecnica in caso di guasto dei macchinari (autogrù, carrelloni, ecc) e tempo di intervento. Si precisa che è facontà insidacabile del Direttore dei Lavori richiedere che l'assistenza tecnica sia presente in cantiere durante le fasi di varo con onere a carico dell'Appaltatore;
- *Verifica delle controfrecce* intermedie per i vari realizzati per fasi e/o spinta compresa l'indicazione dei valori da monitorate e di eventuali controventature e/o pile provvisorie che si rendono necessarie;
- *L'indicazione della configurazione di bloccaggio / scorrimento di eventuali appoggi e ritegni* ove verranno poste le carpenterie e del momento in cui questi verranno definitivmente posti nella configurazione definitiva con la struttura;
- *Modalità di smontaggio delle eventuali strutture provvisorie*.
- *La previsione di opportune protezioni delle parti di carpenteria* che possono entrare in contatto con funi, catene ed altri organi di sollevamento;
- *Le modalita di serraggio* delle unioni bullonate in conformità alla norma UNI EN 1090-2 e ai contenuti del § 24.4.1.3.

In ragione dell'alto contenuto di natura strutturale, la relazione di varo dovrà essere firmata da un tecnico abilitato all'esercizio della professione e come visto dal Direttore Tecnico dell'Appaltatore.

Il DL e il CSE, in funzione della particolare natura del varo da eseguire, potranno a loro insindacabile giudizio implementare i contenuti della relazione di varo rispetto all'elenco di cui sopra.

Nell'impiego delle attrezzature di varo, l'Appaltatore è tenuto a rispettare le norme, le prescrizioni ed i vincoli che eventualmente fossero imposti da Enti, Uffici e persone responsabili riguardo alla zona interessata ed in particolare:

- per l'ingombro degli alvei dei corsi d'acqua;
- per le sagome da lasciare libere nei sovrappassi o sottopassi di strade, autostrade, ferrovie, e tramvie, ecc.;
- per le interferenze con servizi di soprassuolo e di sottosuolo.

25.12 Modalità esecutive del varo e controlli

Durante tutte le fasi di varo l'Appaltatore dovrà attenersi alle indicazioni di cui alla relazione di varo approvata dal Direttore dei Lavori con la massima cura per evitare, ritardi e che le strutture vengano deformate o soprasollecitate.

Per quelle operazioni di varo soggette a chiusure o parzializzazioni autostradali, l'Appaltatore deve monitorare continuamente la rispondenza del cronoprogramma esecutivo di cui al § 25.11 al reale avanzamento delle attività di cantiere ed avvisare immediatamente la Direzione Lavori e la Direzione di Tronco di competenza eventuali ritardi che possano compromettere la riuscita del varo nei tempi previsti. Laddove tali ritardi possano comportare un ritardo nella riapertura delle carreggiate autostradali rispetto ai tempi concessi, il Direttore dei Lavori, in qualsiasi momento, potrà sospendere in tutto o in parte le operazioni di varo. Ogni maggiore costo per il fermo delle macchine, degli operai e per la riprogrammazione ed esecuzione di un nuovo varo restano ad esclusivo carico dell'Appaltatore.

Il montaggio sarà eseguito in modo che la struttura raggiunga la configurazione geometrica di Progetto.
In particolare, per quanto riguarda le strutture a travata, si dovrà controllare che la controfreccia ed il posizionamento sugli apparecchi di appoggio siano conformi alle indicazioni di Progetto, rispettando le tolleranze previste, con particolare riferimento alle norme UNI EN 1090, parti 1 e 2.
La Direzione Lavori dovrà verificare l'efficacia delle prime operazioni di serraggio eseguite dall'Appaltatore rispetto alle indicazioni riportate nella qualifica Q3.

La stabilità delle strutture dovrà essere assicurata durante tutte le fasi costruttive e la rimozione dei collegamenti provvisori e di altri dispositivi ausiliari dovrà essere fatta solo quando essi risulteranno staticamente superflui.
Le superfici di contatto al montaggio nei collegamenti ad attrito con bulloni ad alta resistenza, sono in genere sabbiate e devono presentarsi pulite, prive di olio, scaglie di laminazione, macchie di grasso. Eventuali vernici saranno ammesse soltanto se previste a Progetto ed in conformità ai relativi test per la verifica del coefficiente di attrito.

Dopo il varo è necessario procedere al controllo del serraggio dei bulloni che sono stati serrati durante tali operazioni con la modalità indicata al § 25.10.3, ed al controllo delle saldature come al §25.8.1 eseguendo il controllo in contraddittorio tra Appaltatore e Direzione Lavori.

A fine posa in opera degli impalcati e prima di dar corso alle fasi di getto delle solette in c.a. nelle modalità definite in progetto o concordate con il Direttore dei Lavori, l'Appaltatore dovrà controllare quanto segue e fornire idoneo report alla Direzione Lavori:

- corrispondenza tra irrigidenti d'anima e asse appoggi
- contromonte residue
- verifica delle reazioni con martinetti idraulici

In tutte le fasi esecutive, comprese le fasi di preparazione e di sistemazione finale delle aree, per gli aspetti e le problematiche relative a temi ambientali, quali impatti acustici e vibrazionali, emissioni in atmosfera, impatto sulle acque superficiali, sotterranee e sul suolo, impatti sulla componente fauna e vegetazione, si rimanda integralmente a quanto prescritto dalla Normativa Nazionale e Regionale vigente, alle prescrizioni degli Enti preposti alla tutela ambientale, nonché alle condizioni ambientali

contenute nelle autorizzazioni ed alle disposizioni del Capitolato Ambientale e Piano di Gestione Terre/Piano di Utilizzo allegati al progetto esecutivo.

25.13 Penali

L'Appaltatore è tenuto altresì al rigoroso rispetto dei contenuti delle qualifiche Q1, Q2 e Q3.
In aggiunta a quanto sopra, nel caso in cui l'Appaltatore durante le operazioni di varo, non rispetti per qualsiasi motivo i tempi concessi dal gestore dell'infrastruttura autostradale per la riapertura al traffico delle corsie, è tenuto al pagamento di una penale con la seguente modalità.
Per tutte le tratte di viabilità autostradali la penale sarà pari a 1.000 €/h fino ad un massimo di 10.000 € nel caso in cui il ritardo della riapertura totale o parziale delle corsie, provochi una coda maggiore di 2 km o nel caso il gestore della viabilità sia costretto a deviare il traffico verso altri percorsi.

Art. 25bis Protezioni delle carpenterie metalliche contro la corrosione

25.1 bis Descrizione e campo di applicazione

Tutte le carpenterie in acciaio esposte agli agenti atmosferici, devono sempre prevedere una protezione contro la corrosione che, laddove non sia intrinseca nel materiale (acciaio inossidabile o corten), deve essere eseguita seguendo le indicazioni fornite nell'appendice F della norma UNI EN 1090-2 mediante la preparazione delle superfici e l'applicazione di sistemi di verniciatura, zincatura per immersione a caldo o duplex (zincatura e successiva verniciatura).
Il tipo di protezione alla corrosione e il colore di finitura superficiale è definito negli elaborati di progetto. Laddove non siano presenti indicazioni specifiche, la zincatura per immersione a caldo è sempre da preferire ai sistemi di verniciatura compatibilmente con le dimensioni degli elementi rispetto a quelle delle vasche di zincatura e questo in ottica di durabilità, ridotta manutenzione e maggior facilità di riutilizzo a favore di un'economia circolare e maggiormente sostenibile.

25.2 bis Normativa di riferimento

- UNI EN 1090-2: Esecuzione di strutture di acciaio e di alluminio - Parte 2: Requisiti tecnici per strutture di acciaio
- UNI EN ISO 1461: Rivestimenti di zincatura per immersione a caldo su prodotti finiti ferrosi e articoli di acciaio - Specificazioni e metodi di prova
- UNI EN ISO 14713-1: Rivestimenti di zinco – Linee guida e raccomandazioni per la protezione contro la corrosione di strutture di acciaio e di materiali ferrosi – Parte 1: Principi generali di progettazione e di resistenza alla corrosione
- UNI EN ISO 14713-2: Rivestimenti di zinco - Linee guida e raccomandazioni per la protezione contro la corrosione di strutture di acciaio e di materiali ferrosi - Parte 2: Rivestimenti di zincatura per immersione a caldo
- UNI EN ISO 12944-1: Pitture e vernici - Protezione dalla corrosione di strutture di acciaio mediante verniciatura - Parte 1: Introduzione generale
- UNI EN ISO 12944-2: Pitture e vernici - Protezione dalla corrosione di strutture di acciaio mediante verniciatura - Parte 2: Classificazione degli ambienti
- UNI EN ISO 12944-3: Pitture e vernici - Protezione dalla corrosione di strutture di acciaio mediante verniciatura - Parte 3: Considerazioni sulla progettazione
- UNI EN ISO 12944-4: Pitture e vernici - Protezione dalla corrosione di strutture di acciaio mediante verniciatura - Parte 4: Tipi di superficie e loro preparazione
- UNI EN ISO 12944-5: Pitture e vernici - Protezione dalla corrosione di strutture di acciaio mediante verniciatura - Parte 5: Sistemi di verniciatura protettiva
- UNI EN ISO 12944-6: Protezione dalla corrosione di strutture di acciaio mediante verniciatura - Parte 6: Prove di laboratorio per le prestazioni
- UNI EN ISO 12944-7: Pitture e vernici - Protezione dalla corrosione di strutture di acciaio mediante verniciatura - Parte 7: Esecuzione e sorveglianza dei lavori di verniciatura
- UNI EN ISO 12944-8: Pitture e vernici - Protezione dalla corrosione di strutture di acciaio mediante verniciatura - Parte 8: Stesura di specifiche per lavori nuovi e di manutenzione
- UNI EN ISO 2063-2: Spruzzatura termica - Zinco, alluminio e loro leghe - Parte 2: Esecuzione dei sistemi di protezione contro la corrosione

25.3 bis Classificazione dei requisiti in materia di protezione contro la corrosione

Il tasso di corrosione di una protezione contro la corrosione è influenzato dal tempo durante il quale questa protezione è esposta all'umidità, all'inquinamento atmosferico e alla contaminazione della superficie. Questo capitolato specifica i requisiti che devono possedere le protezioni contro la corrosione che sono funzione:

- *della classe di durabilità*: la durata prevista della protezione contro la corrosione deve tendere il più possibile alla vita nominale di progetto dell'opera che, salvo diversa indicazione riportata negli elaborati progettuali, è assunta pari a 50 anni in conformità al § 2.4 delle NTC2018. Pertanto la classe di durabilità della protezione contro la corrosione, sia per i sistemi di verniciatura secondo il § 5.5 della UNI EN ISO 12944-1, sia per la zincatura per immersione a caldo secondo il prospetto 2 UNI EN ISO 14713-1, è da considerarsi del tipo VH molto elevata (very high);
- *della categoria di corrosività*:
  - per le **strutture in atmosfera**, il tasso di corrosione e quindi la categoria di corrosività, è individuato dal prospetto 1 della norma UNI EN ISO 14713-1 per zincatura e dal § 5.1.1 della norma UNI EN ISO 12944-2 per i sistemi di verniciatura, che convergono tra loro classificando l'ambiente atmosferico in sei categorie di corrosione secondo la seguente tabella tratta dal citato prospetto 1 della ISO 12944-2:

Categoria di corrosività C Tasso di corrosione per lo zinco (in base a esposizioni di un anno), r_{corr} [µm/anno] e livello di corrosione	Ambienti interni (esempi)	Ambienti esterni (esempi)
C1 $r_{corr} \leq 0,1$ Molto bassa	Ambienti riscaldati con bassa umidità relativa e inquinamento insignificante, per esempio uffici, scuole, musei	Zona secca o fredda, ambiente atmosferico con inquinamento e periodo di umidità molto ridotti, per esempio alcuni deserti, Artico/Antartico centrale
C2 $0,1 < r_{corr} \leq 0,7$ Bassa	Spazi non riscaldati con temperature e umidità relativa variabili. Bassa frequenza di condensa e ridotto inquinamento, per esempio magazzini, palestre	Zona temperata, ambiente atmosferico con inquinamento ridotto ($SO_2 < 5$ µg/m³), per esempio aree rurali, piccole città. Zona secca o fredda, ambiente atmosferico con breve periodo di umidità, per esempio deserti, aree subartiche
C3 $0,7 < r_{corr} \leq 2,1$ Media	Spazi con moderata frequenza di condensa e inquinamento moderato dovuto a processi produttivi, per esempio impianti di lavorazione di generi alimentari, lavanderie, fabbriche di birra, caseifici	Zona temperata, ambiente atmosferico con inquinamento medio (SO_2: 5 ÷ 30 µg/m³) o un certo effetto di cloruri, per esempio aree urbane, aree costiere con bassa deposizione di cloruri. Zone subtropicali e tropicali con atmosfera con ridotto inquinamento
C4 $2,1 < r_{corr} \leq 4,2$ Alta	Spazi con elevate frequenza di condensa ed elevato inquinamento dovuto a processi produttivi, per esempio impianti di lavorazione industriali, piscine	Zona temperata, ambiente atmosferico con elevato inquinamento (SO_2: 30 ÷ 90 µg/m³) o un certo effetto di cloruri, per esempio aree urbane inquinate, aree industriali, aree costiere non esposte a nebbia salina, esposizione a forte effetto di Sali antighiaccio. Zone subtropicali e tropicali con atmosfere con inquinamento medio
C5 $4,2 < r_{corr} \leq 8,4$ Molto alta	Spazi con elevatissima frequenza di condensa e/o elevato inquinamento dovuto a processi produttivi, per esempio miniere, caverne per scopi industriali, capanne non ventilate in zone subtropicali e tropicali	Zone temperate e subtropicali, ambiente atmosferico con inquinamento molto elevato (SO_2: 90 ÷ 250 µg/m³) e/o importante effetto di cloruri, per esempio aree industriali, aree costiere, posizioni riparate sulla fascia costiera
CX $8,4 <= r_{corr} <= 25$ Estrema	Spazi con condensa quasi permanente o lunghi periodi di esposizione agli effetti di umidità estrema e/o con elevato inquinamento dovuto a processi produttivi, per esempio capanne non ventilate in zone tropicali umide con penetrazione dell'inquinamento esterno, compresi cloruri dispersi nell'aria e materiale particolato stimolante la corrosione	Zone subtropicali e tropicali (periodo di umidità molto elevato), ambiente atmosferico con inquinamento molto elevato ($SO_2 > 250$ µg/m³), compreso inquinamento dovuto a fattori produttivi e/o forte effetto di cloruri, per esempio aree estremamente industriali, fascia costiera e aree in mare aperto con contatto occasionale con nebbia salina

Se non diversamente specificato negli elaborati progettuali, si considera un'unica categoria di corrosività pari a C4 valida per tutti i lavori oggetto del presente articolo di capitolato.

- per le **strutture interrate o immerse in acqua**, il tasso di corrosione dipende dal tenore e dalla natura dei minerali del terreno, dalla presenza di sostanze organiche, dal tenore in acqua e in ossigeno. La corrosività del terreno è fortemente influenzata dal grado di aerazione. In acqua il tasso di corrosione dipende dal tipo di acqua - dolce, salmastra o salata ha una grande influenza sulla corrosione dell'acciaio. La corrosività è influenzata anche dal tenore di ossigeno dell'acqua, dal tipo e dalla quantità delle sostanze disciolte e dalla temperatura dell'acqua. Per definire le classi ambientali di strutture interrate e immerse in acqua torna utile il riferimento alla tabella 2 della UNI EN ISO 12944-2:

Classe	Ambiente	Esempi di ambiente e strutture
Im1	Acqua dolce	Installazioni fluviali, centrali idroelettriche
Im2	Acqua Salmastra o di mare	Zone portuali con strutture come chiuse, conche, pontili, strutture offshore
Im3	Terreno	Serbatoi interrati, pali di acciaio, tubi di acciaio

Im4	Acqua Salmastra o di mare	Strutture immerse con protezione catodica (per esempio strutture offshore)
Nota: per le categorie Im1 e Im3 può essere utilizzata una protezione catodica con un sistema di verniciatura idoneo		

25.4 bis Criteri di accettazione delle protezioni contro la corrosione

Come detto, il tipo di applicazione per la protezione contro la corrosione è indicato negli elaborati progettuali e potrà essere per verniciatura, zincatura per immersione a caldo o duplex (zincatura e successiva verniciatura).
Ogni sistema dovrà essere applicato dopo la piegatura o dopo altre forme di fabbricazione e lavorazione degli acciai di cui al § 25.7 di questo capitolato.
Come indicato in Appendice F della UNI EN 1090-2 si stabilisce che i requisiti per la protezione contro la corrosione delle carpenterie sono indicati in termini di specifica delle prestazioni come indicato al § F.1.2. Pertanto la protezione contro la corrosione dei sistemi di protezione deve essere determinata in funzione della:

- classe di durabilità secondo i contenuti del § 25.3 e pari, se non diversamente specificato negli elaborati progettuali, al valore VH (salvo diversa indicazione negli elaborati progettuali);
- categoria di corrosività secondo i contenuti del § 25.3 e pari, se non diversamente specificato negli elaborati progettuali, al valore C4 (salvo diversa indicazione negli elaborati progettuali).

25.4.1 bis Sistemi di verniciatura

Nel rispetto della prestazione richiesta (classe di durabilità VH e categoria di corrosività C4), l'Appaltatore dovrà indicare in apposita relazione, da sottoporre all'approvazione del Direttore dei Lavori, redatta conformemente alla UNI EN 1090-2 e alla norma di riferimento della UNI EN ISO 12944-8 le seguenti indicazioni applicabili laddove non in contrasto con la prestazione richiesta per lo specifico sistema di verniciatura proposto:

- il tipo del substrato (materiale base da proteggere: acciaio, acciaio zincato a caldo, acciaio verniciato ecc.);
- il grado di preparazione delle saldature dei bordi e delle altre imperfezioni che, secondo la UNI EN ISO 12944-3, per la classe di durabilità e per la categoria di corrosività specificata deve essere pari a P3;
- il tipo di pretattamento superficiale delle strutture in acciaio che, secondo la UNI EN ISO 8501-1, per la classe di durabilità e per la categoria di corrosività specificata deve essere di tipo meccanico (sabbiatura) al grado minimo Sa2½. Per attività in cantiere di manutenzione di verniciature esistenti la preparazione meccanica deve essere effettuata tramite attrezzature elettriche e/o pneumatiche (spazzole rotanti, scalpelli, ecc.), il grado di pulizia da raggiungere sarà St 3 della norma EN ISO 8501-1 ;
- la pulizia della supercifie sabbiata. Tra la fine delle attività di sabbiatura e l'inizio delle attività di verniciatura non potranno trascorrere più di 8 ore;
- il sistema di verniciatura utilizzato secondo la UNI EN ISO 12944-5, numero di strati di vernice (tipo di primer o vernice di base e mani successive), spessore minimo di ciascuno strato, schede tecniche, marcatura CE e DOP dei prodotti utilizzati per il primer e per i vari strati anche in considerazione dell'esposizione alla luce solare del manufatto da proteggere. In generale, a parità di caratteristiche tecniche, si dovrà preferire prodotti ad elevate prestazioni ambientali (ad es. utilizzo di vernici biocompatibili, a basso impatto ambientale). Nei lavori di manutenzione di opere esistenti, l'Applicatore dovrà utilizzare un ciclo di verniciatura di tipo manutentivo, che abbia come ulteriore requisito la compatibilità con quello impiegato precedentemente per la verniciatura dell'opera. A tal proposito, qualora non

sia noto il ciclo impiegato in precedenza, dovranno essere effettuate, a cura e spese dell'Appaltatore, prove fisiche di aderenza e compatibilità applicativa del ciclo scelto per la manutenzione rispetto all'esistente. L'esame di compatibilità dovrà accertare l'assenza di difetti superficiali sul ciclo manutentivo, quali ad esempio screpolature, raggrinzimento e punte di spillo. Si riporta di seguito la tabella C.4 della ISO 12944-5 per la scelta del ciclo di verniciatura per categoria di corrosività C4;

Table C.4 — Paint systems for carbon steel for corrosivity category C4

System No.	Priming coat				Subsequent coat(s)	Paint system		Durability			
	Binder type	Type of primer	No. of coats	NDFT in µm	Binder type	Total no. of coats	NDFT in µm	l	m	h	vh
C4.01	AK, AY	Misc.	1	60 to 160	AK, AY	1 to 2	160	X			
C4.02	AK, AY	Misc.	1	60 to 80	AK, AY	2 to 3	200	X	X		
C4.03	AK, AY	Misc.	1	60 to 80	AK, AY	2 to 4	260	X	X	X	
C4.04	EP, PUR, ESI	Misc.	1	80 to 120	EP, PUR, AY	1 to 2	120	X			
C4.05	EP, PUR, ESI	Misc.	1	80 to 160	EP, PUR, AY	2	180	X	X		
C4.06	EP, PUR, ESI	Misc.	1	80 to 160	EP, PUR, AY	2 to 3	240	X	X	X	
C4.07	EP, PUR, ESI	Misc.	1	80 to 240	EP, PUR, AY	2 to 4	300	X	X	X	X
C4.08	EP, PUR, ESI	Zn (R)	1	60	—	1	60	X			
C4.09	EP, PUR, ESI	Zn (R)	1	60 to 80	EP, PUR, AY	2	160	X	X		
C4.10	EP, PUR, ESI	Zn (R)	1	60 to 80	EP, PUR, AY	2 to 3	200	X	X	X	
C4.11	EP, PUR, ESI	Zn (R)	1	60 to 80	EP, PUR, AY	3 to 4	260	X	X	X	X

In addition to polyurethane technology, other coating technologies may be suitable, e.g. polysiloxanes, polyaspartic and fluoropolymer [fluoroethylene/vinyl ether co-polymer (FEVE)].

NOTE For abbreviations see Table A.1.

Si riporta altresì la tabella A.1 della stessa ISO 12944-5 per la descrizione delle abbreviazioni:

Table A.1 — Abbreviated terms and descriptions

	Abbreviated term	Description			
Type of primer	Zn (R)	Zinc-rich primer, see 7.1.2 for further details. The usual nominal dry film thickness varies from 40 µm up to 80 µm.			
	Misc.	All other categories of primers			
Binder base for primers and subsequent coats		Main binder	Type	Water-borne possible	Additional remarks
	AK	Alkyd	single pack	X	
	AY	Acrylic	single pack	X	Usually water-borne
	EP	Epoxy	two pack	X	Poor UV-resistance
	PUR	Polyurethane	single or two pack	X	Only aliphatic types for topcoats
	ESI	Ethyl silicate	single or two pack		It is recommended to use a tie coat compatible with the next subsequent coat
	C2 to C5	Corrosivity categories, see ISO 12944-2.			
	Im1 to Im3	Immersion categories, see ISO 12944-2.			
	NDFT	Nominal dry film thickness. See 7.3 for further details.			
	MNOC	Minimum number of coats. Depending on the coating material, the application method and the design of the parts, it may be necessary to apply a higher number of coats.			

- il metodo di applicazione (pennello, spruzzo, airless conformemente con le schede tecniche dei prodotti), di esecuzione e di sorveglianza di ogni strato in riferimento alla norma UNI EN ISO 12944-7 e al successivo § 25.4.1.1. Nel caso di verniciatura in prossimità dei giunti saldati di cantiere il metallo dovrà essere lasciato non rivestito per una lunghezza circa di 150 mm dall'estremità. L'Appaltatore dovrà adeguatamente proteggere le estremità delle lamiere e le cianfrinature dovranno rimanere perfettamente pulite ed esenti da ogni traccia di rivestimento. Al termine dell'applicazione di officina alle estremità delle lamiere dovrà essere applicato un materiale protettivo temporaneo facilmente rimovibile mediante spazzolatura. Nei casi di applicazione di cicli con prodotti diversi, i bordi dei diversi rivestimenti dovranno essere adeguatamente visibili per permettere la sovrapposizione del ciclo per i giunti di saldatura di cantiere ("cut back"). Con riferimento alle giunzioni bullonate ad attrito, a seguito della preparazione superficiale in accordo alla normativa EN ISO 12944-3, ovvero una sabbiatura Sa2½ secondo norma EN ISO 8501-1, le superfici rimarranno grezze. Eventualmente, per proteggere le superfici fino al momento del montaggio, potrà essere applicato un prodotto verniciante specifico che comunque garantisca il fattore di attrito richiesto dal giunto (si veda anche EN 1090-2 par. 8.4) e compatibile con il ciclo di verniciatura previsto;
- l'esecuzione dei controlli interni i cui contenuti minimi dovranno essere quelli di cui al successivo § 25.4.1.1 e le prove di verifica delle conformità i cui contenuti minimi dovranno essere quelli di cui al successivo § 25.4.1.2 da eseguire durante le varie fasi di lavorazione.
- la modalità di eventuali ripristini laddove si riscontrassero delle difettosità ad opera finita in accordo al successivo § 25.4.1.3;

25.4.1.1 bis Controlli interni di qualità da eseguirsi sulla verniciatura

Durante lo svolgimento delle attività di verniciatura sia di nuove opere che di manutenzione di opere esistenti, l'Applicatore dovrà eseguire tutte le verifiche ed i controlli previsti nella relazione di verniciatura e dalle norme in essa richiamate, al fine di garantire il più alto livello di qualità possibile. L'Applicatore dovrà anche registrare giornalmente (su appositi moduli o piani controllo qualità) tutte le attività ed i controlli eseguiti; tale documentazione dovrà essere costantemente aggiornata e disponibile in cantiere per eventuali verifiche da parte del Committente o di suoi Rappresentanti. Questi controlli dovranno ricomprendere:

- l'integrità e la buona conservazione delle pitture all'apertura delle confezioni;
- la corretta miscelazione dei prodotti (in peso o in volume) secondo le indicazioni riportate sulle schede tecniche;
- la corretta diluizione delle pitture (se prevista) con i prodotti e le percentuali indicate sulle schede tecniche;
- le condizioni ambientali di ogni fase e le temperature che dovranno essere verificate almeno tre volte al giorno (inizio, metà, fine lavori o cambio turno) mediante l'uso di appositi strumenti termo-igrometrici e registrati in appositi verbali giornalieri e dovranno sempre essere conformi alle specifiche contenute nelle schede tecniche dei prodotti utilizzati e nelle norme della serie UNI EN 12944;
- il rispetto dei tempi di induzione e del "pot life" delle pitture dopo la miscelazione, in funzione della temperatura ambiente;
- il corretto spessore umido applicato, che dovrà essere controllato con gli appositi spessimetri secondo quanto previsto dalla norma EN ISO 2808;
- il rispetto dei tempi di sovraverniciatura ed essiccazione delle pitture, in funzione della temperatura ambiente. Non è possibile stabilire, in senso generale, i minimi tempi che devono intercorrere fra una mano e l'altra in quanto sono dipendenti dai tipi di prodotto applicato e

dalle temperature di applicazione. In presenza di alta umidità atmosferica, di basse temperature oppure di essiccazione in ambienti ristretti con poca circolazione d'aria, in genere il tempo di essiccazione sarà più lungo. Il raggiungimento della massima durezza delle vernici nei casi in cui l'essiccazione avvenga per ossidazione aumenta notevolmente con l'aumentare del numero degli strati. In ogni caso attenersi a quanto indicato dalle schede tecniche dei prodotti;

- ogni strato di prodotto dovrà essere di colore diverso in modo da produrre un contrasto che assicuri la completa copertura di quello precedente. Solo per particolari colori che hanno scarso potere coprente, gli strati finali potranno essere dello stesso colore previa approvazione del Committente;
- controllo visivo dell'aspetto della verniciatura di ogni lotto di spedizione mediante la verifica dell'assenza di colature, screpolature, blistering, buccia d'arancia, vaiolature, inclusioni di sostanze estranee e di ogni difetto che possa ridurre la durata della protezione anticorrosiva delle vernici.

25.4.1.2 bis Prove di conformità del sistema di verniciatura per le nuove forniture in acciaio

La conformità ai requisiti richiesti (classe di durabilità VH *e* categoria di corrosività C4) e al sistema di verniciatura proposto dovrà essere certificata ad onere dell'Appaltatore mediante le prove eseguite da un laboratorio esterno accreditato previste dalla norma UNI EN ISO 12944-6 con frequenza in n. di 5 prove ogni 30 tonnellate di acciaio trattato e per ogni ciclo di verniciatura omogeneo:

- rugosità superficiale (Ra) compresa tra 50 ÷ 100 µm secondo: la norma EN ISO 8503-4, con "Replica Tape" (metodo dell'impronta su nastro adesivo secondo EN ISO 8503-5), o con comparatori visotattili (procedimento di confronto secondo EN ISO 8503-2); in quest'ultimo caso, la rugosità superficiale dovrà corrispondere al grado "Medium" del comparatore tipo "G" - ISO 8503-1;
- l'assenza di polvere sulle superfici secondo la norma EN ISO 8502-3 (metodo del nastro adesivo); il grado di polverosità massimo consentito dovrà essere: dust quantity rating = 2 / dust size class = 2;
- Verifica dello spessore di ogni strato della vernice/primer secondo quanto indicato nella norma ISO 19840 nel rispetto degli spessori proposti secondo le tolleranze definite in detta norma;
- Valutazione del grado di formazione di bolle (blistering) secondo la UNI EN ISO 4628-2 con requisito di accettazione 0 (S0);
- Valutazione del grado di ruggine (rusting) secondo la norma UNI EN ISO 4628-3 con requisito di accettazione Ri 0;
- Valutazione del grado di screpolatura (cracking) secondo la norma UNI EN ISO 4628-4 con requisito di accettazione 0 (S0)
- Valutazione del grado di sfogliamento (flaking) secondo la norma UNI EN ISO 4628-5 con requisito di accettazione 0 (S0).

In aggiunta a quanto sopra occorre eseguire le seguenti ulteriori prove per ogni tipo di sistema di verniciatura proposto indipendentemente dalla quantità di acciaio totale trattato:

- Verifica dell'adesione di tutte gli strati di vernice mediante prova di trazione (Pull-Off Test) secondo EN ISO 4624. L'adesione minima richiesta è pari a 5 MPa; non sono comunque accettabili distacchi di tipo "A/B" (distacco del primer dal substrato metallico). Se è prevista applicazione di prodotto intumescente il criterio di accettabilità dovrà essere applicato in base alle specifiche del Produttore in accordo con il Committente. La

prova di adesione deve essere eseguita su piastre campione in materiale analogo a quello delle lamiere opportunamente preparate, sabbiate e verniciate contemporaneamente alle attività di preparazione superficiale e verniciatura dell'opera. Con riferimento all'estensione, si raccomanda di effettuare almeno 6 test come descritto dalla normativa EN ISO 4624;

- Corrosione in nebbia salina neutra secondo la norma ISO 9277 con resistenza 720 h per la classe di corrosività C4;
- Test di invecchiamento ciclico secondo l'Allegato B della norma UNI EN ISO 12944-6 per 1680 h per la classe di corrosività C4

L'esito positivo delle prove di cui sopra costituirà garanzia di rispondenza alle prestazioni richieste.

25.4.1.3 bis Riparazione dei difetti

Tutti i difetti e i danneggiamenti riscontrati sui rivestimenti applicati, sia durante le attività, sia al termine della verniciatura, dovranno essere riparati a regola d'arte, avendo cura di preparare correttamente i bordi dell'area da riparare mediante dischi lamellari. In particolare, dovranno essere seguite tutte le indicazioni in merito riportate sulle schede tecniche delle pitture applicate e dovranno essere impiegati prodotti idonei forniti dallo stesso produttore delle pitture del ciclo prescelto. In mancanza di precise indicazioni, si adotteranno tutte le prescrizioni riportate nella presente specifica tecnica.
Tutti i difetti rilevati dopo l'applicazione di una mano di pittura dovranno essere riparati prima dell'applicazione della mano successiva.
Per la preparazione superficiale di piccole aree da riparare sarà consentita la pulizia meccanica tramite attrezzature elettriche e/o pneumatiche (spazzole rotanti, scalpelli, ecc.); in tal caso il grado di pulizia da ottenere dovrà essere sempre conforme al grado St3 della norma EN ISO 8501-1.
Riparazioni dovute a gravi errori e/o omissioni (ad esempio: incorretta miscelazione dei componenti, evidenza di pulizia superficiale non eseguita in modo adeguato, mancato rispetto dei tempi di sovraverniciatura, ecc.) e riparazioni che interessino vaste superfici (indicativamente maggiori di 0,5 m^2) dovranno essere effettuate unicamente dopo formale accettazione delle modalità di riparazione da parte del Committente o di un suo Rappresentante.
Tali modalità di riparazione dovranno essere indicate e descritte in modo chiaro e completo dall'Applicatore in una apposita specifica di riparazione. In ogni caso, qualora i difetti rilevati siano di particolare gravità e/o particolarmente estesi (complessivamente più del 20% dell'intera superficie da pitturare) il Committente potrà richiedere la completa sabbiatura e la riverniciatura di tutte le superfici di cui è prevista la pitturazione.

25.4.2 bis Zincatura per immersione a caldo

Nel rispetto della prestazione richiesta (classe di durabilità VH e categoria di corrosività C4), l'Appaltatore dovrà eseguire la zincatura per immersione a caldo in conformità alla norma UNI EN ISO 1461 e nel rispetto di tutte le condizioni per la preparazione delle superfici e per il processo di zincatura contenute nella norma UNI EN 14713-2.
In considerazione di ciò lo spessore minimo del rivestimento di zinco delle carpenterie metalliche deve essere pari a 200 µm in conformità al prospetto 2 della UNI EN ISO 14713-1 di seguito richiamato per praticità di consultazione.

prospetto 2 **Durata fino alla prima manutenzione per una selezione di sistemi di rivestimento di zinco in una gamma di categorie di corrosività**

Sistema	Campione di riferimento	Spessore minimo µm	Categoria di corrosività selezionata (ISO 9223) durata minimo/massimo (anni) e classe di durabilità (VL, L, M, H, VH)							
			C3		C4		C5		CX	
Rivestimenti di zincatura per immersione a caldo	ISO 1461	85	40/>100	VH	20/40	VH	10/20	H	3/10	M
		140	67/>100	VH	33/67	VH	17/33	VH	6/17	H
		200	95/>100	VH	48/95	VH	24/48	VH	8/24	H
Lamiera zincata per immersione a caldo	EN 10346	20	10/29	H	5/10	M	2/5	L	1/2	VL
		42	20/60	VH	10/20	H	5/10	M	2/5	L
Tubo zincato per immersione a caldo	EN 10240	55	26/79	VH	13/26	H	7/13	H	2/7	L

A garanzia di rispondenza alle prestazioni richieste e in accordo al § 7 della UNI EN ISO 1461 lo zincatore, a prestazione ultimata e per ogni fornitura, dovrà fornire un attestato che il lavoro è stato eseguito secondo la citata norma ISO 1461 secondo un appropriato schema di controllo della qualità per esempio ISO 9001.

Tale attestazione è ritenuta sufficiente in luogo di una relazione dettagliata in alalogia a quanto previsto per i sistemi di verniciatura di cui al § 25.4.1.

Quando possibile è sempre da evitare la saldatura dopo la zincatura. Se proprio ci fosse la necessità di saldare pezzi zincati, occorre proteggere preventivamente i lembi sottoposti alla saldatura per qualche centimetro, in modo che su di essi non avvenga la zincatura (per esempio attraverso protezione con vernici adatte), oppure rimuovere da essi il rivestimento di zincatura prima di procedere alla saldatura. In questo modo la saldatura non verrà influenzata dalla presenza dello zinco. La protezione delle parti saldate dovrà successivamente essere ripristinata mediante le modalità indicate al § 25.4.2.1.

25.4.2.1 bis Controlli interni di qualità da eseguirsi sulla zincatura

Durante e dopo lo svolgimento delle attività di zincatura, l'Applicatore dovrà eseguire tutte le ispezioni e controlli di cui al § F.7.2 e § F.7.4 indicati nella norma UNI EN 1090-2 compresi quelli statistici dei parametri significativi come lo spessore del rivestimento di cui alla norma UNI EN ISO 1461.

25.4.2.2 bis Prove di conformità della zincatura delle forniture in acciaio

La conformità ai requisiti richiesti (classe di durabilità VH *e* categoria di corrosività C4) e quindi allo spessore di zincatura di cui al precedente § 25.4.2, dovrà essere certificata ad onere dell'Appaltatore mediante prove di verifica dello spessore di zincatura eseguite da un laboratorio esterno accreditato secondo la norma UNI EN ISO 2178 con frequenza in n. di 5 prove ogni 30 tonnellate di acciaio trattato e per ogni ciclo di zincatura omogeneo.

25.4.2.3 bis Interventi di ripristino per danneggiamenti localizzati

L'Appaltatore deve prestare la massima attenzione a non danneggiare i componenti nelle fasi di movimentazione, trasporto e varo. Laddove venissero riscontrate difettosità negli elementi di carpenteria l'Appaltatore deve, a sua cura e spese, procedere ad un intervento di riparazione.

La riparazione della zincatura può avvenire tramite vernici ricche di zinco spalmate nei punti in cui vi è il difetto attraverso pennello oppure a spruzzo o tramite metallizzazione. Le vernici possono essere formulazioni liquide mono o bi-componenti in cui la polvere di zinco viene dispersa in una matrice organica, oppure sono prodotti a base di etilsilicati (zincante inorganico). Questi prodotti possono essere adatti al ripristino di una certa dimensione anche estesa, offrono buone performance anticorrosive e sono particolarmente adatti ai grossi interventi di riparazione.

Un'alternativa per piccoli ripristini è costituita dagli spray a base di polvere di zinco micronizzato o una miscela di polveri di zinco ed alluminio disperso in opportuna resina legante. Questi prodotti sono venduti solitamente in bombolette con una purezza superiore al 98% in metallo. Asciugano in 90 secondi e con due mani leggere si ottengono ottime protezioni prevenendo ruggine ed ossidazione.

Questi due tipi di trattamenti riparatori richiedono che la superficie da ricoprire non sia contaminata da olio, grasso, condensa e prodotti di corrosione per cui deve essere sgrassata o spazzolata prima dell'applicazione su manufatti in opera.

25.4.3 bis Sistemi protettivi duplex

Il sistema protettivo duplex consiste nell'applicazione di verniciatura su acciaio zincato a caldo ed è utilizzato per incrementare la resistenza contro la corrosione in caso di esposizione in ambienti particolarmente aggressivi in quanto presenta una efficacia protettiva circa doppia rispetto alla somma delle durate dei sistemi applicati singolarmente o può essere utilizzato per soddisfare particolari esigenze estetiche.

Per il processo di zincatura a caldo, per quanto non in contrasto con quanto previsto dal presente paragrafo, si applicano le indicazioni di cui al precedente § 25.4.2 e in fase di ordine l'Appaltatore è tenuto ad informare lo zincatore che il manufatto dopo la zincatura sarà sottoposto a successiva verniciatura.

Per il processo di verniciatura, per quanto non in contrasto con quanto previsto dal presente paragrafo, si applicano le indicazioni di cui al precedente § 25.4.1 con le precisazioni che per la preparazione della superficie zincata è applicabile la norma UNI EN 15773 e che deve essere posta particolare attenzione nella scelta delle vernici in quanto occorre assicurarsi che siano formulate per l'utilizzo su acciaio zincato.

Salvo diversa indicazione riportata sugli elaborati di progetto circa la classe di durabilità che coerentemente con quanto previsto dal §25.3 del presente articolo è assunta pari a 50 anni, i cicli di verniciatura su substrato in acciaio zincato a caldo con rivestimento di zincatura di spessore minimo coerente ai sensi della UNI EN ISO 1461, devono garantire una durabilità almeno "alta" (durata superiore a 15 anni – UNI EN ISO 12944-1) coerentemente con la tabella B.3 di cui alla UNI EN ISO 12944-5 assumendo, se non diversamente specificato sugli elaborati di progetto, una classe di corrosività pari a C4.

Table B.3 — Summary of the minimum number of coats (MNOC) and minimum NDFT of the paint system depending on durability and corrosivity category on hot dip galvanized steel according to ISO 1461

Durability		Low (l)		Medium (m)		High (h)		Very high (vh)	
Binder base of primer		EP, PUR	AY	EP, PUR	AY	EP, PUR	AY	EP, PUR	AY
Binder base of subsequent coats		EP, PUR, AY	AY	EP, PUR, AY	AY	EP, PUR, AY	AY	EP, PUR, AY	AY
C2	MNOC	[a]		[a]		1	1	1	2
	NDFT					80	80	120	160
C3	MNOC	[a]		1	1	1	2	2	2
	NDFT			80	80	120	160	160	200
C4	MNOC	1	1	1	2	2	2	2	—
	NDFT	80	80	120	160	160	200	200	—
C5	MNOC	1	2	2	2	2	—	2	—
	NDFT	120	160	160	200	200	—	240	—

In addition to polyurethane technology, other coating technologies may be suitable, e.g. polysiloxanes, polyaspartic and fluoropolymer [fluoroethylene/vinyl ether co-polymer (FEVE)].

NOTE 1 The abbreviations are described in Table A.1. For single coats, the binder base of the primer is recommended.

NOTE 2 The durability is in this case related to the paint system adhesion to the hot dip galvanized surface. In case of damaged paint system, the remaining hot dip galvanized layer delivers further protection to the steel.

[a] If coating is desired, use a system from higher corrosivity categories or durability, e.g. C2 high or C3 medium.

25.4.4 bis Ciclo di verniciatura con pittura ignifuga intumescente

La verniciatura protettiva di strutture metalliche, eventualmente indicata negli elaborati progettuali, deve essere costituita da pittura ignifuga intumescente atta all'isolamento al fuoco e ritardante la propagazione della fiamma mediante reazione ad effetto schiumogeno.
Il trattamento protettivo della carpenteria metallica trattata con vernice intumescente dovrà essere il seguente:

1) In officina:
   - sabbiatura A SA2½ delle norme SIS;
   - applicazione di uno strato di primer zincante inorganico con spessore del film secco pari 0,080 mm.
2) In opera:
   - operazioni di pulizia, eliminazione di polvere e parti incoerenti previo lavaggio, sgrassaggio delle superfici, accurata spazzolatura meccanica e/o manuale delle zone eventualmente deteriorate;
   - ritocchi, ove necessario, con primer epossipoliammidico del tipo "surface tolerant", dato a pennello, per uno spessore di film secco pari a 0,100 mm;
   - strato generale di collegamento fra lo zincante inorganico ed il rivestimento intumescente;
   - epossipoliammidico al fosfato di zinco con spessore 0,070 mm;
   - applicazione di rivestimento intumescente, idoneo a conferire, ad ogni singolo elemento (lamiere, profilati, ecc.) in base alla propria resistività, la resistenza al fuoco di classe R 30 (30 minuti) in grado di sopportare l'esposizione agli agenti atmosferici per almeno 6 mesi senza degradarsi in assenza dello strato di protezione superficiale. Al fine di raggiungere la classe di resistenza al fuoco prescritta lo spessore del film secco dovrà essere minimo di 0,250 mm. Il rivestimento dovrà essere applicato in 1 (una) mano a spruzzo airless.

- applicazione dello strato finale, a spruzzo airless, con funzioni estetico protettive a base di resine poliuretaniche alifatiche, dato in almeno 2 strati, per uno spessore complessivo non inferiore a 0,130 mm.

Il prodotto costituente il rivestimento intumescente dovrà essere certificato in base alla curva temperatura/tempo ISO 834, secondo BS 476 e rispondere a quanto specificato nella circolare del Ministero degli Interni n. 91 e nella normativa UNI 9503.
L'applicatore deve presentare una relazione con il calcolo degli spessori per la categoria REI richiesta rilasciata da tecnico iscritto all'albo degli elenchi del Ministero degli Interni per la prevenzione incendi. A fine lavori l'Appaltatore deve rilasciare le certificazioni previste da normativa per i VVF
Circa le temperature, i tempi ed il grado di umidità per le operazioni di sovraverniciatura si farà riferimento a quanto indicato nel presente articolo di capitolato.

25.5 bis Prequalifica della protezione contro la corrosione

L'Appaltatore con almeno 15 giorni di anticipo rispetto al momento in cui intende iniziare le operazioni di protezione contro la corrosione degli elementi metallici di carpenteria, deve presentare per l'approvazione del Direttore dei Lavori, la seguente documentazione:

- Certificato UNI EN ISO 9001 del sistema di gestione qualità specifico per l'attività oggetto di qualifica (zincatura a caldo o verniciatura);
- Relazione del sistema di verniciatura che intende proporre secondo i contenuti di cui al § 25.4.1 da presentare anche nel casodi sistemi protettivi duplex di cui al § 25.4.3.

25.6 bis Controllo delle forniture in cantiere a cura della Direzione Lavori, tolleranze e non conformità

25.6.1 bis Documentazione di accompagno delle furniture

La documentazione di accompagno delle forniture integra quelle di cui all'art 25 afferente l'acciaio per strutture metalliche e per strutture composte acciaio calcestruzzo.
La UNI EN 1090-1 impone per le componeni in acciaio di strutture di dichiarare nella DoP le informazioni sulla durabilità del materiale come indicato al punto ZA.3.2 intese come requisiti di protezione alla corrosione utilizzati (zincatura a caldo o verniciatura, preparazione della superficie, spessore medio del rivestimento) e tali informazioni devono sempre essere presenti nei documenti di accompagno delle forniture.
In caso di zincatura a caldo, per ogni fornitura, è richiesta la consegna del certificato di conformità ai requisiti della norma UNI EN ISO 1461 oltre ai certificati di laboratorio di cui al § 25.4.2.2.
In caso di di verniciatura, per ogni fornitura, è richiesta la consegna dei certificati di cui al § 25.4.1.2 e i piano di controllo interni di qualità di cui al al § 25.4.1.1.

25.6.2 bis Controlli sulle verniciatura per le nuove forniture in acciaio

Le carpenterie giunte in cantiere devono essere sottoposte a verifica dello spessore con frequenza in n. di 5 prove ogni 30 tonnellate di materiale fornito dalla stessa officina di verniciatura e per ogni ciclo di verniciatura omogeneo secondo quanto indicato nella norma UNI EN ISO 19840 e per i criteri di accettabilità fare riferimento agli spessori di cui al § 25.4.1.

25.6.2.1 bis Controlli di ripristini di verniciatura di opere esistenti

La conformità ai requisiti richiesti (della classe di durabilità VH *e* categoria di corrosività C4) e al sistema di verniciatura proposto e applicato dovrà essere certificata mediante le seguenti prove

previste dalla norma UNI EN ISO 12944-6 con frequenza in n. di 5 prove ogni 60 tonnellate di acciaio trattato e per ogni ciclo di verniciatura omogeneo:

- l'assenza di polvere sulle superfici secondo la norma EN ISO 8502-3 (metodo del nastro adesivo); il grado di polverosità massimo consentito dovrà essere: dust quantity rating = 2 / dust size class = 2. Tale prova dovrà essere eseguita ad onere dell'Appaltatore tramite laboratorio o report dell'Appaltatore stesso;
- Verifica dello spessore di ogni strato della vernice/primer secondo quanto indicato nella norma ISO 19840 nel rispetto degli spessori proposti secondo le tolleranze definite in detta norma. Tale prova dovrà essere eseguita ad onere del Committente tramite laboratorio;
- Valutazione del grado di formazione di bolle (blistering) secondo la UNI EN ISO 4628-2 con requisito di accettazione 0 (S0). Tale prova dovrà essere eseguita ad onere del Committente tramite laboratorio;
- Valutazione del grado di ruggine (rusting) secondo la norma UNI EN ISO 4628-3 con requisito di accettazione Ri 0. Tale prova dovrà essere eseguita ad onere del Committente tramite laboratorio;
- Valutazione del grado di screpolatura (cracking) secondo la norma UNI EN ISO 4628-4 con requisito di accettazione 0 (S0). Tale prova dovrà essere eseguita ad onere del Committente tramite laboratorio;
- Valutazione del grado di sfogliamento (flaking) secondo la norma UNI EN ISO 4628-5 con requisito di accettazione 0 (S0). Tale prova dovrà essere eseguita ad onere del Committente tramite laboratorio.

In aggiunta a quanto sopra occorre eseguire la seguente ulteriore prova per ogni tipo di sistema di verniciatura proposto e almeno una ogni opera soggetta ai lavori di manutenzione:

- Verifica dell'adesione delle vernici mediante prova di trazione (Pull-Off Test) secondo EN ISO 4624. L'adesione minima richiesta è pari a 5 MPa; non sono comunque accettabili distacchi di tipo "A/B" (distacco del primer dal substrato metallico). Se è prevista applicazione di prodotto intumescente il criterio di accettabilità dovrà essere applicato in base alle specifiche del Produttore in accordo con il Committente. La prova di adesione deve essere eseguita su piastre campione in materiale analogo a quello delle lamiere opportunamente preparate, sabbiate e verniciate contemporaneamente alle attività di preparazione superficiale e verniciatura dell'opera. Con riferimento all'estensione, si raccomanda di effettuare almeno 6 test come descritto dalla normativa EN ISO 4624. Tale prova dovrà essere eseguita ad onere del Committente tramite laboratorio;

L'esito positivo delle prove di cui sopra costituirà garanzia di rispondenza alle prestazioni richieste.

25.6.3 bis Controlli sulle zincature per immersione a caldo di nuove forniture in acciaio

Le carpenterie giunte in cantiere devono essere sottoposte a verifica dello spessore locale della zincatura a caldo secondo la norma UNI EN ISO 2178 con frequenza di n. 5 prove ogni 60 tonnellate di materiale fornito dalla stessa officina di zincatura.

Qualora possibile tale verifica deve essere effettuata con materiale a pià d'opera. Qualora ciò non sia possibile eventuali oneri di cantierizzazione necessarie per l'esecuzione della prova saranno a cura ed onere dell'Appaltatore.

La D.L. procederà a controllare che la zincatura non presenti difetti riscontrabili ad un controllo visivo degli elementi con particolare attenzione ai dettagli sensibili (ad esempio superfici tagliate, angoli non molati ed eventuali spigoli vivi. Si veda § 6.6.1 della norma UNI EN ISO 14713-2).

25.6.4 bis Tolleranze e penali

Si riterranno conformi forniture in cui la media dello spessore della protezione sulle 5 prove eseguite su lotti da 60 tonnellate è maggiore del limite indicato al al § 25.4.1 per i sistemi di verniciatura e di cui al § 25.4.2 per la zincatura a caldo e nessun valore sia inferiore all'80% di detto limite.

Le forniture verranno rifiutate se la media dello spessore della protezione contro la corrosione eseguita su singoli lotti da 60 tonnellate è inferiore all'80% del valore di cui al § 25.4.1 per i sistemi di verniciatura e di cui al § 25.4.2 per la zincatura a caldo.

Le forniture verranno accettate con penale definitiva per valori medi di spessore della protezione ridotti in maniera non maggiore del 80% rispetto ai predetti limiti. La penale definitiva è variabile in proporzione al valore dello spessore della protezione alla corrosione degli elementi di carpenteria con la seguente modalità:

- Penale pari al 30% dell'opera, comprendente la fornitura, la posa della carpenteria e la protezione alla corrosione per spessori pari all'80% dei predetti limiti;
- Penale pari al 10% per spessori medi subito inferiori del valore di progetto;
- Penale calcolata tra il 10% e il 30% in proporzione al ridotto spessore medio nell'intervallo compreso tra il valore di progetto e l'80% .

Art. 26 Apparecchi d'appoggio e dispositivi antisismici

26.1 Descrizione, classificazione e campo di applicazione

26.1.1 Apparecchi d'appoggio

Gli apparecchi di appoggio sono dispositivi di vincolo aventi valenza strutturale ai sensi delle NTC2018 e devono sopportare i carichi verticali ed orizzontali trasmessi dall'impalcato di opere d'arte stradali e autostradali (ponti, viadotti, cavalcavia, sottovia, ecc.) e vincolare determinati gradi di libertà di spostamento. Gli appoggi devono essere realizzati in modo da permettere il movimento specificato con la minor forza di reazione possibile.

Nello specifico gli appoggi, in relazione al tipo di movimento consentito nel piano, si suddividono in:

- FISSO: impedisce tutte le traslazioni;
- MOBILE UNIDIREZIONALE (o guidato): consente traslazioni in una sola direzione;
- MOBILE MULTIDIREZIONALE (o libero): consente traslazioni in ogni direzione del piano.

Più nello specifico gli apparecchi d'appoggio si suddividono in:

a - *elementi di scorrimento e guide*: tali elementi non sono appoggi strutturali ma sono utilizzati in combinazione con gli appoggi strutturali. Gli elementi di scorrimento e le guide permettono movimenti su superfici di scorrimento curve o piane con un attrito minimo. Possono incorporare lastre di PTFE (politetrafluoroetilene) in combinazione con rivestimento di cromo duro, acciaio austenitico e lega di alluminio, o materiali compositi CM1 e CM2 in combinazione con acciaio austenitico. Il materiale composito CM1 consiste di tre strati: una striscia di supporto di bronzo e una matrice porosa sinterizzata di interconnessione, impregnata e rivestita di una miscela di PFTE/piombo, il CM2 è un reticolato metallico di CuSn6 stabilizzato flessibile sinterizzato in un composto di PFTE con l'appoggio o la superficie di scorrimento caratterizzata dal rivestimento di PFTE più spesso;

b - *apparecchi d'appoggio elastomerici* in gomma naturale o gomma cloroprenica come polimero grezzo anche in miscelazione con altro polimero in percentuale fino al 5% ad esclusione della gomma riciclata o già vulcanizzata;

c - *apparecchi d'appoggio a rullo* singoli o multiplo aventi asse del rullo orizzontale. Per la fabbricazione dei rulli e delle piastre dei rulli devono essere utilizzati materiali ferrosi tipo acciaio al carbonio conforme ai requisiti della EN 10025 o delle EN 10083-1 ed EN 10083-2, acciaio inossidabile conforme ai requisiti della EN 10088-2 o acciaio fuso conforme alla ISO 3755;

d - *apparecchi d'appoggio a disco elastomerico* costituito da gomma naturale o policloroprene confinato entro un basamento inferiore e un pistone superiore, entrambi metallici. L'apparecchio è completato da una guarnizione interna disposta sul bordo superiore della superficie di gomma per impedire la fuoriuscita di materiale elastomerico e da una guarnizione esterna disposta tra basamento e pistone, per proteggere il corpo interno da umidità e detriti. Per ridurre l'attrito tra cuscinetto e componenti metallici, e di conseguenza limitare l'usura e l'entità del momento parassita alla rotazione, è previsto l'uso di un lubrificante.

e - *apparecchi d'appoggio a contatto lineare* costituiti da due piastre metalliche variamente sagomate a contatto e libere di ruotare reciprocamente. Se una delle piastre è sagomata a calotta cilindrica e l'altra è piana, il contatto e la rotazione avvengono lungo una generatrice del cilindro (contatto lineare); se una delle superfici è sagomata a calotta sferica (concava) o è piana e l'altra è sagomata a calotta sferica (convessa) di raggio inferiore alla prima, il contatto e la rotazione avvengono in un punto (contatto puntuale).

f - apparecchi d'appoggio sferici e cilindrici aventi superfici di scorrimento in PTFE (politetrafluoroetilene) che hanno un funzionamento basato sullo strisciamento di una

superficie di PTFE ed una di metallo, l'una concava e l'altra convessa, disposte su opportune piastre di supporto. Le superfici di scorrimento possono essere cilindriche o sferiche.

Gli apparecchi elencati da "b" a "f" (con la parziale eccezione degli apparecchi elastomerici), sono da intendere come appoggi fissi che consentono rotazioni attorno ad un unico asse (apparecchi a cerniera cilindrica) o a un qualsiasi asse (apparecchi a cerniera sferica) del piano orizzontale. Tali apparecchi, accoppiati con gli elementi scorrevoli definiti in "a", realizzano apparecchi d'appoggio mobili, in grado di permettere, oltre alle rotazioni viste, il movimento in una direzione (apparecchi monodirezionali) o in più direzioni (apparecchi multidirezionali) del piano orizzontale.
Caso particolare è costituito dagli apparecchi elastomerici "b" che permettono limitati spostamenti in ogni direzione del piano orizzontale, generando forze proporzionali alle corrispondenti traslazioni.

26.1.2 Dispositivi antisismici

I dispositivi antisismici sono definiti come quegli elementi aventi la funzione di adeguare la risposta della struttura di opere d'arte stradali e autostradali (ponti, viadotti, cavalcavia, sottovia, ecc.) alla sollecitazione sismica secondo specifiche strategie progettuali di protezione attuate con l'inserimento di detti dispositivi all'interno della struttura, generalmente tra impalcato e sottostruttura. Tali strategie, da sole od opportunamente combinate tra loro, possono essere suddivise in alcune classi fondamentali, rispetto alle quali sono individuate le seguenti tipologie di dispositivi:

- DISPOSITIVI DI VINCOLO TEMPORANEO: questi dispositivi sono utilizzati per obbligare i movimenti in uno o più direzioni secondo modalità differenziate a seconda del tipo e dell'entità dell'azione. Si distinguono in :
  - *Dispositivi di vincolo del tipo "a fusibile"*: caratterizzati dall'impedire i movimenti relativi fra le parti collegate sino al raggiungimento di una soglia di forza oltre la quale, al superamento della stessa, consentono tutti i movimenti. Abitualmente sono utilizzati per escludere il sistema di protezione sismica nelle condizioni di servizio, consentendone il libero funzionamento durante il terremoto di progetto, senza modificarne il comportamento.
  - *Dispositivi (dinamici) di vincolo provvisorio*: caratterizzati dalla capacità di solidarizzare gli elementi che collegano, in presenza di movimenti relativi rapidi, quali quelli sismici, e di lasciarli liberi, o quasi, in presenza di movimenti relativi lenti imposti o dovuti ad effetti termici.
- DISPOSITIVI DIPENDENTI DALLO SPOSTAMENTO, a loro volta suddivisi in:
  - *Dispositivi a comportamento lineare o "Lineari"*: caratterizzati da un legame forza-spostamento sostanzialmente lineare, fino ad un dato livello di spostamento, con comportamento stabile per il numero di cicli richiesti e sostanzialmente indipendente dalla velocità; nella fase di scarico non devono mostrare spostamenti residui significativi.
  - *Dispositivi a comportamento non lineare o "Non Lineari"*: caratterizzati da un legame forza-spostamento non lineare, con comportamento stabile per il numero di cicli richiesti e sostanzialmente indipendente dalla velocità.
- DISPOSITIVI DIPENDENTI DALLA VELOCITÀ detti anche *dispositivi a comportamento viscoso* o *"Viscosi"*: caratterizzati dalla dipendenza della forza soltanto dalla velocità o da velocità e spostamento contemporaneamente; il loro funzionamento è basato sulle forze di reazione causate dal flusso di un fluido viscoso attraverso orifizi o sistemi di valvole.
- DISPOSITIVI DI ISOLAMENTO o "*Isolatori*": svolgono fondamentalmente la funzione di sostegno dei carichi verticali, con elevata rigidezza in direzione verticale e bassa rigidezza o resistenza in direzione orizzontale, permettendo notevoli spostamenti orizzontali. A tale funzione possono essere associate o no quelle di dissipazione di energia, di ricentraggio del sistema, di vincolo laterale sotto carichi orizzontali di servizio (non sismici). Essendo fondamentalmente degli apparecchi di appoggio, essi debbono rispettare le relative norme per garantire la loro piena

funzionalità rispetto alle azioni di servizio. In generale, ai fini della presente norma, si possono individuare le seguenti tipologie di isolatori:
  - Isolatori elastomerici: costituiti da strati alternati di materiale elastomerico (gomma naturale o materiali artificiali idonei) e di acciaio, quest'ultimo con funzione di confinamento dell'elastomero, risultano fortemente deformabili per carichi paralleli alla giacitura degli strati (carichi orizzontali).
  - Isolatori a scorrimento: costituiti da appoggi a scorrimento, con superficie piana o curva, caratterizzati da bassi valori delle resistenze per attrito.
- DISPOSITIVI costituti da una COMBINAZIONE DELLE PRECEDENTI CATEGORIE.

26.2 Riferimenti normativi

- Decreto ministeriale 17/01/2018 "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni" e Circ.Minist.n° 7 C.S.LL.PP."Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni di cui al DM 17/01/2018"
- Legge n.1086 5 Novembre 1971, e relativo D.M. in vigore: "Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica".
- UNI EN 1337-1: Appoggi strutturali – Regole generali di Progetto
- UNI EN 1337-2: Appoggi strutturali – Elementi di scorrimento
- UNI EN 1337-3: Appoggi strutturali – Appoggi elastomerici
- UNI EN 1337-4: Appoggi strutturali – Appoggi a rullo
- UNI EN 1337-5: Appoggi strutturali – Appoggi a disco elastomerico
- UNI EN 1337-6: Appoggi strutturali – Appoggi a contatto lineare
- UNI EN 1337-7: Appoggi strutturali – Appoggi sferici e cilindrici di PTFE
- UNI EN 1337-8: Appoggi strutturali – Guide e ritegni
- UNI EN 1337-9: Appoggi strutturali – Protezione
- UNI EN 1337-10: Appoggi strutturali – Ispezione e manutenzione
- UNI EN 1337-11: Appoggi strutturali – Trasporto, immagazzinamento ed installazione
- UNI EN 15129: Dispositivi antisismici

26.3 Criteri di accettazione degli apparecchi d'appoggio e dei dispositivi antisismici

26.3.1 Specifiche per la qualifica

26.3.1.1 Appoggi

Gli appoggi strutturali dovranno essere qualificati secondo quanto disciplinato al § 11.6 delle NTC2018 e quindi devono essere conformi alla pertinente norma europea armonizzata della serie UNI EN 1337 e recare la Marcatura CE e DoP con sistema di valutazione e verifica della costanza della prestazione da applicare è il tipo 1.

Nel caso di dispositivi non ricadenti, o non completamente ricadenti, nel campo di applicazione di una delle norme europee armonizzate della serie UNI EN 1337, si applica il caso C) del §11.1 delle NTC2018 ed il fabbricante dovrà pervenire alla Marcatura CE sulla base della pertinente "Valutazione Tecnica Europea" (ETA), oppure dovrà ottenere un "Certificato di Valutazione Tecnica" rilasciato dal Presidente del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, previa istruttoria del Servizio Tecnico Centrale, anche sulla base di Linee Guida approvate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, ove disponibili.

Tutti gli apparecchi di appoggio devono essere altresì conformi ai livelli prestazionali attesi nel progetto in merito a spostamenti, rotazioni e carichi.

26.3.1.2 Dispositivi antisismici

I dispositivi antisismici dovranno invece essere conformi alla pertinente norma europea armonizzata UNI EN 15129 e recare Marcatura CE e DoP con sistema di valutazione e verifica della costanza della prestazione da applicare è il tipo 1.
Nel caso di dispositivi non ricadenti, o non completamente ricadenti, nel campo di applicazione di una delle norme europee armonizzate della UNI EN 15129, si applica il caso C) del §11.1 delle NTC2018 ed il fabbricante dovrà pervenire alla Marcatura CE sulla base della pertinente "Valutazione Tecnica Europea" (ETA), oppure dovrà ottenere un "Certificato di Valutazione Tecnica" rilasciato dal Presidente del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, previa istruttoria del Servizio Tecnico Centrale, anche sulla base di Linee Guida approvate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, ove disponibili.

Tutti i dispositivi antisismici e le loro connessioni alla struttura devono essere conformi al requisito dello Stato limite collasso (SLC): i dispositivi dovranno essere progettati, realizzati e messi in opera per sopportare l'azione sismica di Progetto, come definita dal Progettista, senza pervenire a collassi locali o globali, mantenendo, dopo l'evento sismico, integrità funzionale e una residua resistenza meccanica. In particolare, i dispositivi devono essere in grado di sostenere, senza rotture, gli spostamenti massimi propri del dispositivo valutati per l'input sismico allo Stato limite di Collasso (SLC)

Per dispositivi non ricadenti nel campo di applicazione della norma europea armonizzata UNI EN 15129 le prove di accettazione, che rimangono obbligatorie, saranno eseguite secondo le modalità e con i criteri di valutazione riportate nelle specifiche tecniche europee, oppure nella Certificazione di valutazione tecnica, di riferimento.

I dispositivi sottoposti a prove di qualificazione o di accettazione potranno essere utilizzati nella costruzione solo se gli elementi sollecitati in campo non lineare vengono sostituiti o se la loro resistenza alla fatica oligociclica è almeno di un ordine di grandezza superiore al numero dei cicli delle prove, e comunque previo accertamento della loro perfetta integrità e piena funzionalità a seguito delle prove, da accertare attraverso la successiva effettuazione delle prove di accettazione ed il controllo dei relativi parametri di verifica.

26.3.2 Marcatura degli appoggi e degli isolatori

In accordo al § 7.3 della norma UNI EN 1337-1 e UNI EN 15129, tutti gli apparecchi devono essere marcati ed etichettati con il nome del fabbricante e il luogo di fabbricazione, l'anno di fabbricazione e un numero di serie che deve essere un numero individuale e univoco per ogni tipo di appoggio. Inoltre tutti gli appoggi diversi dagli appoggi elastomerici devono essere marcati con le informazioni seguenti:
- tipo di appoggio;
- numero d'ordine del fabbricante;
- carichi nominali massimi per forze verticali e orizzontali;
- spostamenti nominali massimi;
- posizione nella struttura;
- direzione di installazione.

Con l'eccezione delle ultime due voci, queste marcature devono essere visibili e comprensibili per tutta la vita utile dell'appoggio e quindi non coperte dalla struttura dopo la posa.

26.3.3 Materiali costituenti

I tipi di materiale utilizzati per la realizzazione degli apparecchi e le loro caratteristiche meccaniche e fisiche devono essere conformi alle specifiche indicate nelle pertinenti norme UNI EN di riferimento di cui al § 26.2. L'Appaltatore deve trasmettere al Direttore dei Lavori in fase di qualifica di cui al § 26.4, la distinta dei materiali costituenti i singoli apparecchi e i certificati di laboratorio autorizzato per l'evidenza delle caratteristiche meccaniche e fisiche, compresi i lubrificanti utilizzati, le malte di allettamento e sigillatura (in conformità a quanto disciplinato al § 26.3.3.1 e al § 26.5.6), gli eventuali ancoraggi (tirafondi) con l'indicazione dei valori delle coppie di serraggio e la scheda tecnica con relativa marcatura CE e DoP dell'ancorante.
Inoltre, con l'obiettivo di eseguire prove di pullout per la verifica della corretta messa in opera dell'ancorante, l'Appaltatore deve fornire le indicazioni sul livello di carico di esercizio da applicare. Tale valore deve essere riportato anche nel manuale di montaggio, uso e manutenzione di cui al § 26.3.7.

26.3.3.1 Materiali di allettamento

I materiali di supporto comunemente utilizzati hanno le seguenti caratteristiche.

- **Malta cementizia**, premiscelata, colabile, con ritentore d'umidità liquido, ad elevatissima duttilità, contenente fibre sintetiche per ridurre gli effetti negativi del ritiro plastico e fibrorinforzata con fibre metalliche rigide (acciaio) per conferire duttilità, con le caratteristiche indicate nelle malte per ripristini di tipo MC3 (Art.22), salvo migliori disposizioni progettuali.
- **Betoncino cementizio**, colabile, ad elevatissima duttilità, ottenuto aggiungendo aggregati selezionati alla malta descritta in precedenza, con le caratteristiche indicate nei betoncini per ripristini di tipo B3 (Art. 22), salvo migliori disposizioni progettuali.
- **Malta di resina** per spessoramenti con le seguenti caratteristiche, salvo migliori disposizioni progettuali:
  - Resistenza a compressione ASTM D695: > 55 MPa a 7gg di stagionatura.
  - Modulo elastico ASTM D695: 7000 MPa a 7gg di stagionatura.
  - Resistenza a trazione per flessione ASTM D790: > 25 MPa a 7gg di stagionatura
  - Resistenza a trazione diretta ASTM D638: > 8 MPa a 7gg di stagionatura
  - Modulo elastico a trazione diretta ASTM D638: 9500 MPa a 7gg di stagionatura
- **Sigillante di natura polisolfurica** con le seguenti caratteristiche, salvo migliori disposizioni progettuali:
  - Resistenza a trazione - UNI EN 12311: 0,5 MPa.
  - Allungamento a rottura - UNI EN 12311: 250%.
  - Permeabilità all'acqua - UNI EN 1928: nulla.
  - Resistenza in nebbia salina - ASTM R 117: 650 h.
  - Durezza: 25 ShA.
- **Pasta di resina con funzione di adesivo** con le seguenti caratteristiche, salvo migliori disposizioni progettuali:
  - Resistenza a compressione: 90 MPa.
  - Resistenza a flessotrazione: 50 MPa.
  - Adesione al metallo - ASTM D 1002: 10 MPa.
  - Adesione al calcestruzzo - UNI 8298-1: 3 MPa (rottura del supporto in cls).
  - Ritiro lineare - ASTM D 2556: inferiore a 0,0013 cm/cm.
  - Modulo elastico secante a compressione - UNI 12390-13: 6 GPa.
  - Gel time - ASTM D 2471: 5°C=150 min; 20 °C=45 min.

26.3.4 Protezione degli apparecchi dagli effetti dell'ambiente

Gli apparecchi devono essere dotati di idonei sistemi di protezione dagli effetti dell'ambiente soprattutto in riferimento alla corrosione. Al riguardo occorre considerare che la vita lavorativa degli appoggi e dei dispositivi antisismici è la stessa di quella dell'opera d'arte a cui sono a servizio che, salvo diversa indicazione riportata negli elaborati progettuali, è assunta pari a 50 anni in conformità al § 2.4 delle NTC2018.
Per la valutazione della corrosività occorre tener presente che la categoria di corrosività dell'ambiente, ai sensi della EN ISO 9223 è la C4 caratterizzata da un elevato inquinamento atmosferico ed esposto a forte effetto di sali antighiaccio.
Si richiede che la protezione alla corrosione delle parti metalliche degli apparecchi di appoggio e dei dispositivi antisismici sensibili alla corrosione e a contatto diretto con l'aria dell'ambiente, sia realizzata in conformità ai contenuti dell'art. 25bis di questo capitolato a cui si rimanda per le specifiche dei criteri di accettazione, qualifica e controllo.
In ogni caso, in accordo a quanto indicato al § 9.11 delle NTC2018, tutti i dispositivi devono avere una vita di servizio maggiore di 10 anni nel campo di temperatura di riferimento indicato nelle specifiche tecniche applicabili a ciascun dispositivo. In assenza di indicazioni riportate nelle suddette specifiche tecniche il campo di temperatura di riferimento deve essere almeno compreso fra –15 °C e +45 °C
Le risultanze delle valutazioni sulla durabilità devono essere alla base per la redazione del piano di manutenzione di cui al § 26.3.5.

26.3.5 Disegni costruttivi e di installazione degli apparecchi

Il Fornitore deve presentare alla Direzione Lavori tramite l'Appaltatore i disegni costruttivi e di installazione di cui al § 4 della norma UNI EN 1337-11 degli apparecchi con le dimensioni, quote, inclinazioni, posizionamento planimetrico, tolleranze, qualità del materiale di sigillatura, preregolazione dell'appoggio in funzione della temperatura della struttura.
Le tolleranze delle dimensioni degli elementi e della loro posizioni in opera deve essere conforme a quanto specificato nelle norme di riferimento dei prodotti di cui al § 26.1 o in mancanza, secondo la normativa UNI EN 22768.

26.3.6 Preregolazione degli apparecchi di appoggio

La temperatura appossimativa prevalente nella struttura e, in casi particolari, le variazioni di temperatura in punti diversi nella struttura stessa, devono essere valutate e usate se necessario per determinare la preregolazione (per la determinazione delle temperatura media della struttura si rimanda all'appendice A, punto A.1 della norma UNI EN 1337-11).
Se necessaria, la preregolazione richiesta deve essere eseguita presso l'impianto di fabbricazione. Se non è possibile evitare una nuova regolazione in sito, questa deve essere eseguita solo dal fabbricante dell'appoggio o sotto la sua supervisione.

26.3.7 Manuale di montaggio, uso e manutenzione

Ogni apparecchio o, se sufficiente, ogni famiglia di apparecchi, dovrà essere dotato di un manuale di montaggio, uso e manutenzione fornito e firmato dal Fornitore in cui sono indicate le modalità, le tempistica e la frequenza degli interventi di controllo e manutenzione (ordinaria e straordinaria). Nel manuale devono essere ben specificate tutte le operazioni per la corretta installazione in conformità a quanto disciplinato al § 26.5. Tale documentazione andrà consegnata in fase di qualifica di cui al successivo § 26.4.

26.3.8 Ispezionabilità degli apparecchi

Gli apparecchi devono essere disposti in modo che sia possibile, in caso di necessità, effettuare ispezioni, operazioni di manutenzione e sostituzione degli stessi o di parti di questi, allo scopo di garantirne la funzionalità per l'intera durata prevista della struttura.

26.3.9 Macchinari e attrezzature per il sollevamento di impalcati

Nel caso il progetto preveda la sostituzione degli apparecchi di appoggio, dei dispositivi antisismici e/o il ripristino o il rialzo delle strutture in elevazione può risultare necessario dover sollevare l'intero impalcato o le singole testate dello stesso.
I macchinari e le attrezzature necessarie all'esecuzione del sollevamento devono avere le seguenti caratteristiche:

- Centralina oleodinamica della potenza necessaria al carico da sollevare (in generale da 500 a 2.000 bar per ogni punto di sollevamento) operante a pressioni differenziabili e dedicate per ogni punto di sollevamento in modo da non indurre nella struttura sollecitazioni torsionali;
- Pannello di controllo della centralina che deve permette di azionare in maniera sincrona la salita e la discesa dei punti di sollevamento con l'impostazione di un differenziale di spostamento massimo superato il quale deve entrare un blocco di sicurezza. Il pannello di controllo deve permettere il monitoraggio e il controllo in continuo della pressione, della corsa e del differenziale di corsa di tutti i punti di sollevamento;
- Trasduttori di posizione e pressione per ogni punto di sollevamento con precisione di rilevamento al decimo di millimetro;
- Cilindri idraulici di adeguata corsa e portata in funzione dell'altezza di sollevamento e del peso della struttura. Per i cilindri potrà essere richiesto dal progetto o dal Direttore dei Lavori a suo insindacabile giudizio:
    - La testina oscillante autolivellante per una migliore distribuzione del carico da sollevare;
    - La ghiera per il bloccaggio e il mantenimento meccanico del carico in piena sicurezza anche per tempi molto lunghi e a centralina scollegata per dare all'operatore la possibilità di lavorare sotto il carico sollevato;
    - Il funzionamento in fase di ritorno/discesa sotto carico o a gravità;
- Le strutture metalliche di appoggio provvisionali devono essere conformi alle specifiche progettuali che, salvo diverse indicazioni progettuali, saranno costituite da:
    - profili a sezione aperta laminati a caldo saldati:
        - dotati di marcatura CE e DoP conformemente alla norma UNI EN 10025-2 di qualità S355 J2 per spessori nominali $t \leq 40mm$
        - dotati di marcatura CE e DoP conformemente alla norma UNI EN 10025-2 di qualità S355 K2 per spessori nominali $t > 40mm$
    - profili a sezione aperta laminati a caldo non saldati:
        - dotati di marcatura CE e DoP conformemente alla norma UNI EN 10025-2 di qualità S355 J0
    - profili a sezione cava:
        - dotati di marcatura CE e DoP conformemente alla norma UNI EN 10210-1 di qualità S355 J0H

  Per tutti gli acciai il sistema di attestazione della conformità deve essere di tipo 2+.
  L'Appaltatore può, limitatamente alle opere di sostegno provvisionali (spessoramenti, baggioli metallici, torrini, pile provvisorie ecc), proporre la qualifica di materiali che utilizza abitualmente in operazioni simili di forma e qualità differente rispetto alle indicazioni sopra riportate e a quelle del progetto purchè:

- trasmetta una relazione di calcolo firmata da un ingegnere iscritto all'albo per la verifica delle strutture temporanee impiegate a sostegno dell'opera durante tutte le fasi di sollevamento;
- trasmetta i certificati di un laboratorio ufficiale di prove sui materiali metallici di:
  - snervamento fy, rottura ft, allungamento secondo la norma UNI EN ISO 6892-1
  - resilienza su provetta Charpy secondo la norma UNI EN ISO 148-1
  - analisi chimica secondo UNI EN 10315, UNI EN ISO 15350 o al CR 10320
- le parti metalliche si presentino in perfette condizioni senza ammaccature o parti arrugginite

26.4 Documenti di prequalifica

L'Appaltatore deve trasmettere al Direttore dei Lavori per approvazione almeno 15 giorni prima dell'inizio delle attività, la documentazione di seguito elencata.

La mancata presentazione della documentazione preliminare comporta la non autorizzazione all'inizio dell'esecuzione dei lavori, né saranno accettate eventuali lavorazioni svolte prima dell'approvazione delle modalità esecutive.

Per gli interventi in oggetto si richiede la presentazione da parte dell'Appaltatore di una apposita "Procedura di lavoro", prevista all'art. CG.01.01 della sezione "Condizioni Generali" del presente Capitolato Speciale nel rispetto dei contenuti di cui al successivo § 26.5 Modalità esecutive. L'Appaltatore, deve altresì trasmettere alla Direzione Lavori per approvazione, un dossier di qualifica contenente:

- Marcatura CE, DoP e scheda tecnica di ogni apparecchio di appoggio o dispositivo antisismico;
- Certificati di controllo delle prove eseguite da un Laboratorio di cui all'articolo 59 del DPR 380/2001 a dimostrazione della **conformità del prodotto completo (apparecchi di appoggio o dispositivo antisismico)** secondo l'elenco di cui alle norma EN di competenza al § valutazione della conformità che il Produttore già deve eseguire per il mantenimento della qualificazione dei dispositivi. A tal riguardo si specifica, come riportato al § 11.9.3 delle NTC 2018 per i dispositivi antisismici, che è inoltre necessario:
  - che il campionamento dei dispositivi antisismici sia effettuato, sui lotti destinati allo specifico cantiere, dal Direttore dei Lavori del cantiere stesso;
  - che I suddetti certificati devo riportare esplicitamente l'indicazione del o dei cantieri ove viene utilizzata la fornitura;

  L'elenco dei controlli per il mantenimento della qualificazione degli apparecchi di appoggio e dei dispositivi antisismici da trasmettere alla Direzione Lavori è riportato nei successivi § 26.4.1 e 26.4.2.
- Certificati di controllo delle prove eseguite da un Laboratorio di cui all'articolo 59 del DPR 380/2001 a dimostrazione della conformità delle **materie prime e dei componenti** degli apparecchi di appoggio o dispositivi antisismici secondo l'elenco di cui alle norma EN di competenza al § valutazione della conformità che il Produttore già deve eseguire per il mantenimento della qualificazione dei dispositivi. Ove pertinente occorre fornire il certificato di controllo interno tipo 3.1 del Produttore della materia prima, di cui alla norma UNI EN 10204;
- Disegni costruttivi e distinta dei materiali componenti gli appoggi e/o i dispositivi antisismici di cui al § 26.3.5
- Manuale di installazione, uso e manutenzione per ogni tipologia di apparecchio di cui al § 26.3.7;

- La certificazione del sistema di controllo della produzione (FPC) e il Certificato UNI EN ISO 9001 del sistema di gestione qualità delle società produttrici degli apparecchi;
- Nominativo e curricula del personale qualificato della ditta produttrice degli elementi o del sollevamento per la posa in opera in conformità a quanto disciplinato al § 26.5;
- Schede tecniche, marcatura CE e DoP (ove applicabili) dei macchinari e delle attrezzature per il sollevamento dell'impalcato nel rispetto dei criteri di accettazione di cui al § 26.3.9, comprese le eventuali relazioni di calcolo per le strutture provvisionali proposte in alternativa a quelle di progetto.

I requisiti d'accettazione potranno inoltre essere accertati con ulteriori prove a cura della Direzione Lavori sia in fase di prequalifica presso il fornitore (controllo non vincolante per l'autorizzazione), sia in corso d'opera, prelevando il materiale in sito o ancora presso il fornitore, prima e dopo avere effettuato le lavorazioni.

26.4.1 Prove di controllo di produzione in fabbrica per gli apparecchi di appoggio

- Per gli elementi di scorrimento (UNI EN 1337-2):
  - Prospetto 15 EN 1337-2 di seguito riportato

Tipo di controllo	Oggetto del controllo	Controllo conforme a	Frequenza
Controllo di produzione in fabbrica	Dimensioni	Disegni del fabbricante	ciascun elemento di scorrimento
	Adattamento delle lastre di PTFE confinati	7.1.1	
	Planarità delle piastre di supporto	7.1.2	
	Accoppiamento delle superfici di scorrimento	7.1.3	
	Contatto fra lastra di acciaio austenitico e piastra di supporto	Procedura del fabbricante	
	Applicazione del sigillante		
	Collegamento di lastre di acciaio austenitico mediante saldatura		
	Sporgenza della lastra di PTFE	6.2.1	
	Superficie di riferimento per l'installazione	7.5	
	Indicatori di movimento	Disegni del fabbricante	
	Funzionamento[b)]	Disegni del fabbricante	
	Preregolazione	Disegni del fabbricante	
	Protezioni contro la corrosione	7.3	
	Dispositivo parapolvere delle superfici di scorrimento	Disegni del fabbricante	
	Marcatura	7.3 della EN 1337-1:2000	
	Superficie di scorrimento inclusi i materiali prelevati dalla produzione corrente dell'impianto del prodotto da costruzione	4.1.1 D.6.1	una volta all'anno
	Fissaggio con adesivo per lastre di acciaio austenitico	5.9.2	una volta ogni lotto
Prove iniziali di tipo	Tutti gli oggetti come per il controllo di produzione in fabbrica	come sopra	una volta
	Superfici di scorrimento che includono uno dei materiali seguenti: PTFE CM1 o CM2 Lubrificante	 5.2.4[c)] 5.3.3[c)] 5.8.3[c)]	 una volta una volta una volta
	Fissaggio con adesivo per lastre di acciaio austenitico	5.9.3	una volta
Verifiche ispettive	Oggetti selezionati come per il controllo di produzione in fabbrica e come indicato nel prospetto 16	Come per il controllo di produzione in fabbrica e come indicato nel prospetto 16	come richiesto

a) Ai fini della marcatura CE, dovrebbero essere presi in considerazione per il controllo e le prove solo le caratteristiche e i relativi parametri del prospetto ZA.1.
b) Prova del movimento degli elementi di scorrimento entro le limitazioni fornite nel disegno.
c) Sono richieste solo le prove di attrito a lungo termine. Le prove sono richieste se il materiale non è mai stato sottoposto ad una prova di tipo per la combinazione di materiali in questione (vedere punto 8.3).

- Per gli appoggi elastomerici (UNI EN 1337-3)
  - Modulo di taglio alla temperatura nominale, alla bassa temperatura, a bassissima temperatura, dopo l'invecchiamento
  - Aderenza a taglio a temperatura ambientale, dopo l'invecchiamento
  - Rigidità a compressione
  - Resistenza al carico ripetuto in compressione

- Capacità di rotazione statica
- Resistenza all'ozono
- Aderenza a taglio del PFTE/ elastomero

- Per gli appoggi a rullo UNI EN 1337-4
  - Prospetto 4 EN 1337-4 di seguito riportato

Tipo di controllo		Oggetto del controllo	Controllo in conformità a	Frequenza
Controllo di produzione in fabbrica	LBC, RC	Dimensioni	Disegni del fabbricante	Ciascun supporto
	LBC	Planarità	7.1	
	LBC, RC	Profilo superficiale	7.2	
	LBC	Rugosità superficiale	7.3	
	LBC	Parallelismo	7.4	
	LBC	Diametro di rulli multipli	7.5	
	LBC	Durezza acciaio temprato	Appendice A	
	LBC, D	Esente da fessurazioni	5.1	
	D	Protezione da corrosione	EN 1337-9	
Prove di tipo	LBC, RC	Dimensioni	Disegni del fabbricante	Una volta
	LBC	Caratteristiche meccaniche dell'acciaio	Appendice A	
	D	Esente da fessurazioni	5.1	
	D	Protezione da corrosione	EN 1337-9	

LBC = pertinente la capacità portante.
RC = pertinente la capacità rotazionale.
D = pertinente la durabilità.

- Per gli appoggi a disco elastomerico UNI EN 1337-5
  - Prospetto 1 EN 1337-5 di seguito riportato

Tipo di controllo	Oggetto del controllo	Controllo conforme a	Frequenza
Controllo di produzione in fabbrica	Dimensioni	Disegni del fabbricante	Ogni appoggio
	Rugosità superficiale	7.4	
	Accoppiamento dei componenti	7.3	
	Lubrificazione	7.7	
	Gioco di estremità della guarnizione interna	Appendice A	
	Dettagli dell'estremità della guarnizione interna	Appendice A	
	Protezione dalla corrosione	7.5	
	Parallelismo	7.2	
	Guarnizione esterna	7.6	
	Marcatura	EN 1337-1:2000, 1.7.3	
Prove di tipo	Come nel controllo di produzione in fabbrica soprastante ad eccezione della protezione dalla corrosione e la marcatura	Come sopra	Una volta
	Momento parassita	Appendice E	
	Capacità di carico a lungo termine[a)] Capacità di rotazione a lungo termine[a)]	4.2 4.2	
	Guarnizioni non specificate nell'appendice A	4.2, 5.4	
	Proprietà dei materiali	5.3, 5.5, 8.2.2	

a) Solo per guarnizioni interne non specificate nell'appendice A o per guarnizioni specificate nell'appendice A ma operanti oltre la loro capacità specificata.

- Per gli appoggi a contatto lineare UNI EN 1337-6
  - Prospetto 4 EN 1337-6 di seguito riportato

Tipo di controllo		Oggetto del controllo	Controllo in conformità a	Frequenza
Controllo di produzione in fabbrica	LBC, RC	Dimensioni	Disegni del fabbricante	Ogni appoggio
	LBC	Planarità	7.1	
	LBC, RC	Profilo superficiale	7.2	
	LBC	Rugosità superficiale	7.3	
	LBC	Parallelismo	7.4	
	LBC	Durezza acciaio temprato	Appendice A	
	LBC, D	Esente da fessurazioni	5.1	
	D	Protezione da corrosione	EN 1337-9	
Prove di tipo	LBC, RC	Dimensioni	Disegni del fabbricante	Una o più volte (secondo il punto 8.2.2)
	LBC	Caratteristiche meccaniche dell'acciaio	Appendice A	
	D	Esente da fessurazioni	5.1	
	D	Protezione da corrosione	EN 1337-9	

LBC = pertinente la capacità portante.
RC = pertinente la capacità rotazionale.
D = pertinente la durablità.

- Per gli appoggi sferici e cilindrici di PTFE UNI EN 1337-7
  - Prospetto 15 EN 1337-2 già riportato per gli elementi di scorrimento di cui sopra
- Per le guide e ritegni UNI EN 1337-8
  - Prospetto 1 EN 1337-8 di seguito riportato

Tipo di controllo	Oggetto del controllo	Controllo in conformità a	Frequenza
Prove iniziali di tipo	Dimensioni	Disegno del fabbricante	Una volta
	Rugosità superficiale	6.2	
	Proprietà dei materiali	5	
Controllo di produzione in fabbrica	Dimensioni	Disegno del fabbricante	Ogni appoggio
	Rugosità superficiale	6.2	
	Proprietà dei materiali	5	
	Protezione dalla corrosione	7.2	
	Marcatura	EN 1337-1:2000, punto 1.7.3	

26.4.2 Prove di controllo di produzione in fabbrica per i dispositivi antisismici

Si riporta di seguito l'elenco delle prove di controllo di produzione in fabbrica riportate nella norma EN 15129, a secondo del tipo di dispositivo:

- per i dispositivi di vincolo rigido riportate al § 5.4.5 della citata norma:
  - prova di pressione
  - prova a bassa velocità
  - prova di carico di impulso
- per i dispositivi dipendenti dallo spostamento riportate al § 6.4.5 della citata norma:
  - variazione del ciclo forza – spostamento
  - prova a rampa per la valutazione statica dello spostamento di rottura
  - effettivi dell'invecchiamento, della temperatura e della frequenza dei cicli
- per i dispositivi dipendenti dalla velocità riportate al § 7.4.3 della citata norma:
  - prova di pressione
  - prova a bassa velocità
  - prova sulla legge costitutiva
  - prova dell'efficienza di smorzamento
- per gli isolatori elastomerici riportate al § 8.2.4.3.3 della citata norma:
  - misura del modulo di taglio e lo smorzamento

- per gli isolatori a scorrimento a superficie curva e piana riportate al § 8.3.4.2 della citata norma:
    - capacità di carico portante verticale
    - forza di resistenza di attrito nelle condizioni di servizio
    - corsa di prova P1
    - prove sulle materie prime e sui costituenti (si applica il prospetto 16 della EN 1337-2)
- per combinazione di dispositivi riportate al § 9.4.3 della citata norma:
    - devono essere eseguite o su un dispositivo completo o sui singoli componenti

26.5 Modalità esecutive

L'istallazione degli appoggi e i dispositivi antisismici deve essere eseguita in conformità alla norma UNI EN 1377-11 (richiamata anche dal § 11 della EN 15129) e a quanto di seguito specificato.
L'installazione deve essere effettuata, per il primo tipo di ogni elemento, direttamente dal personale adeguatamente formato fornito dal Fabbricante. Per tutti gli altri elementi la posa può essere effettuata anche dal personale dell'Appaltatore ma sempre sotto la supervisione diretta del personale fornito e formato dal Fabbricante.
Gli appoggi devono essere installati in conformità a tutti i dettagli riportati nei disegni costruttivi e di installazione approvati in fase di qualifica, in accordo con le marcature sulla loro superficie superiore.

In tutte le fasi esecutive, comprese le fasi di preparazione e di sistemazione finale delle aree, per gli aspetti e le problematiche relative a temi ambientali, quali impatti acustici e vibrazionali, emissioni in atmosfera, impatto sulle acque superficiali, sotterranee e sul suolo, impatti sulla componente fauna e vegetazione, si rimanda integralmente a quanto prescritto dalla Normativa Nazionale e Regionale vigente, alle prescrizioni degli Enti preposti alla tutela ambientale, nonché alle condizioni ambientali contenute nelle autorizzazioni ed alle disposizioni del Capitolato Ambientale e Piano di Gestione Terre/Piano di Utilizzo allegati al progetto esecutivo.

26.5.1 Trasporto e immagazzinamento

L'imballaggio deve essere accurato, in modo tale da evitare qualsiasi danno durante il trasporto.
Gli apparecchi devono essere movimentati con cura e protetti da danni e contaminazioni. Se non è possibile movimentarli a mano, si provvederanno attacchi permanenti o temporanei che facilitino il sollevamento con mezzi meccanici.
Se gli apparecchi non sono installati nella struttura subito dopo la consegna, devono essere immagazzinati dall'utilizzatore su un apposito supporto, per esempio su assi, coperti da un telo protettivo e ventilati dal basso. L'immagazzinamento temporaneo deve garantire la protezione da inquinamento, da agenti atmosferici avversi (calore, pioggia, neve o grandine) e da contaminazioni o altri effetti negativi dovuti alle lavorazioni e al traffico di cantiere.

26.5.2 Posizionamento degli appoggi

Di regola, gli appoggi sono installati su uno strato intermedio di malta di sigillatura posta sopra i baggioli. Solo gli appoggi in gomma senza piastre di acciaio esterne possono essere posati direttamente sulla superficie di appoggio che deve essere pulita, asciutta, liscia e piana entro le tolleranze indicate nella norma UNI EN 1337-3.
Laddove previsto in qualifica, devono essere utilizzate viti di regolazione per regolare il posizionamento dell'elemento. In alternaiva possono essere utilizzati cunei o altri strumenti adatti sempre preventivamente qualificati ed approvati dal Direttore dei Lavori.

In nessun caso si possono inserire elementi rigidi sotto l'appoggio. Ciò può essere evitato togliendo i supporti temporanei quando la malta ha raggiunto la resistenza richiesta. In alternativa si può usare un supporto temporaneo consistente in materiale compressibile. In questo caso bisogna tenere conto del fatto che, a causa della sua incompressibilità, la gomma non è adatta a questo scopo a meno che non possa espandersi lateralmente.
L'appoggio può:

- essere posato su uno strato bombato di malta plastica consistente in modo tale che l'eccesso di malta possa essere premuto fuori da tutti i lati; oppure
- essere sigillato mediante colata o iniezione di malta fluida, assicurando un'adeguata ventilazione. Gli appoggi ancorati con pioli sono generalmente installati con tecniche di colata o iniezione; oppure
- essere posato costipando la malta al di sotto di esso. Questo metodo è raccomandato solo quando la lunghezza del lato più corto è minore di 500 mm.

La malta deve essere del tipo a basso ritiro. Se si usano altri materiali, la loro idoneità deve essere provata. Indipendentemente dal metodo usato, l'appoggio deve poggiare su tutta la superficie.

26.5.3 Montaggio della sovrastruttura o di componenti strutturali sull'appoggio

I componenti strutturali gettati in opera sono generalmente gettati direttamente sugli appoggi successivamente alla loro installazione. La superficie dell'appoggio ed il componente strutturale sono direttamente a contatto senza materiali interposti. Si deve fare attenzione che l'appoggio resti pulito, che siano evitati danni provocati dal calcestruzzo umido e pertanto occorre sigillare con guarnizioni o silicone il perimetro cassero appoggio per evitare colature. L'appoggio deve poter essere sostituito senza difficoltà.
Nel caso di sovrastruttura formata da elementi di calcestruzzo prefabbricato o di acciaio si devono prendere le misure opportune per assicurare il contatto uniforme con l'appoggio. Si può procedere in due modi:

- fissando l'appoggio alla sovrastruttura e dopo il varo della trave viene collocato nella posizione definitiva ed inghisato, oppure
- l'appoggio può essere fissato sul baggiolo e poi si procede al collegamento e al posizionamento della trave su supporti provvisori (calaggi) ancorando quindi l'appoggio. L'operazione si completa con il getto e il completamento dell'appoggio.

Il fissaggio mediante saldatura è permesso solo in casi speciali e deve essere eseguito solo da personale qualificato. Devono essere prese misure per evitare danni provocati dal calore alle parti sensibili come qielle di plasica. In tal caso se necessario, deve essere ripristinato il sistema di protezione anticorrosiva.
La modalità di montaggio scelta dall'impresa deve essere specificata in fase di qualifica e preventivamente approvata dal Direttore dei Lavori.

26.5.4 Correzione della quota

Nel caso in cui occorre correggere la quota, l'operazione deve essere effettuata tramite colata o riempimento con malta fine o materiale simile.
La correzione della quota con l'aiuto di piastre metalliche aggiuntive è permessa solo se le superfici metalliche a contatto sono lavorate meccanicamente e se c'è garanzia che esse rimangano piane fino al completamento dell'installazione. Bisogna anche considerare la protezione anticorrosiva richiesta per le piastre.
La correzione della quota deve eseguita solamente da personale adeguatamente formato fornito dal Fabbricante.

26.5.5 Tolleranze di installazione

Se una qualsiasi tolleranza d'installazione non è rispettata, l'Appaltatore deve, a sua cura e spese, redigere una relazione di calcolo firmata da un ingegnere professionista iscritto all'albo, per valutare le implicazioni strutturali di questo errore e concordare con la Direzione Lavori adeguati provvedimenti.

26.5.6 Malta di sigillatura

Lo spessore della malta di sigillatura non armata tra l'appoggio e l'infrastruttura non deve superare il minore dei seguenti valori:

- 50 mm
- 0,1 x $\frac{\text{area della superficie di contatto}}{\text{perimetro della superficie di contatto}}$ + 15, in millimetri

Inoltre, lo spessore non deve essere minore di tre volte la dimensione massima dell'inerte utilizzato per confezionare la malta. Nel caso di malta cementizia, la superficie di calcestruzzo dell'infrastruttura deve essere saturata con acqua prima dell'installazione per prevenire la disidratazione. Immediatamente prima di colare la malta, qualsiasi residuo di acqua sulla superficie deve essere eliminato.
Quando si usa la malta di resina, le caratteristiche chimiche della resina e il rapporto resina/inerti deve assicurare una consistenza soddisfacente e un tempo di lavorabilità tale per consentire una corretta installazione con le condizioni del cantiere. Deve essere tenuta in considerazione la durabilità del prodotto in termini di resistenza, indurimento finale e forma. Se la malta di resina è a diretto contatto con le superfici dell'appoggio, la compatibilità chimica e il coefficiente di attrito devono essere verificati con prove a meno che non si possano dimostrare precedenti utilizzazioni soddisfacenti in condizioni simili.
Eventuali strumenti ausiliari di posa devono essere progettati a cura ed onere dell'Appaltatore in modo da facilitare l'installazione ed assicurare la corretta sistemazione degli appoggi e dei componenti strutturali in conformità al progetto.

26.5.7 Casseri per malta di sigillatura

I casseri non devono essere rimossi fino a che la malta non sia sufficientemente indurita, ma devono essere rimossi completamente prima che l'appoggio diventi completamente operativo. Non è permessa la rimozione tramite combustione.

26.5.8 Bloccaggi temporanei

Deve essere assicurato che al momento del collegamento alle strutture, gli apparecchi abbiano la configurazione geometrica prevista in Progetto. Ogni apparecchio che non sia intrinsecamente idoneo a mantenere la configurazione prevista deve essere dotato di un adeguato sistema di bloccaggio temporaneo. Questi sistemi non possono essere utilizzati per la trasmissione di sollecitazioni legate a fenomeni transitori dovuti alla tecnologia utilizzata per la realizzazione dell'opera. I sistemi di bloccaggio temporaneo devono essere posizionati in modo che sia possibile identificarli e rimuoverli facilmente al termine della loro funzione. Pertanto, tutti gli elementi che li compongono devono essere chiaramente identificabili e distinguibili dall'appoggio e devono essere colorati in modo diverso. I bloccaggi temporanei devono garantire il mantenimento della eventuale preregolazione del dispositivo.

26.5.9 Bloccaggi di forza

Quando sia richiesto dal Progetto dell'opera, possono essere utilizzati sistemi di bloccaggio provvisorio di forza allo scopo di assicurare un collegamento di tipo rigido durante la fase di costruzione dell'opera stessa.
Di norma questi sistemi devono essere distinti dall'apparecchio in sè e progettati in base ai dati indicati dal Progettista dell'opera. Nel caso essi debbano essere montati sull'apparecchio, solo al momento della rimozione di detti accessori lo stesso acquisterà la sua piena funzionalità.
I bloccaggi di forza devono essere realizzati in modo che possano essere facilmente rimossi o disattivati quando l'appoggio cui sono applicati è posto in opera. A tal fine, tutti gli elementi che li compongono devono essere chiaramente identificabili e distinguibili dall'appoggio e devono essere colorati in modo diverso.
In considerazione del previsto comportamento globale dell'opera durante il periodo di utilizzazione dei bloccaggi provvisori di forza, possono essere richiesti a quest'ultimo requisiti prestazionali particolari, quali per esempio:
- possibilità di essere disattivati sotto carico;
- possibilità di essere installati in stato di presollecitazione.

26.5.10 Rilascio della struttura sugli appoggi

Il rilascio della struttura sugli appoggi deve essere fatto conformemente al progetto. Qualsiasi vite di regolazione deve rimanere in opera fino a che la malta di qualsiasi strato intermedio sia sufficientemente indurita. Successivamente tutti i sostegni provvisori rigidi, i dispositivi di regolazione e di bloccaggio devono essere rimossi prima che l'appoggio diventi pienamente operativo, a meno che le viti di livellamento siano progettate per diventare non operanti quando il carico finale viene applicato.
Il rilascio completo della struttura dovrà attenere accuratamente conto dei tempi di maturazione del calcestruzzo delle strutture in elevazione e dei baggioli in particolare in caso di sostituzione degli appoggi.

26.5.11 Rifinitura finale

L'apparecchio non deve essere ostacolato nel suo funzionamento da qualsiasi rifinitura da effettuarsi in relazione alla protezione anticorrosiva. Esempi da evitare includono la sabbiatura delle superfici scorrevoli esposte e l'inceppamento delle parti mobili per eccesso di vernice.

26.5.12 Sollevamento impalcati per sostituzione appoggi

Il progetto può prevedere la sostituzione degli apparecchi di appoggio, dei dispositivi antisismici con l'eventuale ripristino delle strutture oppure il rialzo dell'impalcato per l'adeguamento del franco altimetrico dell'opera. In questo secondo caso oltre alla sostituzione degli appoggi occorre rialzare le strutture in elevazione di pile e spalle.
Nel caso di semplice sostituzione degli appoggi, salvo diverse indicazioni progettuali, occorre procedere sollevando gli impalcati interessati e sostituendo gli elementi su ogni singola testata alla volta. L'innalzamento deve essere il minimo possibile affinchè possano essere eseguite le operazioni di sostituzione degli elementi. Tale operazione potrà avvenire anche in presenza di traffico sull'impalcato se l'altezza del sollevamento (massimo 20 mm se non diversamente specificato nel progetto) è compatibile con le condizioni di traffico. Sia nel caso di sostituzione di elementi in presenza di traffico che senza particolare cura dovrà essere posta nella valutazione della compatibilità del sollevamento previsto con l'integrità dei giunti presenti. Tale onere è di esclusiva competenza dell'Appaltatore.

Nel caso di adeguamento del franco altimetrico occorre generalmente, salvo diverse indicazioni progettuali, sollevare l'intero impalcato prima di procedere al rialzo delle strutture di elevazione e alla posa di nuovi appoggi. Tale operazione deve comunque essere realizzata alternando i sollevamenti tra una testata e l'altra dell'impalcato con step massimi da valutare in funzione della geometria e del peso della struttura. Tale operazione non potrà avvenire in presenza di traffico sull'impalcato che dovrà necessariamente essere interrotto durante le fasi di sollevamento e ricostruzione delle strutture in elevazione.

Indipendentemente dal tipo di sollevamento, se finalizzato alla sola sostituzione degli appoggi oppure anche all'adeguamento del franco altimetrico, questo deve avvenire, sia in salita che in discesa, in maniera sincrona per ogni cilindro idraulico e deve essere comandato da un pannello di controllo che aziona la centralina oleodinamica avente un sistema di sicurezza che blocca le operazioni allorchè il differenziale di spostamento tra due qualsiasi punti superi un prederminato valore. Generalmente, se non diversamente specificato nel progetto, è accettabile un differenziale non superiore ad 1 mm per gli interventi di adeguamento altimetrico e non superiore a 2 mm per gli interventi di sola sostituzione degli appoggi con sollevamenti delle singole testate fino ad un massimo di 80 mm. Le operazioni di sollevamento dovranno essere eseguite esclusivamente dal personale della ditta specializzata incarata.

In relazione alle previsioni di Progetto, si procederà al sollevamento dell'impalcato mediante cilindri idraulici posti generalmente sotto le travi. Dopo che ogni testata sarà stata sollevata e prima di intervenire sugli apparecchi o sollevare l'altra testata, l'Appaltatore dovrà bloccare la struttura nella posizione raggiunta mediante appoggi provvisori o attrezzature equivalenti, che siano in grado di assicurare la stabilità dell'insieme e garantire la massima sicurezza agli operatori.
Il progetto può prevedere rinforzi strutturali provvisionali di blocco (ritegni) e adeguati sistemi di controventatura per contrastare possibili sollecitazioni longitudinali e trasversali.

A tale riguardo dovranno essere adottate adeguate cautele nei casi in cui la pendenza longitudinale dell'opera possa fare prevedere fenomeni di scorrimento.
Successivamente l'Appaltatore procederà alla rimozione, alla raccolta e al trasporto alla destinazione richiesta degli apparecchi esistenti.
Prima della posa in opera degli apparecchi si provvederà alla ravvivatura e rettifica dei baggioli e dell'intradosso delle travi in corrispondenza degli appoggi. La rettifica sarà effettuata mediante malta di resina epossidica per il conguaglio delle superfici di appoggio, nelle quantità necessarie per ottenere il parallelismo fra i piani di appoggio dei baggioli e l'intradosso delle travi (o di opportune piastre sotto-trave).
Ad avvenuto completamento degli interventi sotto l'impalcato, si dovrà procedere al suo abbassamento adottando le stesse cautele della fase precedente.

26.6 Prove e controlli

26.6.1 Prove a carico dell'Appaltatore

L'Appaltatore è tenuto ad eseguire i seguenti controlli da trasmettere in apposito report alla Direzione Lavori al termine dell'attività di ogni WBS.
I seguenti controlli sono altresì da eseguire in contraddittorio con la Direzione Lavori stessa.

26.6.1.1 Controlli dei documenti di accompagno delle forniture all'arrivo in cantiere

L'Appaltatore deve sempre verificare, prima della posa, la rispondenza tra le forniture in arrivo in cantiere con i documenti di progetto e della qualifica approvata dal Direttore dei Lavori. Tale verifica è di seguito dettagliata in accordo al § 5 della norma UNI EN 1337-11 e del § 11 p.to c) della UNI EN 15129:

- Copia del Documento di trasporto DDT
- Copia della Marcatura CE, DoP ove presenti
- Danni visibili, con particolare riferimento alla protezione anticorrosiva. La natura e l'estensione di ogni eventuale danno devono essere indicate sul disegno di installazione dell'appoggio, insieme ai dettagli delle possibili azioni correttive che devono essere apportare solo dopo approvazione del Direttore dei Lavori che a suo insindacabile giudizio può decidere di scartare la fornitura danneggiata che deve essere sostituita a cura ed onere dell'Appaltatore con una conforme;
- Pulizia;
- Sicurezza dei dispositivi di bloccaggio temporanei;
- Conformità ai disegni di installazione e costruttivi. Le dimensioni degli elementi devono rispettare le tolleranze dichiarate in fase di qualifica dal Produttore;
- Marcature sulla superficie superiore dell'appoggio, marcature degli assi x e y e, se necessario, marcatura della preregolazione sui lati delle piastre superiore ed inferiore dell'appoggio, inoltre identificazione dei punti di misurazione della rotazione e dello scorrimento;
- Posizione di tutti i dispositivi che devono assicurare l'esatto posizionamento ed installazione degli appoggi, se richiesti;
- Indicatori di spostamento per gli appoggi mobili in direzione longitudinale, se richiesti;
- Entità e direzione della preregolazione, se richiesta;
- Possibilità di aggiustamento della preregolazione, se prevista;
- Immagazzinamento temporaneo in cantiere se gli appoggi non sono installati nella struttura subito dopo la consegna (in conformità a quanto disciplinato al § 26.5.1).

26.6.1.2 Controlli all'installazione

L'Appaltatore deve sempre verificare all'installazione in accordo al § 7.3 della norma UNI EN 1337-11 e del § 11 p.to c) della UNI EN 15129:

- data e ora dell'installazione
- temperatura della struttura
- regolazione dell'appoggio
- posizione dell'appoggio relativa alla sovrastruttura, infrastruttura ed assi. Tale posizione deve essere fatta a mezzo di rilevo e registrata in formato cad. La posizione dell'appoggio deve rientrare nei limiti di tolleranza di installazione definito dal Produttore diversamente si applica quanto previsto al § 26.5.5
- condizioni dell'appoggio, inclusa la protezione anticorrosiva
- qualsiasi modifica fatta alla regolazione
- stato dei dispositivi di bloccaggio provvisori
- condizione del piano di appoggio
- prova di idoneità della malta di sigillatura

26.6.1.3 Controlli all'inizio del funzionamento (rilascio)

L'Appaltatore deve sempre verificare all'installazione in accordo al § 7.4 della norma UNI EN 1337-11 e del § 11 p.to c) della UNI EN 15129:

- data e ora del rilascio
- conferma che le viti dei dispositivi di bloccaggio provvisorio sono state rimosse
- conferma che i valori dei franchi di scorrimento e di rotazione sono corretti

26.6.2 Accettazione in cantiere

L'accettazione delle varie tipologie di dispositivo di appoggio e ritegno sismico sarà effettuata da parte della Direzione Lavori esaminando la documentazione/certificazione attestante la conformità del prodotto (Marcatura CE ,DoP) in conformità alla normativa UNI EN 1337 e corrispondente a quanto prescritto al § 11.6 delle NTC 2018.

Il Direttore dei Lavori è tenuto a verificare nell'ambito delle proprie competenze, quanto sopra indicato ed a rifiutare le eventuali forniture prive della documentazione di qualificazione e che le procedure di posa in opera siano conformi alle specifiche tecniche del fabbricante del sistema stesso; dovrà inoltre effettuare idonee prove di accettazione, che comprendano in ogni caso la verifica geometrica e delle tolleranze dimensionali, nonché la valutazione delle principali caratteristiche meccaniche dei materiali componenti e/o delle principali prestazioni degli appoggi, al fine di verificare la conformità degli appoggi stessi a quanto richiesto per lo specifico progetto.

- È facoltà della direzione Lavori, richiedere l'esecuzione di ulteriori prove di laboratorio a carico dell'Appaltatore (rispetto alla prescrizione della sopracitata normativa) atta a constatare la conformità del prodotto.
- È facoltà della direzione Lavori, richiedere l'esecuzione di ulteriori prove di laboratorio a carico della committente sui materiali ferrosi (prove a trazione e snervamento, resilienza e chimica) costituente gli appoggi ed i ritegni sismici.

26.6.2.1 Controllo della protezione contro la corrosione dei componenti costituenti appoggi e dispositivi antisismici

In caso di forniture che presentano protezioni alla corrosione occorre verificare:

- per componenti verniciati lo spessore della verniciatura secondo la UNI EN ISO 19840 con frequenza di n. 3 prove ogni 30 apparecchi omogenei (stesso produttore, stessa tipologia) in cui la protezione è presente con un minimo di 3 prove. Il valore medio dello spessore deve essere maggiore o uguale al valore indicato in fase di qualifica;
- per componenti zincati lo spessore della zincatura secondo la UNI EN ISO 2178 con frequenza di n. 3 prove ogni 30 apparecchi omogenei (stesso produttore, stessa tipologia) in cui la protezione è presente con un minimo di 3 prove. Il valore medio dello spessore deve essere maggiore o uguale al valore indicato in fase di qualifica;

26.6.2.2 Controllo sui tirafondi

Pullout

Ove previsto dal progetto o dal manuale di installazione sono da eseguire 3 prove di pullout ogni 100 tirafondi in opera dello stesso tipo e con lo stesso ancorante utilizzato a mezzo di certificato di laboratorio, con un minimo di 3 prove. Le indicazioni sul livello di carico da applicare (non distruttivo) dovranno essere desunte dal manuale di installazione e dai documenti di qualifica approvati dal Direttore dei Lavori.

Materie prime

Per i tirafondi occorre verificare a mezzo di n. 3 prove ogni 1.000 tirafondi utilizzati della stessa tipologia e fornitore di provenienza (con un minino di 3 prove):

- la rispondenza alla "classe" prevista in sede di qualifica, secondo il riferimento normativo UNI EN ISO 898-1;
- lo spessore locale del rivestimento della zincatura a caldo (ove presente) secondo la UNI EN ISO 2178.

26.6.2.3 Malta di allettamento e sigillatura

Si rimanda ai contenuti dell'art. 22 di questo capitolato speciale di appalto.

26.7 Penali

Sono previste penalità per il non raggiungimento delle prestazioni degli apparecchi previste in Progetto.

Qualora dalle prove eseguite, secondo le presenti Norme, risultassero valori inferiori di non più del 10% rispetto a quelli richiesti, il progettista eseguirà ulteriori verifiche di sicurezza.

Se tali verifiche dessero esito positivo, l'apparecchio sarà accettato ma il suo prezzo sarà decurtato del 20%; qualora i valori risultassero superiori a tale 10% o le precedenti verifiche avessero dato esito negativo, l'Appaltatore sarà tenuto, a suo totale onere, alla sostituzione della fornitura in oggetto con una nuova fornitura di caratteristiche adeguate alle prescrizioni richieste.

Art. 27 Giunti di dilatazione su opere d'arte

27.1 Descrizione e campo di applicazione

Il presente articolo di Capitolato Speciale si applica ai giunti di dilatazione di superficie, utilizzabili per impalcati di opere d'arte stradali ed autostradali. I giunti in oggetto possono essere destinati ad opere di nuova costruzione o alla sostituzione di giunti di opere esistenti.
I giunti sono installati in corrispondenza dei varchi strutturali, consentono la continuità tra le strutture assorbendo le deformazioni e gli spostamenti della struttura longitudinali, trasversali e rotazionali, per dilatazione termica dell'impalcato, per l'azione sismica, del vento e di frenamento indicati nel progetto.

I dispositivi previsti non devono interferire con le strutture principali dell'opera e devono consentire agevolmente le operazioni di ispezione e manutenzione.

27.1.1 Tipologie di giunti

I giunti di impiego ordinario e di produzione corrente sono suddivisi secondo il loro principio di funzionamento riprendendo la classificazione della linea guida per l'approvazione tecnica europea ETAG 032 convertita in più EAD (documenti per la valutazione europea):

Tipologia di giunto per ponti stradali	Riferimenti normativi
Buried expansion joints - giunti di dilatazione sotto pavimentazione	ETAG 032 – 2 EAD 120093-00-0107
Flexible plug expansion joints – giunti di dilatazione flessibili con tasselli per asfalto (tra cui a tampone)	ETAG 032 – 3 EAD 120093-00-0107
Nosing expansion joints – giunti di dilatazione a sporgenza	ETAG 032 – 4 EAD 120109-00-0107
Mat expansion joints – giunti di dilatazione opachi (tra cui elastomero armato)	ETAG 032 – 5 EAD 120110-00-0107
Cantilever expansion joints – giunti di dilatazione a sbalzo (tra cui pettine)	ETAG 032 – 6 EAD 120111-00-0107
Supported expansion joints – giunti di dilatazione con supporto	ETAG 032 – 7 EAD 120112-00-0107
Modular expansion joints – giunti di dilatazione modulari	ETAG 032 – 8 EAD 120113-00-0107
Flexible plug expansion joints with flexible filling based on a synthetic polymer as binder – giunti di dilatazione flessibili con riempimento flessibile a base di polimero sintetico utilizzato come legante	EAD 120011-00-0107

Nello specifico le tipologie di giunto in uso in ambito stradale ed autostradale sono:

- **Giunti in acciaio** (EAD 120093-00-0107), generalmente costituiti da profilati in acciaio contrapposti, ancorati alla struttura con zanche e getti integrativi di malte o betoncini. Sono completati da un profilo flessibile in elastomero (incollato o vulcanizzato agli elementi metallici), inserito nel varco del giunto, per garantirne la impermeabilizzazione. Tale tipologia è anche comunemente utilizzata per realizzare giunti sottopavimentazione (la pavimentazione ricopre totalmente il giunto ed è continua sopra di esso);
- **Giunti tampone viscoelastico** (EAD 120093-00-0107), sono giunti costituiti da una miscela di bitume modificato con materiali di sintesi di natura elastomerica e/o plastomerica ed aggregati di granulometria compresa tra 15 e 20 mm in grado di assorbire gli spostamenti della struttura, assicurare la continuità del piano stradale anche rispetto al volume di traffico a cui la viabilità è assoggettata. Il sostegno del tampone è garantito da una sottile lamina di acciaio posta a cavallo

del varco strutturale, mentre la tenuta idraulica è assicurata da un sistema di drenaggio sottopavimenrtazione e da un elemento elastico inserito nel varco;

- **Giunti in elastomero armato** (EAD 120110-00-0107), costituiti da elementi deformabili in gomma vulcanizzati a profili metallici di armatura e di ancoraggio, conglobati nella gomma. Il giunto è completato da masselli di raccordo in malta tra gli elementi del giunto e la pavimentazione, da una scossalina per la raccolta delle acque di superficie e da un sistema per il drenaggio delle acque di sottopavimentazione. Gli elementi costituenti il giunto hanno sagomatura e dimensioni variabili a seconda della escursioni richieste. Grazie alla deformabilità degli elementi in gomma, Il giunto si adatta anche all'assorbimento di limitati scorrimenti trasversali e verticali (sbalzi di impalcati);
- **Giunti a pettine** (EAD 120111-00-0107), ottenuti mediante la contrapposizione di due elementi metallici (acciaio o alluminio in genere) aventi configurazione a pettine tra loro complementare. Tali elementi garantiscono, grazie alla reciproca compenetrazione, la continuità del piano viabile in presenza di escursioni longitudinali. Lo schema statico può essere di doppio appoggio, quando l'elemento a pettine poggia su entrambe le testate o a mensola, quando esso è fissato a sbalzo su di una sola testata. A meno di accorgimenti particolari, tale tipo di giunto consente scorrimenti laterali limitatissimi (particolare attenzione va posta nell'accoppiamento con gli apparecchi d'appoggio, si raccomanda in particolare l'accoppiamento ad appoggi mobili unidirezionali con direzione delle guide parallela a quella dei denti del giunto);
- **Giunti a piastra metallica** (EAD 120112-00-0107), composti da due o più piastre in acciaio che scorrono le une sulle altre garantendo l'escursione richiesta e la continuità del piano viabile. E' una tipologia di giunto adatta a medie e grandi escursioni;
- **Giunti modulari** (EAD 120113-00-0107), costituiti da una serie di profili metallici disposti in senso trasversale e collegati da idonei profili in gomma che, con la loro deformabilità, assicurano lo sviluppo delle escursioni richieste. La continuità del piano viabile è assicurata direttamente dagli elementi metallici e in gomma o da una piastra ponte metallica collegata rigidamente a una testata e contrastata sul lato opposto dagli elementi modulari deformabili. Oltre a permettere notevoli escursioni longitudinali, questo tipo di giunto può essere reso idoneo all'assorbimento di scorrimenti trasversali.

27.2 Riferimenti normativi

- Decreto ministeriale 17/01/2018 "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni" e Circ.Minist.n° 7 C.S.LL.PP."Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni di cui al DM 17/01/2018"
- Legge n.1086 5 Novembre 1971, e relativo D.M. in vigore: "Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica".
- EAD 120011-00-0107 – Flexible plug expansion joints for road bridges with flexible filling based on a synthetic polymer as binder (Giunti di dilatazione flessibili per ponti stradali con riempimento flessibile a base di polimero sintetico utilizzato come legante)
- EAD 120093-00-0107 – Flexible asphaltic plug expansion joints for road bridges (Giunti di dilatazione flessibili con tasselli per asfalto per ponti stradali - sostituisce ETAG 032 parte 3)
- EAD 120109-00-0107 – Nosing expansion joints for road bridges (Giunti di dilatazione a nastro per ponti stradali - sostituisce ETAG 032 parte 4)
- EAD 120110-00-0107 – Mat expansion joints for road bridges (Giunti a espansione opachi per ponti stradali - sostituisce ETAG 032 parte 5)
- EAD 120111-00-0107 – Cantilever expansion joints for road bridges (Giunti a espansione a sbalzo per ponti stradali - sostituisce ETAG 032 parte 6)

- EAD 120112-00-0107 – Supported expansion joints for road bridges (Giunti a espansione con supporto per ponti stradali - sostituisce ETAG 032 parte 7)
- EAD 120113-00-0107 – Modular expansion joints for road bridges (Giunti a espansione modulari per ponti stradali - sostituisce ETAG 032 parte 8)

27.3 Criteri di accettazione dei giunti

27.3.1 Specifiche per la qualifica

I giunti di dilatazione stradali dovranno essere qualificati secondo quanto disciplinato al § 11.4.2 delle NTC2018: il fabbricante dovrà pervenire alla marcatatura CE e DoP sulla base della linea guida di benestrare tecnico europeo ETAG 032 che, a seguito dell'entrata in vigore del Regolaemnto sui prodotti di costruzione (UE) n. 305/2011, è stata convertita in più documenti di valutazione europei (EAD) di cui al § 27.2 di questo capitolato a cui occorre riferirsi in funzione del tipo di giunto da qualificare. Il sistema di valutazione e verifica della costanza della prestazione da applicare è il tipo 1.

In generale, laddove il contratto o i documenti di gara prevedano l'utilizzo di acciai o altri materiali con ridotta emissione di CO_2 nell'atmosfera rispetto a dei valori di riferimento o laddove prevedano l'utilizzo di elementi composti da materiale riciclato, occorre rispettare i requisiti definiti in detti documenti e le prescrizioni specifiche contenute in questo articolo di capitolato. Inoltre il Direttore dei Lavori potrà richiedere della certificazione integrativa o l'esecuzione di prove ulteriori per la verifica del rispetto dei valori di CO_2 dichiarati dall'Appaltatore, delle percentuali del materiale riciclato o di qualsiasi altro parametro, senza che ciò possa dare diritto a richieste di maggiori costi o tempi.

27.3.2 Requisiti di prodotto

I requisiti che l'Appaltatore deve indicare nella marcatura CE del giunto di dilatazione stradale sono quelli riportati nelle EAD pertinenti per le varie tipologie di giunto:

Requisito	n. EAD / tipo di giunto				
	120093 Tampone Sottopavim.	120110 Elastomero armato	120111 A pettine	120112 Piastra metallica	120113 Modulare
Resistenza meccanica	descrizione	descrizione	descrizione	descrizione	descrizione
Resistenza a fatica	descrizione	descrizione	descrizione	descrizione	descrizione
Comportamento sismico	non previsto	descrizione livello	descrizione livello	descrizione livello	descrizione livello
Capacità di movimento (escursione o scorrimento)	livello	livello	livello	livello	livello
Pulibilità	non previsto	descrizione	descrizione	descrizione	descrizione
Resistenza all'usura	descrizione	descrizione livello (abrasione)	non previsto	descrizione	descrizione
Impermeabilità	descrizione	descrizione	descrizione	descrizione	descrizione
Durabilità	descrizione	descrizione	descrizione	descrizione	descrizione
Contenuto, emissione e/o	descrizione livello	descrizione livello	descrizione livello	descrizione livello	descrizione livello

rilascio di sostanze pericolose					
Capacità di colmare lacune e livelli nella superficie di corsa	livello	livello	livello	livello	livello
Resistenza allo scivolamento	non previsto	livello	livello	livello	livello
Resistenza laterale	livello	non previsto	non previsto	non previsto	non previsto
Capacità di drenaggio	non previsto	descrizione livello	descrizione livello	descrizione livello	livello
Note: per descrizione si intende che l'espressione della performance del prodotto deve essere descritta per livello si intende che l'espressione della performance del prodotto deve riportare un valore / classe compatibile con le indicazioni progettuali qualora previste per non previsto si intende un requisito non previsto dalla EAD per non richiesto si intende un requisito che, seppur non previsto nella EAD, non è richiesto dal capitolato					

I metodi per la valutazione dei requisiti di cui sopra devono essere conformi a quanto indicato nelle EAD di pertinenza e, ove attinente, devono essere altresì conformi ai livelli prestazioni previsti negli elaborati progettuali.

In aggiunta a tutte le indicazioni e prescrizioni nei documenti di valutazione europei (EAD) si aggiunge quanto segue.

Capacità di movimento (escursione o scorrimento): Il giunto deve portare il carico veicolare e consentire gli spostamenti longitudinali e le rotazioni delle parti contrapposte senza opporre significativa resistenza. Eventuali spostamenti trasversali (ponti in curva, ponti obliqui, etc.) dovranno essere esplicitamente tenuti in conto e dichiarati dal Progettista. In corrispondenza del giunto, devono essere impediti spostamenti verticali discontinui a livello del piano viabile, che possono pregiudicare la sicurezza del traffico e la durabilità del giunto stesso.
Il giunto deve assolvere la funzione di proteggere adeguatamente il bordo della pavimentazione, deve garantire adeguate caratteristiche di regolarità di percorrenza e di aderenza e non costituire azzardo per qualsiasi categoria di utenza stradale.
I giunti devono essere progettati per permettere, senza alcun danno e per qualsiasi ampiezza di funzionamento del varco ed in soggiacenza dell'esercizio stradale, un sollevamento differenziale dovuto agli interventi di manutenzione sugli appoggi non inferiore a 3 cm.

Impermeabilità: L'impermeabilizzazione del giunto è di fondamentale importanza, tenendo conto che la perdita di impermeabilità è la causa più comune di deterioramento del giunto e di danni alle strutture sottostanti, con i costi diretti e indiretti che ne conseguono. Il giunto deve essere impermeabile a tutte le acque di superficie del piano viabile; se è previsto il passaggio di acqua attraverso il giunto, questa deve essere raccolta nel varco strutturale al di sotto di esso da opportuni dispositivi (scossaline, gronde, canalette, etc.), allontanata dalle strutture adiacenti e scaricata nel sistema di drenaggio dell'impalcato.

Durabilità: la valutazione della durabilità deve essere effettuata condiderando che la vita lavorativa dei giunti è la stessa di quella dell'opera d'arte a cui sono a servizio che, salvo diversa indicazione riportata negli elaborati progettuali, è assunta pari a 50 anni in conformità al § 2.4 delle NTC2018. Per la valutazione della corrosività occorre tener presente che la categoria di corrosività

dell'ambiente, ai sensi della EN ISO 9223 è la C4 caratterizzata da un elevato inquinamento atmosferico ed esposto a forte effetto di sali antighiaccio.
Tutti i componenti metallici dei giunti a contatto con l'aria dell'ambiente e non ricoperti da gomma o altro materiale devono possedere adeguate protezioni alla corrosione o essere di acciaio inossidabile o corten laddove applicabili. La protezione alla corrosione deve essere prevista anche per gli eventuali ancoraggi e la relativa bulloneria.
A tal riguardo si richiede che la protezione alla corrosione delle parti metalliche dei giunti sensibili alla corrosione e a contatto diretto con l'aria dell'ambiente, sia realizzata in conformità ai contenuti dell'art. 25bis di questo capitolato a cui si rimanda per le specifiche dei criteri di accettazione, qualifica e controllo.
Le risultanze delle valutazioni sulla durabilità devono essere alla base per la redazione del piano di manutenzione di cui al § 27.3.5.

Capacità di drenaggio: dovrà anche essere previsto un sistema di raccolta delle acque di sottopavimentazione, che, se accumulate in prossimità del giunto, possono esercitare, sotto l'azione della pressione veicolare, sollecitazioni anomale sul giunto e sulle sue parti (sigillature). Il sistema dovrà essere collegato senza soluzione di continuità al sistema di impermeabilizzazione della soletta. Lo scarico delle acque di sottopavimentazione assume importanza critica in presenza di pavimentazioni drenanti fonoassorbenti.

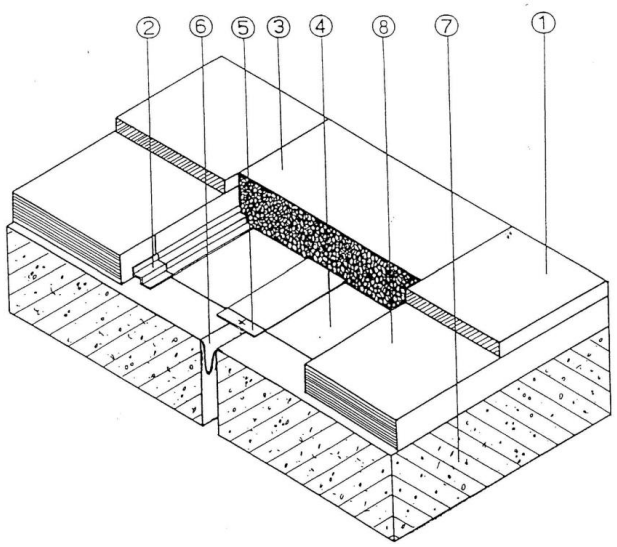
Rumorosità: in progetto, o a insindacabile giudizio del Direttore dei Lavori, potrà essere definito un limite di incremento di rumorosità in presenza del giunto rispetto a quello misurato in assenza del giunto. Tale limite potrà essere verificato a cura della Direzione Lavori a mezzo prova su strada sul giunto installato o anche, se necessario, al di sotto del viadotto. La misura verrà condotta, salvo diverse indicazioni progettuali, con il SEL (Sound Exposure Level) espresso in dB (A) con sorgente di rumore costituita da un veicolo leggero (di massa complessiva compreso il conducente pari a 1.150 kg) che transita sul giunto con velocità di 100 km/h e veicolo pesante (3 assi peso complessivo di 30.000 kg) a velocità di 70 km/h. La velocità del vento durante le misurazioni dovrà essere inferiore a 2 m/s.
La strumentazione di misura dovrà essere conforme a quanto prescritto per i fonometri di classe 1 della norma IEC 651 ovvero CEI 29-1.Se si utilizzano fonometri integratori si dovrà fare riferimento alle norme IEC 831; per i filtri in banda di ottava o terzi di ottava si farà riferimento alla IEC 225.
Le misure di rumore andranno effettuate utilizzando la ponderazione A e la costante di tempo slow. Per tale prova il microfono ricevitore sarà posto in corrispondenza del giunto ad 1,5 m di altezza dal piano viabile ed un altro microfono sarà posto a 50 m dopo il giunto, entrambi a 4 m di distanza dall'asse del veicolo.
La prova andrà eseguita con due microfoni in modo sequenziale, ciascuna per un intervallo di tempo di 2 s relativo al passaggio del veicolo davanti al microfono stesso.
Le rilevazioni andranno effettuate con queste modalità in tratti di strada adiacenti in presenza ed in assenza di giunto ottenendo così i valori dell'incremento di rumore dovuto al giunto come differenza fra le varie letture strumentali.
Ciascuna delle prove previste:
a) in assenza ed in presenza di giunto con veicolo leggero;
b) in assenza ed in presenza di giunto con veicolo pesante;
andrà ripetuta almeno 3 volte e il risultato sarà dato dal valore medio dei valori rilevati nei tre passaggi.

Regolarità della superficie di rotolamento dei pneumatici: in corrispondenza dei giunti di dilatazione degli impalcati da ponte il progretto potrà richiedere la valutazione della regolarità della superficie in base all'indice I.R.I. (International Roughness Index), calcolato a partire dal profilo

longitudinale della pavimentazione inferiore a 5,0 mm. Le misure del profilo longitudinale interessano almeno una corsia (marcia o marcia lenta) e dovranno essere eseguite in un periodo compreso tra il 15º e il 180º giorno dell'apertura al traffico utilizzando l'apparecchiatura ARAN. Tali misure dovranno essere effettuate con un "passo di misura" di 10 cm e i valori dell'indice IRI saranno calcolati a partire da tale profilo con un "passo" di 5 m. Per la valutazione della caratteristica di regolarità superficiale dei giunti di dilatazione si farà riferimento ai valori dell'indice IRI nel cui intervallo di calcolo (L=5 m) si trova ad essere posizionato almeno un giunto; qualora tale parametro non soddisfi le condizioni richieste, il giunto di dilatazione, ricadente nel relativo intervallo di calcolo sarà penalizzato del 15% del suo costo (da calcolare prendendo a riferimento la larghezza complessiva del giunto anche se le misure interessano una corsia), questo fino al raggiungimento di una soglia di non accettabilità di seguito specificata.
Il valore della soglia di accettabilità è: IRI≤ 7 mm/m salvo diverse indicazioni progettuali.

27.3.3 Requisiti specifici per i materiali dei giunti a tampone viscoelastico

Per i giunti a tampone occorre altresì il rispetto dei requisiti di composizione della miscela e dei singoli materiali di seguito indicati. Lo spessore minimo del tampone viscoelastico deve essere di 0,10 m.
Si riporta di seguito una visione prospettica del giunto a tampone.



1 – strato di usura
2 – drenaggio
3 – tampone viscoelastico
4 – stesa di bitume modificato
5 – lamierino di acciaio
6 – scossalina in bituthene HD o elotene HD o hypalon con all'interno di una treccia di poliuretano espanso
7 – soletta
8 – strato di binder

27.3.3.1 Legante

Il legante sarà costituito da bitume modificato con materiali di sintesi di natura elastomerica e/o plastomerica dotato obbligatoriamente di marcatura CE secondo la Norma UNI EN 14023 con sistema di attestazione di conformità di tipo 2+, avente le caratteristiche riportate nella seguente tabella:

Caratteristiche	Unità	Metodo di prova	Valore
Penetrazione a 25°C	0.1mm	UNI EN 1426	45-80
Punto di rammollimento	°C	UNI EN 1427	≥ 80
Punto di rottura (Fraass)	°C	UNI EN 12593	≤ -12
Viscosità dinamica a 160 °C	Pa*s	UNI EN 13302 UNI EN 13702 (**)	> 1.0
Ritorno elastico a 25°C	%	UNI EN 13398	≥ 80
Stabilità allo stoccaggio (Δ punto rammollimento)	°C	UNI EN 13399	≤ 5
Valori dopo RTFOT (*)			

Variazione di massa	%	UNI EN 12607-1	≤ 0.8
Penetrazione residua a 25°C	%	UNI EN 1426 UNI EN 12607-1	≥ 40
Incremento del punto di rammollimento	°C	UNI EN 1427 UNI EN 12607-1	≤ 8
(*) Rolling Thin Film Oven Test (UNI EN 12607-1) (**) Prova su bitume non additivato con filler			

Il legante bituminoso dovrà essere dosato con una percentuale compresa tra il 15% e il 20% riferita al peso degli aggregati.

27.3.3.2 Aggregati

Gli aggregati da utilizzare nei giunti dovranno possedere marcatura CE e DoP secondo la norma europea armonizzata UNI EN 13043 con sistema di attestazione di conformità 2+. L'aggregato potrà essere costituito da materiale basaltico o di altra natura con granulometria compresa tra i 15 e i 20 mm. Nel caso di spessori ridotti della pavimentazione l'impresa potrà adottare aggregati con granulometria compresa tra 10 e 16 mm. Le caratteristiche che gli aggregati dovranno possedere dovranno essere le seguenti:

Caratteristica	**Norma di prova**	**Giunto tampone**
Appiattimento dell'aggregato grosso d ≥ 2mm	UNI EN 933-3	FI_{15}
Forma aggregato grosso d ≥ 2mm	UNI EN 933-4	SI_{15}
Percentuale superfici frantumate aggregato grosso, senza facce arrotondate	UNI EN 933-5	100 %
Resistenza alla frammentazione aggregato grosso	UNI EN 1097-2	LA_{20}
Resistenza alla levigazione aggregato grosso	UNI EN 1097-8	PSV_{44}
Resistenza all'abrasione superficiale	UNI EN 1097-8	AAV_{20}
Resistenza al gelo / disgelo	UNI EN 1367-1 o 2	F_1

27.3.3.3 Dispositivo di drenaggio delle acque di sottopavimentazione

Il convogliamento e lo smaltimento delle acque dovrà avvenire in zone che non insistono sulle strutture principali dell'opera. Il dispositivo sarà costituito da un profilato in lamiera zincata o alluminio a "C" aperto di 30 × 20 mm e spessore pari a 1,5 mm ed un terminale per lo smaltimento delle acque realizzato con tubo in rame del diametro di 25 mm fissato con stucco al drenaggio.

27.3.3.4 Lamierini di sostegno

Si tratta di un dispositivo di sostegno del tampone bituminoso costituito da lamierini di acciaio inox di dimensioni 0,30 × 0,15 m con spessore compreso tra 2 e 2,5 mm. Tale dispositivo deve consentire le dilatazioni termiche della soletta mantenendo inalterata la sua funzionalità; esso deve inoltre conservare la proprie caratteristiche di tenuta alle temperature di getto del tampone viscoelastico.

27.3.4 Disegni costruttivi e descrizione dei materiali componenti

Il Fornitore deve presentare alla Direzione Lavori tramite l'Appaltatore i disegni costruttivi dei giunti riferiti ad una posizione di apertura media e una planimtria per la loro individuazione in riferimento alle opere d'arte ove verranno installati.
Su tali elaborati dovranno essere riportate le tolleranze di fabbricazione secondo normativa UNI EN 22768 e le tolleranze relative alle operazioni di posa in opera. Tali indicazioni dovranno in ogni caso riguardare i seguenti punti:

- planarità dei piani di posa degli elementi costituenti il giunto;
- complanarità dei due piani di posa degli elementi contrapposti del giunto;
- dimensioni del varco riferite a temperatura media;
- posizione ed interassi degli ancoraggi;
- escursioni che il giunto è in grado di garantire in tutte le direzione e per i diversi stati limite se differenziati.

Occorre altresì fornire una relazione con l'indicazione di tutte le caratteristiche meccaniche e fisiche dei singoli componenti del giunto, dei raccordi con la pavimentazione e degli eventuali ancoraggi (tirafondi) compresi i valori delle coppie di serraggio e la scheda tecnica con relativa marcatura CE e DoP dell'ancorante.
Inoltre, con l'obiettivo di eseguire prove di pullout per la verifica della corretta messa in opera dell'ancorante ove previsto dal progetto o dal manuale di installazione, l'Appaltatore deve fornire le indicazioni sul livello di carico di esercizio da applicare. Tale valore deve essere riportato anche nel manuale di montaggio, uso e manutenzione di cui al § 27.3.5.
Nel caso di giunti di dilatazione di tipo viscoelastico, dovranno essere posti in opera dispositivi di finitura del giunto sul cordolo nel caso che l'opera d'arte sia dotata di cordolo con barriera metallica o con barriera New Jersey i cui materiali e specifiche dovranno essere indicati nei disegni costruttivi.
Negli elaborati costruttivi occorre indicare anche i valori e le modalità della preregolazione quando ritenuto necessario dal produttore dei giunti.

27.3.5 Manuale di montaggio, uso e manutenzione

Ogni giunto di dilatazione, o se sufficiente ogni tipologia, dovrà essere dotato di un manuale di montaggio, uso e manutenzione fornito e firmato dal Fornitore. Nel manuale occorre indicare, in base alle risultanze delle prove di durabilità eseguite sul giunto e sulle sue parti, le necessarie operazioni degli interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria da eseguirsi sul dispositivo e loro frequenza per mantenere il giunto e le sue parti in perfetta efficienza.

Nel caso in cui la vita utile attesa del giunto sia stimata inferiore alla vita utile dell'opera, il Fornitore deve riportare detta stima nel manuale.

27.4 Documenti di prequalifica

L'Appaltatore deve trasmettere al Direttore dei Lavori per approvazione almeno 15 giorni prima dell'inizio delle attività, la documentazione di seguito elencata.

La mancata presentazione della documentazione preliminare comporta la non autorizzazione all'inizio dell'esecuzione dei lavori, né saranno accettate eventuali lavorazioni svolte prima dell'approvazione delle modalità esecutive.

Per gli interventi in oggetto si richiede la presentazione da parte dell'Appaltatore di una apposita "Procedura di lavoro", prevista all'art. CG.01.01 della sezione "Condizioni Generali" del presente Capitolato Speciale nel rispetto dei contenuti di cui al successivo § 27.5 Modalità esecutive.

L'Appaltatore, deve altresì trasmettere alla Direzione Lavori per approvazione, un dossier di qualifica contenente:

- Marcatura CE, DoP e scheda tecnica per ogni giunto. Laddove la DoP non riporti uno specifico requisito richiesto l'Appaltatore deve allegare anche un certificato eseguito da un Laboratorio Ufficiale a dimostrazione della conformità del prodotto che intende proporre;
- Disegni costruttivi e distinta dei materiali componenti il giunto con le caratteristiche fisiche e meccaniche in coerenza con i contenuti del § 27.3.4 e con i documenti di marcatura CE;
- Manuale di installazione, uso e manutenzione per ogni tipologia di giunto di cui al § 27.3.5;
- La certificazione del sistema di controllo della produzione (FPC) e il Certificato UNI EN ISO 9001 del sistema di gestione qualità delle società produttrici dei materiali;
- Nominativo e curricula del personale qualificato della ditta produttrice dei giunti per la posa in opera in conformità a quanto disciplinato al § 27.5;

I requisiti d'accettazione potranno inoltre essere accertati con ulteriori prove a cura della Direzione Lavori sia in fase di prequalifica presso il fornitore (controllo non vincolante per l'autorizzazione), sia in corso d'opera, prelevando il materiale in sito o ancora presso il fornitore, prima e dopo avere effettuato le lavorazioni.

27.5 Modalità esecutive

L'installazione deve essere effettuata, per il primo tipo di ogni elemento, direttamente dal personale adeguatamente formato fornito dal Fabbricante. Per tutti gli altri elementi la posa può essere effettuata anche dal personale dell'Appaltatore ma sempre sotto la supervisione diretta del personale fornito e formato dal Fabbricante.
I giunti devono essere installati in conformità a tutti i dettagli riportati nei disegni costruttivi e di installazione approvati in fase di qualifica.

27.5.1 Piani e vani di posa

Nel caso di installazione di giunti su opere nuove, la posa in opera (da effettuare generalmente dopo la stesa della pavimentazione), sarà realizzata secondo le seguenti fasi esecutive:

1. Taglio della pavimentazione per l'intero suo spessore lungo le linee delimitanti la fascia da asportare.
2. Demolizione della pavimentazione e dell'eventuale strato di impermeabilizzazione.
3. Asportazione di eventuali strutture di giunto provvisorio.
4. Ravvivatura dell'estradosso soletta mediante fresatura, sabbiatura o bocciardatura.
5. Eventuale getto di malta e/o betoncino cementizi reoplastici, a ritiro compensato, fibrorinforzati, predosati, opportunamente armati, collegati alla testata, per portare in quota il piano di appoggio dell'apparecchio di giunto.
6. Posizionamento del giunto, da effettuare con appositi apparecchi di livellazione in funzione delle quote della pavimentazione adiacente. La differenza di quota tra il piano della pavimentazione ed il piano del giunto sarà compresa tra +5 mm e 0 mm.
7. Eventuale pre-regolazione, da eseguire a cura di tecnici qualificati e con specifiche attrezzature, secondo le caratteristiche del giunto, nonché della stagione e delle caratteristiche dell'opera.
8. Completamento del massetto di raccordo tra giunto e pavimentazione.

Nel caso di manutenzioni, ripristini e adeguamenti, alle operazioni precedentemente descritte sono da aggiungere le seguenti fasi (dopo la fase 2):

- eventuale asportazione del giunto esistente ammalorato.
- eventuale ripristino della testata di soletta con malta e/o betoncino cementizi reoplastici, a ritiro compensato, fibrorinforzati, predosati opportunamente armati, collegati alla testata, secondo il

tipo di degrado riscontrato; tale ripristino avverrà, previa verifica di funzionalità delle armature esistenti e loro eventuale integrazione, con un unico getto sino alla quota del piano di appoggio dell'apparecchio di giunto. Le caratteristiche tecniche dei materiali da utilizzare per la ricostruzione sono indicate nell'articolo 22 di questo capitolato riguardante i materiali per i ripristini;

In tutte le fasi esecutive, comprese le fasi di preparazione e di sistemazione finale delle aree, per gli aspetti e le problematiche relative a temi ambientali, quali impatti acustici e vibrazionali, emissioni in atmosfera, impatto sulle acque superficiali, sotterranee e sul suolo, impatti sulla componente fauna e vegetazione, si rimanda integralmente a quanto prescritto dalla Normativa Nazionale e Regionale vigente, alle prescrizioni degli Enti preposti alla tutela ambientale, nonché alle condizioni ambientali contenute nelle autorizzazioni ed alle disposizioni del Capitolato Ambientale e Piano di Gestione Terre/Piano di Utilizzo allegati al progetto esecutivo.

27.5.2 Preregolazione

La pre-regolazione è talvolta necessaria per far fronte ai movimenti differiti nel tempo degli impalcati e ai movimenti giornalieri e stagionali dovuti alla variazione termica.
Laddove il fabbricante, in funzione del tipo di giunto fornito, ritiene necessario per il corretto funzionamento dell'elemento da installare, contrastare tali movimenti con idonea preregolazione questa dovrà essere effettuata in officina. Gli interventi di preregolazione in cantiere potranno essere eseguiti soltanto dal personale del produttore dei giunti.

Per la misura della temperatura della struttura utile alla determinazione della pre-regolazione dei giunti si potrà fare riferimento a misure dirette o a correlazioni tra la temperatura dell'aria e quella della struttura stessa. A tal fine si farà riferimento ai seguenti documenti:
• Appendice C della UNI EN 1337-1;
• Appendice B della UNI EN 1337-10;
• Figura 6.1 dell'Eurocodice 1 parte 1.5 (EN 1991-1.5).
I valori e le modalità della preregolazione devo essere comunicati al Direttore dei Lavori in fase di qualifica per approvazione.

27.5.3 Raccordi con la pavimentazione, i cordoli e le barriere

Il raccordo con la pavimentazione, salvo diverse prescrizioni progettuali, sarà di larghezza minima di 100 mm se eseguito con betoncino e di 50 mm se eseguito con altro prodotto specifico (asfalto colato, resina a basso modulo elastico, ecc.) con caratteristiche indicate dall'Appaltatore e accettate dalla Direzione Lavori.
I raccordi con i cordoli e le barriere saranno realizzati in funzione delle escursioni del giunto:
- per i giunti di escursione $\leq$ 50 mm:
  guarnizione elastica inserita nell'apertura strutturale eseguita con materiale conforme a quanto specificato in precedenza (gomma).
- per giunti di escursione > di 50 mm:
  coprigiunti metallici solidali ad un impalcato e scorrevoli sull'altro realizzati con materiali conformi a quanto specificato in precedenza (acciai), protetti dalla corrosione conformemente a quanto specificato nel relativo paragrafo.

27.5.4 Giunto a tampone viscoelastico

Il giunto a tampone viscoelastico deve essere posto in opera a pavimentazione finita.
L'intera lavorazione comprende:

1. asportazione della pavimentazione a cavallo dei giunti di dilatazione da realizzare mediante taglio della pavimentazione per l'intero suo spessore fino a raggiungere l'estradosso delle solette di impalcato, demolizione della pavimentazione e dell'eventuale sottostante strato impermeabilizzante e trasporto a deposito di tutto il materiale di risulta;
2. asportazione di eventuali materiali aventi funzione di giunto provvisorio;
3. accurata pulizia del piano di posa del tampone o asportazione del calcestruzzo degradato o in fase di distacco;
4. trattamento di sabbiatura dell'armatura eventualmente scoperta;
5. eventuale ripristino delle testate delle solette con malta e/o betoncino reoplastici fibrorinforzati o con malte cementizio-epossidiche mantenendo la giusta distanza ed una forma il più possibile regolare tra le testate contrapposte. Le caratteristiche tecniche dei materiali da utilizzare per la ricostruzione sono indicate nell'articolo 22 di questo capitolato riguardante i materiali per i ripristini;
6. asciugatura della sede del giunto a mezzo di lancia termica;
7. posa di scossalina in BITUTHENE HD o ELOTENE HD o HYPALON sulla verticale delle testate di soletta adiacenti, con l'accortezza che la membrana abbia gioco sufficiente ad assecondare i movimenti del giunto fino alla massima apertura, senza mai introdurre sollecitazioni di trazione su quest'ultima e posta in opera con la consueta forma ad omega tra le testate di soletta. Dove l'apertura del varco risulti insufficiente per l'installazione della scossalina, si potrà escludere tale lavorazione, previo consenso della D.L.;
8. introduzione a forza all'interno dello spazio tra le testate delle solette dell'impalcato di una treccia in poliuretano espanso avente la funzione di contenere la prima colata di bitume modificato;
9. posa del dispositivo di drenaggio in profilato in lamiera zincata o alluminio a "C" aperto di 30 x 20 mm e spessore pari a 1,5 mm ed un terminale per lo smaltimento delle acque realizzato con tubo in rame del diametro di 25 mm fissato con stucco al drenaggio;
10. prima colata di bitume modificato su tutta la sede del giunto (pareti verticali e fondo) impregnando anche la treccia poliuretanica in modo da impermeabilizzarla;
11. posa dei dispositivi di sostegno in lamierino di adeguata larghezza e spessore e lunghezza pari a 0,30 m, collocati l'uno accanto all'altro;
12. seconda colata di bitume modificato sull'intera superficie orizzontale;
13. realizzazione del tampone mediante stesa in unico o più strati e successivo costipamento del materiale fino a raggiungere una perfetta complanarità col piano viario;
14. colata di finitura in bitume modificato per l'intasamento dei vuoti residui.

27.6 Prove e controlli

27.6.1 Controlli a carico dell'Appaltatore

L'Appaltatore è tenuto ad eseguire i seguenti controlli da trasmettere in apposito report alla Direzione Lavori al termine dell'attività di ogni WBS.

27.6.1.1 Controlli dei documenti di accompagno delle forniture all'arrivo in cantiere

L'Appaltatore deve sempre verificare la rispondenza tra le forniture in arrivo in cantiere con i documenti di progetto e della qualifica approvata dal Direttore dei Lavori. Deve inoltre verificare la presenza e coerenza dei documenti seguenti:

- Copia del Documento di trasporto DDT
- Copia della Marcatura CE, DoP ove presenti

27.6.1.2 Controlli di esecuzione dei giunti

L'Appaltatore deve sempre eseguire le seguenti verifiche:

- Prima della posa dei giunti occorre controllare che le superfici siano regolari, perfettamente asciutte e pulite e che il taglio della pavimentazione sia stato eseguito nelle dimensioni corrette ed idonee ad ospitare il giunto stesso;
- Controllare che la fenditura fra le solette per l'intera lunghezza del giunto sia costante e compatibile con il tipo di giunto da posare;
- Per i lavori di ripristino, controllo in contraddittorio con la Direzione Lavori dello stato di conservazione delle testate e dell'estradosso delle solette. In caso di calcestruzzo incorente, ferri scoperti e comunque ad insindacabile giudizione della Direzione Lavori, occorre procede al ripristino delle parti ammalorate;
- Controllare la quota del piano di appoggio dell'apparecchio di giunto compatibilmente con le tolleranze degli elementi
- Controllare il rispetto delle modalità di posa indicate nel manuale ed approvate in qualifica entro le tolleranze ammesse e delle preregolazioni dei giunti ove presenti;
- Nel caso di tirafondi e ancoraggi occorre controllare:
    - prima dell'inizio delle lavorazioni la corrispondenza del tipo di tirafondo rispetto alle specifiche di qualifica e progetto;
    - la lunghezza del 100% dei fori e in contraddittorio con la Direzione Lavori su almeno il 20%. Sarà comunque facoltà della Direzione Lavori prevedere anche la verifica della lunghezza della barra dei tirafondi dopo la loro installazione a mezzo di idonee strumentazioni ad ultrasuoni;
    - la compatibilità delle condizioni meteo con le indicazioni delle schede tecniche delle resine/ancoranti,
    - la coppia di serraggio in base ai valori definiti in sede di qualifica. Al termine montaggio dei giunti occorre eseguire la verifica del serraggio nella seguente modalità:
        - verifica a cura dell'Appaltatore sul 100% del totale dei tirafondi con evidenza a mezzo report del controllo effettuato da trasmettere alla Direzione Lavori;
        - verifica a cura della Direzione Lavori in contraddittorio con l'Appaltatore almeno sul 20% del totale dei tirafondi con evidenza a mezzo di certificato di laboratorio o report;
- Controllare la corretta esecuzione e collegamento dei drenaggi e dell'impermeabilizzazione del giunto;
- Controllare la planarità e la continuità del raccordo tra giunto e pavimentazione stradale.

27.6.1.3 Controlli di tenuta dell'impermeabilizzazione dei giunti

L'Appaltatore, per ogni tipo di giunto installato, deve, in contraddittorio con la Direzione Lavori, verificare la tenuta dell'impermeabilizzazione irrororando 1000 litri di acqua nel tempo di 15 - 20 minuti avendo cura che questa venga distribuita uniformemente sull'intera lunghezza del coprigiunto. La prova verrà considerata superata se al termine dell'irrorazione tutta l'acqua sarà defluita attraverso la scossalina e se nessuna perdita sarà stata rilevata sulle testate dell'impalcato.
La Direzione Lavori indicherà tra le varie tipologie di giunto installate le linee ove eseguire la prova.

27.6.2 Prove a carico della Direzione Lavori

I prelievi per i seguenti controlli di accettazione in cantiere devono essere eseguiti, in contraddittorio e con l'assistenza dell'Appaltatore.

27.6.2.1 Controllo pullout sui tirafondi

Salvo diverse indicazioni sono da eseguire 3 prove di pullout ogni 15 m di giunto in opera avente lo stesso tipo di tirafondo e tipo di ancorante utilizzato a mezzo di certificato di laboratorio con un minimo di 3 prove. Le indicazioni sul livello di carico da applicare (non distruttivo) dovranno essere desunte dal manuale di installazione e dai documenti di qualifica approvati dal Direttore dei Lavori.

27.6.2.2 Controllo della protezione contro la corrosione

In caso di forniture che presentano protezioni alla corrosione occorre verificare:

- per componenti verniciati lo spessore della verniciatura secondo la UNI EN ISO 19840 con frequenza di n. 3 prove ogni 10 linee di giunto omogenee (stesso produttore, stessa tipologia) in cui la protezione è presente con un minimo di 3 prove. Il valore medio dello spessore deve essere maggiore o uguale al valore indicato in fase di qualifica;
- per componenti zincati lo spessore della zincatura secondo la UNI EN ISO 2178 con frequenza di n. 3 prove ogni 10 linee di giunto omogenee (stesso produttore, stessa tipologia) in cui la protezione è presente con un minimo di 3 prove. Il valore medio dello spessore deve essere maggiore o uguale al valore indicato in fase di qualifica;

27.6.2.3 Controllo delle materie prime

Per i tirafondi occorre verificare a mezzo di n. 3 prove ogni 1.000 tirafondi utilizzati della stessa tipologia e fornitore di provenienza (con un minino di 3 prove):

- la rispondenza alla "classe" prevista in sede di qualifica, secondo il riferimento normativo UNI EN ISO 898-1;
- lo spessore locale del rivestimento della zincatura a caldo (ove presente) secondo la UNI EN ISO 2178.

Per la gomma vulcanizzata occorre verificare, a mezzo di n. 1 prova per ogni tipo di giunto dello stesso fornitore, la resistenza a trazione e l'allungamento minimo a rottura secondo la ISO 37 tipo 2, nel rispetto dei valori di qualifica approvati dal Direttore dei Lavori e dalla norma UNI EN 1337-3 prospetto 1, ove applicabile.
Il prelievo andrà effettuato presso lo stabilimento di produzione con la prescrizione che deve essere riferito allo stesso lotto di produzione del giunto fornito.
Per i profilati in acciaio occorre verificare, a mezzo di n. 3 prove per ogni tipo di giunto dello stesso fornitore:

- i valori di snervamento fy, rottura ft e allungamento secondo la norma UNI EN ISO 6892-1 che dovranno essere conformi ai limiti indicati nelle norme delle serie UNI EN 10025 e UNI EN 10088 a seconda del tipo di acciaio dichiarato dal produttore in fase di qualifica approvata dal Direttore dei Lavori;
- l'analisi chimica secondo UNI EN 10315, UNI EN ISO 15350 o al CR 10320 che dovranno essere conformi ai limiti indicati nelle norme della serie UNI EN 10025 e UNI EN 10088 a seconda del tipo di acciaio dichiarato dal produttore in fase di qualifica.

Il prelievo andrà effettuato presso lo stabilimento di produzione con la prescrizione che deve essere riferito allo stesso lotto di produzione del giunto fornito.
In caso di utilizzo di malte e betoncini occorre eseguire le prove di cui all'art 22.7.1 afferenti il capitolo dei materiali per Ripristino/adeguamento d'elementi strutturali in conglomerato cementizio, con le frequenze indicate.

27.6.2.4 Controlli specifici per i giunti a tampone

27.6.2.4.1 Controlli sui bitumi all'impianto

E' necessario eseguire un prelievo all'impianto per fornitore e prodotto al primo utilizzo e successivamente con cadenza bisettimanale, per la verifica delle caratteristiche approvate in qualifica. La non rispondenza (uno o più parametri non conformi) ai suddetti requisiti comporterà l'applicazione di una penale pari 10% del costo dello strato realizzato col bitume non conforme.

27.6.2.4.2 Controlli sugli aggregati all'impianto

Ogni 10.000 mc di miscele prodotte con lo stesso fornitore oppure con cadenza semestrale, occorre eseguire un prelievo all'impianto degli aggregati utilizzati per le miscele per la verifiche delle caratteristiche di cui al § 27.3.3.2 ed approvate in qualifica.

La non rispondenza (uno o più parametri non conformi) ai suddetti requisiti comporterà l'applicazione di una penale pari 10% del costo dello strato realizzato con gli aggregati non conformi.

27.6.2.4.3 Controlli della % di legante bituminoso

Ogni giorno di applicazione occorre controllare il rispetto della percentuale di legante rispetto ai limiti di qualifica approvati dal Direttore di cui al § 27.3.3.1.

27.6.2.5 Controllo dell'inquinamento acustico sui giunti

Qualora il progetto preveda un limite di incremento di rumorosità in presenza del giunto rispetto a quello misurato in assenza del giunto occorre verificare tale limite per ogni tipo di giunto installato nelle modalità indicate al § 27.3.2 e/o nei documenti di progetto.

27.6.2.6 Controllo della regolarità superficiale dei giunti

Qualora il progetto imponga un limite alla regolarità della superficie del giunto occorre verificare tale limite nelle modalità indicate al § 27.3.2 e/o nei documenti di progetto.

27.7 Penali

- Penalità per il non raggiungimento delle prestazioni previste in Progetto:

- qualora dalle prove eseguite risultassero valori inferiori di non più del 10% rispetto a quelli richiesti, secondo le presenti Norme, il Progettista eseguirà una verifica della sicurezza. Se tale verifica desse esito positivo, l'apparecchio sarà accettato ma il suo prezzo unitario sarà decurtato del 20%;
- qualora i valori risultassero superiori a tale 10% o la precedente verifica avesse dato esito negativo, l'Appaltatore sarà tenuto, a sua totale cura e spese, alla sostituzione della fornitura con giunti di caratteristiche adeguate alle prestazioni richieste.

- Penali per difetti di impermeabilizzazione:

- se entro due anni dalla sua costruzione, durante la pioggia e/o dopo alcune ore dall'ultima precipitazione atmosferica, si vedessero scolature di acqua per un'estensione fino al 15% della sua lunghezza, sarà applicata una penale del 15% del prezzo pagato per tutte le lavorazioni e forniture necessarie alla sua costruzione.
- In caso di scolature per un'estensione superiore a detto valore, il giunto dovrà essere ripristinato dall'Appaltatore a sua cura e spesa.

- Penalità per insufficiente adesione dei materiali di ripristino supporto ai giunti metallici:

- nel caso di superfici risonanti a vuoto e sulle quali non è stato possibile eliminare il difetto, l'Appaltatore sarà tenuto, a sua totale cura e spese, alla rimozione completa dei materiali già posti in opera e alla loro sostituzione con materiali idonei.

- Penalità per mancata regolarità:

- Qualora il valore IRI, come definito in precedenza, sia maggiore o uguale al valore ritenuto accettabile sopra specificato, si dovrà procedere ad onere e cura dell'Appaltatore all'asportazione completa per tutta la larghezza ed al rifacimento del giunto di dilatazione; il nuovo giunto sarà comunque soggetto alle stesse condizioni di controllo ed agli stessi requisiti di regolarità precedentemente descritti.

- Penali per il rumore:

- il limite di accettazione acustica del giunto sarà indicato in fase progettuale; il superamento di detto limite comporterà una riqualificazione gratuita del giunto stesso o, in caso di insuccesso, una sua completa sostituzione con un giunto di caratteristiche migliori.

Art. 28 Rinforzo strutturale con materiali compositi fibrosi

28.1 Descrizione e campo di applicazione

Il presente Capitolato Speciale definisce le caratteristiche dei materiali fibrorinforzati a matrice polimerica e a matrice inorganica da utilizzare per rinforzi strutturali.
Considerandone i vantaggi in termini di leggerezza, elevate proprietà meccaniche e caratteristiche anticorrosive, i materiali compositi risultano adatti per il rinforzo strutturale.
Gli interventi con materiali fibrorinforzati trovano le loro applicazioni più frequenti nei seguenti campi:

- Riparazione di travi danneggiate o aventi armature interne degradate e/o insufficienti.
- Adeguamento di travi e fusti pila, pulvini a nuovi carichi flessionali o assiali.
- Adeguamento sismico.

I materiali **fibrorinforzati a matrice polimerica FRP (Fiber Reinforced Polymer)** sono costituiti da fibre (comunemente vetro, arammide e carbonio) immersi in una matrice polimerica di natura organica. Essi mostrano un comportamento prevalentemente elastico lineare fino al collasso e proprietà meccaniche anisotrope, ovvero variabili in funzione dell'angolo esistente tra la direzione di carico e quella di giacitura dei filamenti. All'atto della posa, pertanto, è particolarmente importante rispettare scrupolosamente le indicazioni di Progetto riguardo al posizionamento e all'orientamento dei materiali.

I materiali **fibrorinforzati a matrice inorganica FRCM (Fibre Reinforced Cementitious Matrix)** sono il risultato dell'accoppiamento di reti, realizzate con fibre (acciaio ad alta resistenza; arammide, basalto, carbonio, poliparafenilenbenzobisoxazolo (nel seguito PBO), vetro AR), immerse in una matrice inorganica a base di malta, di calce o di cemento. Tali compositi vengono denominati anche TRC (Textile Reinforced Concrete), TRM (Textile Reinforced Mortars) o anche IMG (Inorganic Matrix Grid composites). Nel seguito, poiché l'acronimo FRCM è stato adottato in documenti ministeriali già approvati, si preferisce continuare ad utilizzare lo stesso acronimo.

I prodotti FRP con fibre di carbonio (CFRP - Carbon Fiber Reinforced Polymer), utilizzati per la riparazione e il rinforzo di opere d'arte stradali, si suddividono in tre categorie principali:

- **Tessuti di fibre secche**, cioè non impregnate con il polimero, da impregnare in situ con adesivi specifici epossidici che induriscono a temperatura ambiente.
- **Barre preformate** di tipo pultruso che vengono inglobate nel ringrosso della sezione o inserite in opportune tasche ricavate nel copriferro.
- **Lamelle preformate** di tipo pultruso aventi sezione rettangolare, che vengono incollate alla struttura da rinforzare con appositi adesivi epossidici; le lamelle possono essere pre-tese per la realizzazione di interventi di precompressione.

In funzione delle caratteristiche meccaniche del materiale fibroso che li costituisce, si distinguono prodotti in fibra di carbonio ad alto modulo (HM) e prodotti in fibra di carbonio ad alta resistenza (HS).
Le barre e le lamelle in fibra di carbonio si ottengono attraverso il processo industriale di pultrusione, mediante il quale filamenti di carbonio vengono impregnati in stabilimento in continuo con resina e quindi sottoposti a polimerizzazione ad alta temperatura. Il processo produttivo di pultrusione deve essere certificato dal Fornitore e attestato sulla scheda tecnica del prodotto.

28.2 Normativa di riferimento

- Legge n.1086 5 Novembre 1971, e relativo D.M. in vigore: "Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica".
- CNR DT 200/2013 "Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l'utilizzo di Compositi Fibrorinforzati".
- CNR DT 215/2018 "Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l'utilizzo di Compositi Fibrorinforzati a Matrice Inorganica"
- ACI 440 – 2R02 – "Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures".
- Linea Guida C.S.LL.PP. - Servizio Tecnico Centrale: "Linea Guida per la identificazione, la qualificazione ed il controllo di accettazione di compositi fibrorinforzati a matrice polimerica (FRP) da utilizzarsi per il consolidamento strutturale di costruzioni esistenti", approvata con D.P.C.S.LL.PP. n. 293 del 29 maggio 2019 (di seguito indicate come LG-FRP)
- Linea Guida C.S.LL.PP. - Servizio Tecnico Centrale: "Linea Guida per la identificazione, la qualificazione ed il controllo di accettazione di compositi fibrorinforzati a matrice inorganica (FRCM) da utilizzarsi per il consolidamento strutturale di costruzioni esistenti", approvata con D.P.C.S.LL.PP. n. 1 del 08 gennaio 2019 (di seguito indicate come LG-FRCM)

28.3 Criteri di accettazione dei sistemi di rinforzo in CFRP

I sistemi di rinforzo dovrannoi essere conformi alle LG-FRP.

28.3.1 Materiali

Per quanto non in contrasto con la LG-FRP, le caratteristiche dei materiali costituenti i prodotti in CFRP (barre, lamelle, tessuti) sono descritte nei paragrafi successivi ('Caratteristiche Prestazionali').

Adesivi epossidici

- Adesione al calcestruzzo a 7 gg per trazione diretta, UNI EN 1542 : > 3,5 MPa (rottura del calcestruzzo)
- Resistenza a compressione, ASTM D695: 24 ore > 45 MPa, 7 gg > 50 MPa.
- Modulo elastico a compressione a 7 gg, ASTM D695: 6.500 MPa
- Resistenza a trazione per flessione, ASTM D790: 7 gg > 25 MPa
- Resistenza a trazione a 7 gg, ASTM D638: 7 gg > 8 MPa
- Modulo elastico a trazione a 7 gg, ASTM D638 a 7 gg: 9500 MPa
- Coefficiente di dilatazione termica lineare a 7 gg, ASTM D696: 2,04-10-5 °C-1
- Temperatura di transizione vetrosa Tg > 60°C

Primer

- Aderenza al calcestruzzo, UNI EN 1542: > 3,5 MPa (rottura del supporto)
- Resistenza a trazione a 7 gg, ASTM D638: > 20 MPa
- Resistenza a compressione a 7 gg, ASTM D695: > 40 MPa

Rasatura

- Aderenza al calcestruzzo, UNI EN 1542: > 3,5 MPa (rottura del supporto)
- Resistenza a trazione a 7 gg, ASTM D638: > 5 MPa
- Resistenza a compressione a 7 gg, ASTM D695: > 40 Mpa

Adesivi epossidici

- Adesione al calcestruzzo a 7 gg per trazione diretta, UNI EN 1542 : > 3,5 MPa (rottura del calcestruzzo)
- Resistenza a compressione, ASTM D695: 24 ore > 45 MPa, 7 gg > 50 MPa.
- Modulo elastico a compressione a 7 gg, ASTM D695: 6.500 MPa

- Resistenza a trazione per flessione, ASTM D790: 7 gg > 25 MPa
- Resistenza a trazione a 7 gg, ASTM D638: 7 gg > 8 MPa
- Modulo elastico a trazione a 7 gg, ASTM D638 a 7 gg: 9500 MPa
- Coefficiente di dilatazione termica lineare a 7 gg, ASTM D696: 2,04-10-5 °C-1
- Temperatura di transizione vetrosa Tg > 60°C

28.3.2 Tipologie di rinforzo

28.3.2.1 Rinforzo con tessuto CFRP

28.3.2.1.1 Descrizione

Il tessuto unidirezionale in fibra di carbonio si ottiene attraverso il procedimento industriale di tessitura utilizzando filamenti di carbonio disposti lungo una direzione preferenziale. Il tessuto unidirezionale viene quindi impregnato in sito con una specifica matrice polimerica che ha il compito di aderire all'elemento di supporto e di collegare le fibre tra di loro al fine di assorbire le sollecitazioni della struttura e di proteggere le fibre stesse.
L'intervento con tessuto CFRP impregnato in opera è definito come un sistema di rinforzo in quanto esso dovrà essere costituito dall'uso combinato di materiali le cui caratteristiche e prestazioni siano tra loro perfettamente compatibili; non è pertanto ammesso l'assemblaggio di prodotti singoli non costituenti un sistema appositamente studiato e certificato (ad es l'utilizzo di prodotti generici, non specifici al campo del rinforzo strutturale o provenienti da differenti produttori). Il sistema di rinforzo dovrà pertanto essere definito e certificato come sistema di applicazione del tipo A (vedi CNR DT 200).
I materiali utilizzati per l'intervento, per le cui caratteristiche complete si rimanda ai paragrafi specifici, sono i seguenti:

- Primer epossidico, che assicura, grazie alla sua capacità di penetrare nelle porosità del substrato in calcestruzzo, l'aggancio tra il substrato stesso, il sistema adesivo e il rinforzo fibroso.
- Rasatura epossidica che ha il compito di regolarizzare la superficie per garantire la perfetta planarità del substrato in calcestruzzo; è infatti necessario che le fibre siano perfettamente lineari per ottenere la trasmissione ottimale degli sforzi lungo le stesse.
- Adesivo epossidico che, impregnando perfettamente le fibre, garantisce aderenza tra il substrato in calcestruzzo ed il rinforzo fibroso consentendo il trasferimento delle tensioni tangenziali.
- Rinforzo fibroso costituito da tessuti a base di fibre continue unidirezionali di carbonio.
- Malta cementizia (vedi Art. 22).
- Verniciatura poliuretanica (protezione raggi UV, vedi Art. 23).

28.3.2.1.2 Modalità di esecuzione

Preparazione del supporto

- Nel caso di strutture degradate si procederà alla rimozione dell'intero strato ammalorato mediante idrodemolizione o uso di martelletti ad aria compressa ed al successivo ripristino strutturale con opportune malte dotate di resistenza a taglio e a trazione superiore a quelle del materiale di supporto (vedi Art. 22).
- Eventuali protuberanze superficiali del calcestruzzo dovranno essere levigate. Dove necessario, gli spigoli vivi presenti nel calcestruzzo dovranno essere arrotondati (raggio di curvatura minimo di 20 mm).
- In caso di strutture non degradate la preparazione del supporto avverrà mediante sabbiatura.
- Pulizia della superficie sabbiata mediante aria compressa.

- Iniezione di eventuali fessure presenti di ampiezza visibile ad occhio nudo (>0.3mm) con resina a bassa viscosità secondo le prescrizioni dell'Art. 22.

Applicazione del Primer epossidico secondo la scheda tecnica e compatibilmente con le condizioni climatiche indicate nella stessa

Applicazione della Rasatura epossidica

- Eventuali vaiolature delle superfici dovranno essere eliminate mediante applicazione di rasatura epossidica.
- La rasatura dovrà essere applicata quando il primer non risulterà più appiccicoso al tatto e comunque entro le 24 ore dall'applicazione di quest'ultimo.
- L'applicazione della rasatura dovrà essere effettuata secondo la scheda tecnica e compatibilmente con le condizioni climatiche indicate nella stessa
  La Rasatura può essere applicata a spatola.

Applicazione dell'Adesivo e delle Fibre

- L'applicazione dell'Adesivo epossidico avverrà mediante rullo a pelo corto, fresco su fresco sulla rasatura o, nel caso di assenza di rasatura, quando il primer non risulterà più appiccicoso al tatto e comunque entro le 24 ore dall'applicazione di quest'ultimo. L'applicazione deve essere effettuata secondo la scheda tecnica e compatibilmente con le condizioni climatiche indicate nella stessa
- Dopo avere applicato il primo strato di adesivo, si stenderà il tessuto unidirezionale avendo cura di premerlo per due o tre volte nella direzione longitudinale della fibra per eliminare l'aria dallo strato di resina, usando un rullino a denti smussati e paralleli alla direzione delle fibre. Per congiungere più strisce di ogni singolo strato nella direzione longitudinale della fibra è necessario sovrapporre le due strisce per una lunghezza di almeno 20 cm. In corrispondenza del punto di sovrapposizione si applicherà una ulteriore mano di adesivo sulla superficie esterna dello strato di foglio su cui aderirà il tratto sovrapposto. Non è necessaria alcuna sovrapposizione nella direzione laterale della fibra, con eccezione delle applicazioni a confinamento.
- La seconda mano di adesivo deve essere stesa sulla superficie del foglio fino a completa saturazione della fibra.
- Per l'applicazione di strati ulteriori, si applicherà lo strato di tessuto e quindi una ulteriore mano di adesivo seguendo le indicazioni precedenti.

Stagionatura

- Completata la fase di incollaggio, si dovrà proteggere il manufatto dagli agenti atmosferici con teli di plastica.
- L'intervento dovrà essere lasciato maturare per un tempo non inferiore alle 24 ore (a 20°C) prima di poter destinare al servizio l'elemento rinforzato. Per temperature inferiori a 20°C sarà necessario attendere un tempo superiore alle 24 ore, in accordo alle indicazioni del Produttore.

Protezione dai raggi UV

- Si dovranno proteggere le superfici rinforzate mediante verniciatura poliuretanica elastica resistente all'azione degli agenti atmosferici (vedi Art. 23), oppure mediante rasatura polimerica cementizia e successiva protezione anticarbonatazione acrilica modificata resistente all'azione degli agenti atmosferici.
- L'applicazione del sistema protettivo dovrà avvenire dopo l'indurimento dell'ultimo strato di adesivo.

Si raccomanda di provvedere all'eliminazione, per quanto possibile, del carico accidentale durante le operazioni di rinforzo e nelle 24 ore successive. Non è generalmente consentito applicare il materiale se la temperatura ambiente è inferiore a 5°C, nè applicare il sistema su un supporto bagnato.

28.3.2.1.3 Caratteristiche prestazionali

Si riportano di seguito i valori dei principali parametri prestazionali del sistema di rinforzo con tessuti CFRP (i parametri relativi sono riferiti al tessuto; non devono essere presi in conto nella progettazione i valori riferiti alla singola fibra costituente il tessuto; non sono ammessi tessuti aventi una quantità di filato di carbonio maggiore di 600 gr/mq al fine di garantire la corretta impregnazione manuale del polimero).

	Tessuto unidirezionale CFRP		
	HHM* (altissimo modulo)	HM (alto modulo)	HS (alta resistenza)
Adesione al supporto di calcestruzzo, previa impregnazione con adesivo (prova secondo UNI EN 1542)	> 3.5 MPa (rottura del supporto)	> 3.5 MPa (rottura del supporto)	> 3.5 MPa (rottura del supporto)
Spessore equivalente di tessuto secco	0,190 mm	0,165 mm	0,165 mm – 0,235 mm
Modulo elastico medio a trazione (prova secondo ASTM D3039 o UNI-EN13706)	640.000 MPa	390.000 MPa	230.000 MPa
Resistenza a trazione caratteristica (prova secondo ASTM D3039 o UNI-EN13706)	> 1700 MPa	> 2400 MPa	> 2500 MPa
Allungamento a rottura medio, (prova secondo ASTM D3039 o UNI-EN13706)	> 0.3%	> 0.8 %	> 1.3 %

* Nel caso di utilizzo di tessuti ad altissimo modulo si raccomandano particolari cautele a causa della intrinseca fragilità del prodotto.

28.3.2.2 Rinforzo con barre CFRP

28.3.2.2.1 Descrizione

Le barre CFRP sono comunemente impiegate per il rinforzo a flessione di travi, pile o solette.
Si distinguono due tecniche di rinforzo:

- Senza aumento di sezione: le barre vengono inserite entro tasche preventivamente realizzate nel copriferro e riempite con opportuna malta cementizia o con resina epossidica.
- Con aumento di sezione: le barre vengono inserite nel ringrosso della sezione, realizzato mediante impiego di opportune malte cementizie.

Basandosi l'efficacia dell'intervento sull'adesione tra barra e supporto, per applicazioni di rinforzo in tasca si consiglia di limitare le dimensioni degli elementi di rinforzo in CFRP (ad esempio barre di diametro 8 o 10 mm, piattine rettangolari di lato 24-25 mm x 1,4-2 mm o 24-25 mm x 2,8-4 mm). Le armature in barre CFRP non possono essere piegate, nè saldate.
I materiali utilizzati per l'intervento, per le cui caratteristiche complete si rimanda ai paragrafi specifici, sono i seguenti:

- Malta cementizia.
- Resina epossidica bicomponente.
- Barra di sezione circolare in fibra di carbonio ad aderenza migliorata, ottenuta mediante sabbiatura superficiale di quarzo sferoidale, avvolgimento elicoidale di filo di carbonio, e ad elevata temperatura di transizione vetrosa.
- Barra di sezione rettangolare in fibra di carbonio ad aderenza migliorata, ottenuta mediante sabbiatura superficiale di quarzo sferoidale, e ad elevata temperatura di transizione vetrosa.

28.3.2.2.2 Modalità di esecuzione

Rinforzo senza aumento di sezione (barre entro tasche)

- Realizzazione di intagli nel copriferro esistente (avendo cura di non danneggiare le armature esistenti).
- Irruvidimento delle tasche mediante sabbiatura e successiva pulizia con aria compressa.
- Riempimento della tasca con opportuna malta cementizia o con resina epossidica.
- Posa in opera della barra in fibra di carbonio entro la tasca, garantendo una distanza netta dal supporto ed un copriferro di almeno 7 mm.
- Stagionatura: protezione del manufatto dagli agenti atmosferici con teli di plastica.

Rinforzo con aumento di sezione

- Irruvidimento della sezione mediante idrodemolizione o martelletti alimentati ad aria compressa
- Pulizia delle superfici con acqua in pressione
- Posa e fissaggio delle barre in fibra di carbonio garantendo una distanza netta dal supporto ed un copriferro di almeno 7 mm, avendo cura di evitare il contatto diretto tra la barra in carbonio e le barre in acciaio mediante idonei distanziatori.
- Applicazione della opportuna malta cementizia.
- Stagionatura della malta mediante acqua nebulizzata o teli o idonei stagionanti.

Si raccomanda di provvedere all'eliminazione, per quanto possibile, del carico accidentale durante le operazioni di rinforzo e nelle 24 ore successive.

28.3.2.2.3 Caratteristiche prestazionali

Si riportano di seguito i valori dei principali parametri prestazionali delle barre CFRP.

	Barre	
	CFRP-B-HM (alto modulo)	CFRP-B-HS (alta resistenza)
Resistenza a trazione caratteristica (prova secondo ASTM D3039 o UNI-EN13706)	> 1800 MPa	> 1800 MPa
Modulo Elastico medio a Trazione (prova secondo ASTM D3039 o UNI-EN13706)	200.000 MPa	160.000 MPa
Allungamento a rottura medio (prova secondo ASTM D3039 o UNI-EN13706)	> 1.0 %	> 1.2 %
Temperatura di transizione vetrosa (prova secondo ASTM E1356 o ASTM E1640)	> 250°C	> 250°C

28.3.2.3 Rinforzo con lamelle

28.3.2.3.1 Descrizione

Le lamelle sono impiegate per il rinforzo a flessione di travi, pilastri o solette, mediante incollaggio delle stesse sulla superficie tesa con resine.

Dipendendo l'efficacia del rinforzo dal contenimento dello spessore della lamella, per applicazioni di incollaggio su superficie tesa, sono ammesse lamelle di spessore massimo pari a 2 mm. Non sono consentite sovrapposizioni, saldature e piegature della lamelle.

Lo spessore massimo della resina di supporto non deve essere superiore a 5mm, (con eccezioni relative a riempimenti di buchi o avvallamenti di limitata estensione).

I materiali utilizzati per l'intervento, per le cui caratteristiche complete si rimanda ai paragrafi specifici, sono i seguenti:

- Adesivo epossidico utilizzato per l'incollaggio delle lamelle.
- Primer epossidico (se previsto)

- Rasatura epossidica (se prevista)
- Lamella in fibra di carbonio con eventuale sabbiatura superficiale sul lato non incollato.

28.3.2.3.2 Modalità di esecuzione

Preparazione del supporto.
- Nel caso di strutture degradate si procederà al ripristino secondo quanto indicato nell'art. 22.
- In caso di strutture non degradate la preparazione del supporto avverrà mediante sabbiatura o idrosabbiatura.
- Eventuali protuberanze superficiali del calcestruzzo dovranno essere levigate per ottenere una superficie perfettamente planare.
- Pulizia della superficie mediante aria compressa.
- Iniezione delle eventuali fessure presenti di ampiezza visibile ad occhio nudo (>0.3mm) con resina a bassa viscosità secondo le prescrizioni dell'art. 22.

Applicazione del Primer epossidico (vedi §. 28.3.2.1.2).
Applicazione della Rasatura epossidica (vedi §. 28.3.2.1.2).
Applicazione delle Lamelle
- Tagliare a misura la lamella con flessibile.
- Pulire accuratamente la superficie della lamella con diluente specifico;
- Stendere uno strato di adesivo epossidico sulla superficie della lamella che dovrà essere incollata al calcestruzzo.
- Stendere uno strato di adesivo epossidico sulla superficie del calcestruzzo dove andrà posta la lamella.
- Posizionare la lamella sulla struttura da rinforzare, premere la lamella contro il conglomerato con apposito rullo, facendo sì che l'adesivo epossidico rifluisca, eliminare infine eventuali bolle d'aria presenti sulla superficie di incollaggio.

Stagionatura.
- Completata la fase di incollaggio, si dovrà proteggere il manufatto dagli agenti atmosferici con teli di plastica.

Protezione dai raggi UV (vedi §. 28.3.2.1.2).

Si raccomanda di provvedere all'eliminazione, per quanto possibile, del carico accidentale durante le operazioni di rinforzo e nelle 24 ore successive. Non è generalmente consentito applicare il materiale se la temperatura ambiente è inferiore a 5°C, nè applicare il sistema su un supporto bagnato.

28.3.2.3.3 Caratteristiche prestazionali

Si riportano di seguito i valori dei principali parametri prestazionali delle lamelle (valori riferiti al prodotto finito, la larghezza viene misurata con calibro centesimale, lo spessore, data la presenza della sabbiatura superficiale deve essere dichiarato dal Produttore; non devono essere considerati nella progettazione i valori riferiti al singolo filamento costituente la lamella).

	Lamina		
	HHM* (altissimo modulo)	HM (alto modulo)	HS (alta resistenza)
Resistenza a trazione caratteristica (prova secondo ASTM D3039 o UNI-EN13706)	> 2000 MPa	> 2400 MPa	> 1350 MPa
Modulo Elastico medio a Trazione (prova secondo ASTM D3039 o UNI-EN13706)	> 200.000 MPa	> 160.000 MPa	> 290.000 MPa

Allungamento a rottura medio (prova secondo ASTM D3039 o UNI-EN13706)	> 1.1 %	> 1.5 %	> 0.45 %
Temperatura di transizione vetrosa (prova secondo ASTM E1356 o ASTM E1640)	> 120°C	> 120°C	> 120°C

* In alcuni casi e adottando attenzioni particolari vista la intrinseca fragilità del prodotto, potranno essere utilizzate lamine ad altissimo modulo.

28.3.2.4 Rinforzo con lamelle pretese

28.3.2.4.1 Descrizione

Le lamelle pre-tese sono prodotte in modo analogo alle lamelle ordinarie e sono impiegate principalmente per il rinforzo a flessione di travi e impalcati mediante un procedimento che prevede le seguenti operazioni:

- Fissaggio di organi di tiro alle due estremità dell'elemento da rinforzare.
- Preparazione del supporto su cui andrà incollata la lamella, perché sia perfettamente planare (con tolleranza pari a 5 mm su 2 m).
- Incollaggio delle lamelle al supporto.
- Serraggio delle lamelle negli organi di tiro.
- Applicazione del tiro alle estremità.
- Rimozione degli organi di tiro quando l'adesivo ha completato la sua stagionatura (24-48 h).

Dipendendo l'efficacia del rinforzo dal contenimento dello spessore della lamella, per applicazioni di incollaggio su superficie tesa, sono ammesse lamelle di spessore massimo pari a 2 mm. Non sono ammesse sovrapposizioni della lamella, saldature e/o piegature.
Lo spessore massimo dell'adesivo di supporto non deve essere superiore a 5 mm, (con eccezioni relative a riempimenti di buchi o avvallamenti di limitata estensione).
Si dovrà limitare la tensione massima di tiro fino al 50% della resistenza a trazione della lamella.
Il sistema di pretensione delle lamelle è costituito da piastre in acciaio dello spessore idoneo a resistere al carico di pretensione, che deve generalmente essere limitato; le piastre sono predisposte con fori e tasselli per il fissaggio, sabbiate SA 3 e trattate preventivamente contro la corrosione con specifico protettivo. Il sistema viene montato in opera sull'elemento da consolidare con l'ausilio di speciali adesivi epossidici approvati dal Produttore. Gli organi di tiro dovranno essere in grado di mantenere costante il tiro stesso per il tempo necessario all'indurimento dell'adesivo.
I materiali utilizzati per l'intervento, per le cui caratteristiche complete si rimanda ai paragrafi specifici, sono i seguenti:

- Adesivo epossidico utilizzato per l'incollaggio delle lamelle.
- Primer epossidico (se previsto)
- Rasatura epossidica (se prevista)
- Lamella in fibra di carbonio con eventuale sabbiatura superficiale sul lato non incollato.

28.3.2.4.2 Modalità di esecuzione

Preparazione del supporto.

- Nel caso di strutture degradate si procederà al ripristino secondo quanto indicato nell'art. 22.
- In caso di strutture non degradate la preparazione del supporto avverrà mediante sabbiatura o idrosabbiatura.
- Eventuali protuberanze superficiali del calcestruzzo dovranno essere levigate per ottenere una superficie perfettamente planare.
- Pulizia della superficie mediante aria compressa.
- Iniezione delle eventuali fessure presenti di ampiezza visibile ad occhio nudo (>0.3mm) con resina a bassa viscosità secondo le prescrizioni dell'art. 22.

- Montaggio degli organi di tiro alle due estremità dell'elemento da rinforzare impiegando adeguati perni di ancoraggio al supporto stesso per garantire il corretto trasferimento tensionale.

Applicazione del Primer epossidico (vedi §. 28.3.2.1.2).
Applicazione della Rasatura epossidica (vedi §. 28.3.2.1.2).
Applicazione delle lamelle

- Tagliare a misura la lamella con flessibile.
- Pulire accuratamente la superficie della lamella con diluente specifico.
- Stendere uno strato di adesivo epossidico sulla superficie della lamella che dovrà essere incollata al calcestruzzo.
- Stendere uno strato di adesivo epossidico sulla superficie del calcestruzzo dove andrà posta la lamella.
- Inserire le estremità della lamina negli afferraggi degli organi di tiro.
- Applicare il tiro in modo graduale e lento, con apposito rullo schiacciare la lamella contro il conglomerato facendo sì che la rasatura epossidica rifluisca, eliminando quindi eventuali bolle d'aria presenti sulla superficie di incollaggio.

Stagionatura

- Completata la fase di incollaggio, si dovrà proteggere il manufatto dagli agenti atmosferici con teli di plastica.

Rimozione del tiro (dopo non meno di 24-48 h in funzione della temperatura, scaricando lentamente il precarico e avendo cura di non danneggiare la lamella aderente al supporto).
Protezione dai raggi UV (vedi §. 28.3.2.1.2)
Si raccomanda di provvedere all'eliminazione, per quanto possibile, del carico accidentale durante le operazioni di rinforzo e nelle 24 ore successive. Non è generalmente consentito applicare il materiale se la temperatura ambiente è inferiore a 5°C, nè applicare il sistema su un supporto bagnato.

28.3.2.4.3 Caratteristiche prestazionali

Si riportano di seguito i valori dei principali parametri prestazionali delle lamelle pretese (valori riferiti al prodotto finito, la larghezza viene misurata con calibro centesimale, lo spessore, data la presenza della sabbiatura superficiale deve essere dichiarato dal Produttore; non devono essere considerati nella progettazione i valori riferiti al singolo filamento costituente la lamella).

	Lamina pretesa CFRP
Resistenza a trazione caratteristica (prova secondo ASTM D3039 o UNI-EN13706)	> 2400 MPa
Modulo Elastico medio a Trazione (prova secondo ASTM D3039 o UNI-EN13706)	> 160.000 MPa
Allungamento a rottura medio (prova secondo ASTM D3039 o UNI-EN13706)	> 1.4 %
Temperatura di transizione vetrosa (prova secondo ASTM E1356 o ASTM E1640)	> 120°C

Il sistema applicativo delle lamelle proposto deve possedere certificazione prestazionale, ottenuta sulla base di tests eseguiti presso laboratori ufficiali di Enti pubblici, Istituti Universitari europei e/o Enti di certificazioni europei riconosciuti dai rispettivi ministeri delle infrastrutture e dei trasporti, la cui documentazione dovrà essere trasmessa alla Direzione Lavori per preventiva approvazione. In particolare, dovrà essere prodotta certificazione attestante le caratteristiche dei materiali e di

resistenza a scorrimento all'interfaccia rinforzo-calcestruzzo, che permetta la classificazione del sistema come applicazione di Tipo A secondo la CNR DT 200.

28.4 Criteri di accettazione dei sistemi di rinforzo in FRCM

Per quanto riguarda materiali, tipologie di rinforzo, documenti di qualificazione, prove di aaccettazione e controlli in corso d'opera, si fa riferimento alle LG-FRCM.

28.4.1 Descrizione

I compositi FRCM presi in considerazione nella presente Linea Guida costituiscono sistemi o kit, costituiti esclusivamente da: matrice inorganica, rinforzo, eventuali connettori, dispositivi di ancoraggio, elementi angolari, eventuali additivi ed eventuali adesivi, da aggiungere secondo le istruzioni del Manuale di Preparazione e nel Manuale di Installazione. Il rinforzo può essere costituito da una rete ovvero da elementi monodirezionali organizzati su un supporto a rete (detta anche tessuto).
Il "sistema di rinforzo" in FRCM è realizzato in situ applicando alla struttura da consolidare il composito ed eventuali dispositivi di ancoraggio e/o speciali adesivi atti ad impedire il distacco prematuro del composito dal supporto. Può essere qualificato come sistema di rinforzo FRCM una singola rete di rinforzo annegata in uno spessore definito di malta, ovvero più reti in un unico spessore di malta sulla base di modalità definite dal Fabbricante.
I sistemi di rinforzo FRCM devono essere posti in commercio da un unico Fabbricante, che assume la responsabilità della dichiarazione delle prestazioni.
Nei sistemi di rinforzo FRCM la matrice inorganica, a base di cemento o di calce, nel seguito denominata anche malta, viene rinforzata con reti realizzate con fibre continue di una o più delle seguenti tipologie di materiali:

- acciaio ad alta resistenza;
- arammide;
- basalto;
- carbonio;
- poliparafenilenbenzobisoxazolo (nel seguito PBO);
- vetro AR.

28.4.2 Modalità di esecuzione

Alla documentazione di accompagnamento di ogni lotto di spedizione del sistema di rinforzo, il Fabbricante deve allegare il Manuale di preparazione dei prodotti di ciascun sistema di rinforzo, dove sono fornite le istruzioni operative per la corretta preparazione in opera dei componenti del sistema di rinforzo, nonché il Manuale di installazione dei prodotti di ciascun sistema di rinforzo, in cui sono fornite le Istruzioni operative per la corretta applicazione del sistema di rinforzo, con particolare riguardo ai trattamenti da porre in essere a carico del supporto preliminarmente all'installazione del sistema FRCM.
Nel Manuale di installazione deve essere indicato lo spessore massimo e minimo di utilizzo del sistema di rinforzo conformemente alle prescrizioni del progetto.
Per la preparazione del supporto salvo se diversamente specificato nel progetto o nel manuale installazione dei prodotti di ciascun sistema di riforzo sarà eseguita nella seguente modalità:

- Nel caso di strutture degradate si procederà al ripristino secondo quanto indicato nell'art. 22 e nel progetto esecutivo.
- In caso di strutture non degradate la preparazione del supporto avverrà mediante sabbiatura, idrosabbiatura o idropulizia a seconda del grado di pulizia della superficie.

- Eventuali protuberanze superficiali del calcestruzzo dovranno essere levigate per ottenere una superficie perfettamente planare.
- Pulizia della superficie mediante aria compressa.
- Iniezione delle eventuali fessure presenti di ampiezza visibile ad occhio nudo (>0.3mm) con resina a bassa viscosità secondo le prescrizioni dell'art. 22.

28.4.3 Caratteristiche prestazionali

Si riportano di seguito i valori dei principali parametri prestazionali della matrice inorganica del sistema di rinforzo con tessuti FRCM. Quest'ultima dovrà essere conforme alla UNI-EN 1504-3. I parametri relativi al tessuto sono da definire in funzione del tipo di fibra utilizzata.

	matrice inorganica
resistenza a compressione della matrice/malta a 28 giorni	> 40MPa
modulo elastico matrice inorganica	> 15 GPa
Resistenza a flesisone	> 4MPa

28.5 Prequalifica dei sistemi di rinforzo CFRP e FRCM

L'Appaltatore, almeno 10 giorni prima di impiegare i materiali, deve trasmettere alla Direzione Lavori per approvazione la seguente documentazione:

- marcatura CE od omologazine sulla base della pertinente ETA (Valutazione Tecnica Europea) oppure Certificato di Valutazione Tecnica rilasciato dal Presidente Superiore dei Lavori Pubblici (o: Certificato di Idoneità Tecnica da parte del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici) per ogni sistema di rinforzo proposto;
- schede tecniche con le condizioni climatiche limite di utilizzo e le modalità di posa dei materiali e, ove presente, marcatura CE, DoP. Per le caratteristiche prestazionali di cui ai §§ 28.3 e 28.4 non coperte da DoP, l'Appaltatore deve allegare anche i reletivi certificati eseguiti da un Laboratorio Ufficiale a dimostrazione della conformità dei valori prestazionali caratteristichi del lotto di produzione ottenuti da almeno 6 campioni i cui risultati devono essere conformi ai criteri di accettazione delle linee guida LG-FRP o LG-FRCM;
- il manuale di installazione dei sistemi di riforzo e una procedura operativa per la messa in opera dei materiali ove non chiaramente identificata nel citato manuale.
- La certificazione del sistema di controllo della produzione (FPC) e il Certificato UNI EN ISO 9001 del sistema di gestione qualità delle società produttrici dei sistemi di rinforzo;

28.6 Prove di accettazione

Prima dell'inizio dell'applicazione, l'Appaltatore dovrà fornire alla Direzione Lavori un prelievo di materiale (n°6 campioni di adeguata lunghezza) per eseguire, presso un laboratorio autorizzato, le prove di caratterizzazione meccanica seguenti:

- Resistenza a trazione, modulo elastico ed allungamento a rottura su sei spezzoni di barra, lamella o tessuto, con verifica che il valore caratteristico dichiarato dal Produttore sia minore o uguale al valore caratteristico ottenuto dalla prova di accettazione e in conformità ai criteri di accettazione delle linee guida LG-FRP o LG-FRCM .
- Per le barre, temperatura di transizione vetrosa > 250°C (barre CFRP) secondo ASTM E1356 o ASTM E1640 su tre spezzoni di barra in carbonio, con verifica che nessuno dei risultati sia minore del valore caratteristico dichiarato dal Produttore.
- resistenza a trazione dell'adesivo epossidico a 7 gg secondo ASTM D638;

- resistenza a compressione dell'adesivo epossidico a 7 gg secondo ASTM D695;

28.7 Controlli in corso d'opera e sulle opere finite

L'Appaltatore, in contraddittorio con la Direzione Lavori dovrà verificare attentamente che il supporto sia predisposto come previsto nei documenti progettuali e di qualfica e che i materiali abbiano le caratteristiche prestazionali richieste.
Tali verifiche dovranno essere estese anche in coso d'opera per verificare che tutte le fasi esecutive siano realizzate come previsto nel progetto, come indicato nel manuale di installazione e come riportato nelle schede tecniche dei singoli materiali approvati in fase di qualifica.
Le verifiche di cui sopra dovranno essere registrate, a cura dell'Appaltatore, in una scheda da trasmettere alla Direzione Lavori.
L'Appaltatore dovrà consegnare alla Direzione Lavori le dichiarazioni di conformità relative ad ogni singola consegna effettuata; in tale dichiarazione il produttore attesterà che il materiale fornito è prestazionalmente conforme a quanto dichiarato nella documentazione tecnica relativa al prodotto.

La Direzione Lavori, eseguirà altresì in corso dei lavori in contraddittorio con l'Appaltatore, le prove di caratterizzazione meccanica sui materiali prelevati in cantiere per ciascun tipo sistema di rinforzo realizzato con un minimo di n°1 prelievo (composto da n° 6 campioni di materiale di adeguata lunghezza) a mezzo di Laboratorio autorizzato.
In particolare, in caso di intervento con lamelle o con tessuti, si dovrà:

- Verificare l'aderenza tra sistema di rinforzo e struttura eseguendo una terna di prove distruttive di strappo secondo le modalità della UNI EN 1542,1015-12,1348 (modificate, essendo il supporto di riferimento quello del sito in esame e non la piastra standard di normativa) da eseguirsi dopo almeno 14 gg di stagionatura. Per eseguire tale verifica dovrà essere incollato uno spezzone di lamella o di tessuto di 30 cm di lunghezza in una zona della struttura non soggetta al rinforzo ma il cui supporto abbia caratteristiche meccaniche simili a quelle dell'elemento rinforzato. La prova consisterà nell'incollare successivamente tre piastrine metalliche (riquadri di acciaio di 40 mm di lato o dischi di alluminio di 50 mm di diametro) sulla lamella o sul tessuto e di sottoporli a strappo mediante martinetto di carico avente contrasto rigido ai bordi della piastrina metallica, previa esecuzione di incisione di idonea profondità (fino a raggiungere ed interessare il supporto) lungo il perimetro delle piastrine metalliche. La prova darà esito positivo se la rottura avviene nel supporto.
- Verificare che tutta la zona del rinforzo non presenti distacchi o bolle intrappolate nella matrice polimerica. Tale verifica può essere eseguita anche mediante leggera battitura con idoneo martello.

In funzione dell'importanza dell'intervento, potranno essere individuate prove più approfondite.

Art. 29 CAM - Misto granulare non legato per fondazione

29.1 Descrizione e campo di applicazione

Lo strato di fondazione in misto granulare è costituito da una miscela granulare non legata il cui assortimento granulometrico subisce un processo di stabilizzazione meccanica (o granulometrica). In termini di provenienza, il materiale granulare costituente la miscela potrà essere di tipo naturale (anche frantumato), riciclato o artificiale.

La miscela viene prodotta in impianti fissi o mobili che possono essere localizzati internamente o esternamente all'area di cantiere. Una volta prodotta e trasportata in cantiere, la miscela viene stesa generalmente sul piano di sottofondo e compattata con idonee attrezzature. Lo spessore finale dello strato compattato deve essere conforme a quanto previsto in progetto.

Le prescrizioni contenute nel presente articolo capitolato si applicano alle lavorazioni inerenti alla realizzazione dello strato di fondazione in misto granulare che in progetto si prevede di effettuare in conformità al D.M. 5 agosto 2024 così come aggiornato dal D.M.11 settembre 2025. Nei successivi paragrafi tali decreti verranno indicati sinteticamente come Decreto CAM Strade aggiornato (o per brevità DM CAM).

Le modalità di applicazione del Decreto CAM Strade aggiornato sono definite all'interno della Relazione CAM di progetto, all'interno degli elaborati di progetto riguardanti le pavimentazioni o comunque all'interno di questo articolo di Capitolato.

Tali prescrizioni sono da ritenersi valide per tutte le viabilità autostradali e per le viabilità interferite o compensative destinate ad essere consegnate al termine dei lavori alle Amministrazioni Locali.

29.2 Normativa di riferimento

Criteri Ambientali Minimi vigenti

- Decreto Ministeriale 5 agosto 2024 recante Criteri Ambientali Minimi per l'affidamento del servizio di progettazione ed esecuzione dei lavori di costruzione, manutenzione e adeguamento delle infrastrutture stradali.
- Decreto Ministeriale 11 settembre 2024 recante Modifiche all'allegato 1 del decreto 5 agosto 2024, recante «Criteri ambientali minimi per l'affidamento del servizio di progettazione ed esecuzione dei lavori di costruzione, manutenzione e adeguamento delle infrastrutture stradali- CAM Strade.

Aggregati riciclati – cessazione della qualifica di rifiuto

- Decreto del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare del 28 marzo 2018, n. 69 Regolamento recante disciplina della cessazione della qualifica di rifiuto di conglomerato bituminoso ai sensi dell'articolo 184-ter, comma 2 del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152. (G.U. Serie Generale n. 139 del 18-06-2018).
- Decreto del Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica n. 127 del 23 maggio 2024 recante "Regolamento concernente la disciplina per la gestione delle terre e rocce da scavo e la cessazione della qualifica di rifiuto per i rifiuti inerti da costruzione e demolizione"

Aggregati – norme tecniche

- UNI 11531-1 - Costruzione e manutenzione delle opere civili delle infrastrutture - Criteri per l'impiego dei materiali - Parte 1: Terre e miscele di aggregati non legati
- UNI EN 13242 - Aggregati per materiali non legati e legati con leganti idraulici per l'impiego in opere di ingegneria civile e nella costruzione di strade

Prove in sito

- CNR BU 146/1992 – Determinazione del Modulo di deformazione Md e Md' mediante prova di carico a doppio ciclo con piastra circolare.
- UNI EN 11272: Qualità del suolo – Determinazione della densità apparente a secco.

29.3 Criteri di accettazione della miscela e dei suoi materiali costituenti

In linea generale, i materiali di provenienza esterna dal cantiere o che l'Appaltatore approvvigionerà da terzi dovranno essere qualificati in conformità al Regolamento UE n°305/2011 sui prodotti da costruzione.

29.3.1 Aggregati

Indipendentemente dalla provenienza e dalla percentuale di impiego, ogni fornitura di aggregati che l'Appaltatore approvvigiona da terzi o che deriva da una campagna di recupero da lui stesso condotta dovrà essere corredata da marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA della UNI EN 13242 con sistema di attestazione di conformità 2+ inclusa di Dichiarazione di Prestazione (DoP). La certificazione CE e la DoP dovranno essere consegnati alla Direzione Lavori prima dell'inizio dei lavori e ad ogni cambio di lotto di aggregato.

Ad ogni modo, la Direzione Lavori ha la facoltà di richiedere tale documentazione in ogni fase delle lavorazioni.

I requisiti di idoneità tecnica degli impiegati utilizzabili sono riportati al § 0.

29.3.2 Miscela confezionata in impianto esterno all'area di cantiere

Ogni fornitura di miscela in ingresso al cantiere dovrà essere accompagnata da Documento di Trasporto corredato da rapporto di carico. Quest'ultimo dovrà essere compilato includendo i riferimenti agli aggregati utilizzati (che dovranno essere marcati CE secondo quanto riportato al 29.3.1), al loro proporzionamento, e alle caratteristiche compositive attestanti la conformità all'ultima miscela prequalificata secondo quanto riportato in questo articolo di Capitolato.

29.3.3 Miscela confezionata in impianto interno all'area di cantiere

Ogni fornitura di aggregati di provenienza esterna al cantiere dovrà essere accompagnata da marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA della UNI EN 13242 con sistema di attestazione di conformità 2+ inclusa di Dichiarazione di Prestazione (DOP).

Per quanto riguarda aggregati – da impiegare nelle miscele previste in progetto – provenienti da terre e rocce da scavo interne al cantiere, si rimanda a quanto previsto all'interno del Capitolato Ambientale e al Piano di Gestione Terre. Per ciò che concerne la loro idoneità tecnica, l'Appaltatore dovrà produrre, a suo onere, una relazione tecnica conforme alla UNI EN 13242 corredata da prove di laboratorio nella quale venga documentato il rispetto dei requisiti di questo articolo di Capitolato.

Per quanto riguarda aggregati – da impiegare nelle miscele previste in progetto – derivanti da attività di recupero attivate internamente al cantiere, l'Appaltatore dovrà produrre a suo onere idonea documentazione che ne attesti la conformità ambientale e l'idoneità tecnica ai sensi di quanto previsto in questo articolo di Capitolato (in conformità alla UNI EN 13242 e corredata da prove di laboratorio).

Per quanto concerne alla produzione della miscela in impianto interno al cantiere, l'Appaltatore (o comunque chi produce direttamente la miscela) dovrà provvedere a redigere una relazione inerente alla produzione giornaliera nella quale riporterà i dati relativi agli impasti prodotti indicando riferimenti agli aggregati utilizzati, al loro proporzionamento, e alle caratteristiche compositive attestanti la conformità all'ultima miscela prequalificata secondo quanto riportato in questo articolo di Capitolato.

La Direzione Lavori ha la facoltà di richiedere l'elaborazione di tale relazione con una frequenza diversa in funzione della quantità di miscela prodotta.

29.3.4 Controlli di accettazione materiali

L'Appaltatore dovrà sottoporre alla Direzione Lavori l'intera documentazione attestante le caratteristiche del materiale che intende utilizzare almeno 15 giorni prima dell'avvio dei lavori.
Durante i lavori, dovranno essere emessi nuovi certificati di prequalifica dei materiali costituenti la miscela e della miscela stessa ad ogni cambio di lotto di approvvigionamento o comunque secondo le frequenze riportate in tabella al § 29.8. Viene lasciata la facoltà alla Direzione Lavori di richiedere la modifica delle frequenze di campionamento e dei limiti di utilizzo oltre i quali ripetere la prequalifica dei materiali.
Qualora la Direzione Lavori accerti la non corrispondenza anche di una singola caratteristica richiesta, la DL stessa potrà non consentire l'impiego del materiale setto o potrà richiedere la predisposizione di correttivi, a cura e onere dell'Appaltatore, tali da rendere il materiale idoneo all'utilizzo.

29.4 Materia recuperata, riciclata e sottoprodotti ammessi e relativi quantitativi

In ottemperanza al Decreto CAM, le miscele per fondazione in misto granulare dovranno essere confezionate rispettando i limiti di materia riciclata recuperata e sottoprodotto (RRS) previsti in progetto o comunque in questo articolo di Capitolato.

29.4.1 Materiali RRS ammessi

I materiali di tipo RRS ammessi nella produzione delle miscele per strato di fondazione in misto granulare sono:

- **Materiali riciclati e recuperati e sottoprodotti**
    - gli aggregati riciclati derivanti da attività di costruzione e demolizione (C&D);
    - il conglomerato bituminoso di recupero (o fresato).
    - scoria nera da acciaieria a forno elettrico (qui indicata come scoria da acciaieria).

Secondo quanto riportato nell'art.183 del D.lgs.152/2006, gli aggregati derivanti dalle attività di costruzione e demolizione vengono classificati, a valle della cessazione della qualifica di rifiuto ai sensi dell'art. 184-ter e del DM 127/2024, come aggregati riciclati. Stessa definizione viene adottata in via tecnica dalla UNI EN 13242. Come già previsto nel DM 127/2024 (secondo cui viene determinata la cessazione della qualifica di rifiuto), l'idoneità tecnica dovrà essere determinata secondo i requisiti della UNI 11531-1 Prospetto 4b (Fondazione non legata).

Per quanto riguarda il conglomerato bituminoso di recupero, la cessazione della qualifica di rifiuto - con obiettivo di successivo reimpiego in strati di fondazione non legati - può avvenire sia attraverso l'applicazione del DM 69/2018 che del DM 127/2024. In entrambi i casi, a valle dell'avvenuta cessazione della qualifica di rifiuto, l'aggregato viene classificato come riciclato (tale definizione

viene mantenuta anche in via tecnica dalla UNI 13242). Qualora la cessazione della qualifica di rifiuto dovesse avvenire ai sensi del DM 69/2018 il reimpiego del CB di recupero dovrà comunque avvenire in conformità tecnica con i requisiti della UNI 11531-1 Prospetto 4b (Fondazione non legata). Le prove di caratterizzazione condotte sia sull'aggregato grosso che sul fine dovranno essere condotte sul conglomerato bituminoso inalterato, ossia senza effettuare alcuna estrazione di bitume (sulla "curva nera"). Si precisa che, quando viene sottoposto alle prove di qualifica previste all'interno di tale norma, l'aggregato derivante dal riciclo di conglomerati bituminoso non deve essere riscaldato oltre 50 °C. Ciò comporta un prolungamento dei tempi di essicazione previsti dalle norme per il raggiungimento della massa costante.

A valle della comprovata idoneità al recupero ambientale, il conglomerato bituminoso reimpiegato negli strati di fondazione granulare potrà provenire sia da viabilità autostradali che da altre viabilità senza distinzioni di strato di provenienza. Le modalità di gestione dei cumuli di conglomerato bituminoso vengono indicate al § 31.4.1.2 del presente Capitolato.

Previo utilizzo, sia il CB di recupero che l'aggregato da C&D dovranno essere soggetti a operazioni meccanica di frantumazione, granulazione e vagliatura. In entrambi i casi, è ammesso unicamente l'impiego di materiale interamente passante al setaccio 31,5 mm (U 31,5).

Tutte le operazioni/lavorazioni, gli atti amministrativi, le autorizzazioni necessarie per la cessazione di stato di rifiuto e successivo riutilizzo, dell'aggregato derivante da operazioni di costruzione e demolizione e del conglomerato bituminoso di recupero sono ad onere esclusivo dell'Appaltatore.

Le scorie da acciaieria sono classificabili sia come sottoprodotto (artt. 183 e 184-bis del D.lgs. 152/2006) che come materiale recuperato (art. 184-ter del D.lgs. 52/2006). Esse sono identificabili come aggregato artificiale ai sensi della UNI EN 13242 rispetto alla quale devono essere certificate. Il loro impiego è ammesso unicamente a valle di comprovata idoneità ambientale. Per tali scorie è ammesso unicamente l'impiego di materiale di classe granulometrica con dimensione (*d/D*) avente d maggiore o uguale a 4 mm.

I requisiti di idoneità tecnica degli aggregati di origine naturale e artificiale vengono riportati nel prospetto 3b della UNI 11531-1 fondazione non legata.

L'Appaltatore, a suo onere, avrà la facoltà di proporre alla Direzione Lavori l'utilizzo di ulteriori tipologie di materiale di tipo RRS L'idoneità tecnica dovrà essere comprovata da un campo prova eseguito a onere e spese dell'Appaltatore.

La Direzione Lavori a suo insindacabile giudizio potrà approvare o meno l'utilizzo del materiale.

29.4.2 Quantitativi di materia RRS ammessi

Stabiliti i materiali ammessi, la tabella successiva riporta i quantitativi minimi e massimi in peso consentiti per ciascun materiale RRS all'interno della miscela per fondazione in misto granulare.

Miscela	Quantitativo complessivo di materia RRS minimo ammesso da DM CAM [%]	Tipo di materia RRS ammessa	Quantitativo di ciascuna materia RRS ammesso [%]
≥50% (CB di recupero complessivo max 30%)		Aggregato riciclato da C&D	≥ 20%
		CB di recupero (o fresato)	≤ 30%
		Scorie da acciaieria	≤ 40%

Nella tabella di cui sopra, la colonna "Quantitativo complessivo di materia RRS ammesso [%]" riporta il contenuto complessivo di materia recuperata, riciclata e sottoprodotto che è possibile utilizzare nello strato. Accanto a questa, nella colonna "Quantitativo di ciascuna materia RRS ammesso [%]" vengono indicati i limiti di utilizzo relativi a ciascun tipo di materia RRS ammessa. Resta inteso che la restante parte di miscela viene costituita da materiale di primo impiego.

I quantitativi di minimo o massimo previsti possono essere ottenuti combinando una o più tipologia di materiale nel rispetto dei limiti previsti. Per quanto concerne il conglomerato bituminoso di recupero, il quantitativo massimo ammesso (anche proveniente da diverse frazioni, ad es. aggregato riciclato da C&D + CB di recupero) è pari al 30%.

L'Appaltatore avrà la facoltà di proporre alla Direzione Lavori, senza alcun onere aggiuntivo, una o più tipologie di miscela conformi al Capitolato con composizione differente da quella eventualmente prevista in progetto. La proposta alternativa non potrà in nessun caso prevedere quantitativi di conglomerato bituminoso di recupero superiori a quelli previsti in questo articolo di CSA. Tale proposta dovrà prevedere l'esecuzione di un campo prova, a onere dell'Appaltatore, che attesti preventivamente il raggiungimento dei requisiti prestazionali previsti in questo articolo di Capitolato. La Direzione Lavori, a suo insindacabile giudizio e sentito eventualmente anche il parere del progettista potrà accettare o meno la proposta presentata richiedendone, eventualmente, la riformulazione.

29.4.3 Modalità di certificazione del quantitativo di materia RRS ammesso

In base alle tipologie di materia RRS prevista, ai relativi quantitativi e alle modalità di certificazione indicate in progetto o comunque tra quelle previste dal DM CAM (§ 2.1.2), l'Appaltatore dovrà fornire alla Direzione Lavori il certificato del quantitativo di materia RRS previsto in ciascuna miscela in progetto. Stabilita la miscela e la modalità di certificazione, il certificato dovrà essere inserito come riferimento all'interno del rapporto di carico al § 29.3.2 o della relazione giornaliera al § 29.3.3.

29.5 Prequalifica, studio preliminare e controlli di accettazione

Una volta stabiliti i materiali ammessi all'impiego, la miscela dovrà essere confezionata in impianti fissi o mobili in grado di poter raggiungere i requisiti granulometrici e di densità previsti in questo articolo di Capitolato.

29.5.1 Curva granulometrica

L'assortimento granulometrico del materiale - determinato in volume ai sensi della norma UNI EN 933-1 – dovrà essere compreso nel seguente fuso e dovrà presentare andamento continuo e uniforme in maniera concorde con quello delle curve che delimitano il fuso.

Serie UNI EN 933-1	Passante totale in volume %
setaccio 63	100
setaccio 40	95-100
setaccio 31.5	75-100
setaccio 16	53-80
setaccio 8	36-66
setaccio 6.3	31-61
setaccio 2	16-39
setaccio 0.5	8-23
setaccio 0.063	3-10

In caso di utilizzo di conglomerato bituminoso di recupero, poiché il bitume presente nell'aggregato RA è parte solida integrante dei granuli, si deve fare riferimento alla distribuzione granulometrica dell'aggregato RA ante estrazione ("curva nera").

29.5.2 Caratteristiche di addensamento e portanza in laboratorio

Le caratteristiche di addensamento del misto granulare devono essere valutate attraverso la determinazione della curva di costipamento con energia Proctor Modificata (UNI EN 13286-2) al fine di individuare il valore dell'umidità ottimale di costipamento e il corrispondente valore della massima densità del secco ($\gamma_{d\,max}$).

L'indice di portanza CBR (UNI EN 13286-47) misurato sul materiale passante al setaccio 25 mm dopo quattro giorni di imbibizione in acqua deve risultare maggiore o uguale a 50. Tale requisito deve essere verificato per un intervallo dei valori di umidità di ± 2% rispetto all'umidità ottimale di costipamento. Il valore del rigonfiamento, valutato dopo quattro giorni di imbibizione in acqua, deve essere inferiore o uguale a 1%.

Entro 15 giorni dall'avvio dei Lavori, l'Appaltatore dovrà inviare il certificato di prequalifica della miscela riportante la composizione granulometrica, il valore di umidità Proctor, il valore della densità secca massima, il valore di CBR e di rigonfiamento.

29.5.3 Portanza in sito

La di portanza dello strato in opera dovrà essere determinata riferendosi al Modulo di deformazione (Md) misurato attraverso la prova di carico con piastra di diametro 30 cm facendo riferimento al livello di carico misurato nell'intervallo compreso tra 1,5 e 2,5 daN/cm² (B.U. CNR 146/92).

Per ogni tipologia di applicazione il valore minimo di modulo di deformazione Md è fissato pari a 100 MPa.

Qualora la verifica della portanza venga eseguita con la prova FWD sul pacchetto di pavimentazione finito, il modulo di deformazione Md deve essere calcolato con la seguente formula: Md=Ed/2 in cui Ed è il modulo dinamico dello strato.

29.6 Controlli di accettazione della miscela

L'Appaltatore dovrà sottoporre all'accettazione della Direzione Lavori, almeno 15 giorni prima dell'inizio delle attività, una relazione contenente tutte le informazioni atte a dimostrare il rispetto dei requisiti di accettazione dei singolo materiali e della miscela. Nello specifico è richiesto che tale relazione contenga:

- Una descrizione delle metodiche di produzione in fabbrica.
- La marcatura CE e DoP dei materiali costituenti la miscela
- La documentazione e i risultati di laboratorio che attestano il recupero ambientale dei materiali di origine riciclata
- Quantitativo e tipologia di materia RRS presente nella miscela con riferimento al certificato di cui al § 29.4.3.
- Determinazione della distribuzione granulometrica degli aggregati (UNI EN 933-1)
- Quantitativo di umidità ottimo, massa volumica secca massima Proctor
- Indice di portanza CBR e rigonfiamento
- L'indicazione del tipo di mezzi utilizzati per la stesa e la compattazione della miscela.

Le caratteristiche di accettazione della miscela di cui sopra sono da aggiornare ogni qualvolta cambino le fonti di approvigionamento dei materiali e gli impianti di produzione. Le prove sperimentali dovranno essere eseguite presso laboratori accreditati,e non deve precedere di oltre tre mesi la data di utilizzo del materiale. A tale studio l'Appaltatore è tenuto ad attenersi durante la realizzazione della stesa.

I requisiti d'accettazione saranno inoltre accertati con controlli della Direzione Lavori sia in cava o impianto, sia in corso d'opera prelevando il materiale in sito già miscelato, prima e dopo avere effettuato il costipamento.

La mancata presentazione della documentazione preliminare comporta la non autorizzazione all'inizio della esecuzione dei lavori, né saranno accettate eventuali lavorazioni svolte prima dell'approvazione delle documentazione di qualifica.

29.7 Modalità esecutive

La miscela dovrà essere prodotta in impianti fissi o mobili al fine di garantire il corretto proporzionamento dei costituenti ed un preciso dosaggio dell'acqua. Il contenuto d'acqua dovrà utilizzato dovrà essere pari a quello determinato mediante la prova Proctor descritta al § 29.5. La granulometria, prevista al § 29.5 dovrà essere mantenuta uniforme per l'intera produzione.

Il piano di posa dello strato deve avere le quote, la sagoma, i requisiti di compattezza ed essere ripulito da materiale estraneo.

Il materiale dovrà essere steso mediante finitrice o livellatrice in strati di spessore finito non superiore a 30 cm e non inferiore a 15 cm. Qualora si renda necessaria la correzione dell'umidità, l'aggiunta d'acqua dovrà essere effettuata mediante spruzzatori. La compattazione dovrà iniziare immediatamente dopo le operazioni di stesa e livellatura e dovrà essere eseguita mediante idonei rulli vibranti, rulli gommati o una combinazione dei due. L'idoneità dei rulli e le modalità di costipamento verranno accertate dalla Direzione Lavori tramite un campo prova sperimentale da individuare di concerto con l'impresa.

Ciascuno strato dovrà essere compattato fino al raggiungimento di almeno il 97% della densità massima determinata in laboratorio sulla miscela prequalificata (§29.5).

A valle della compattazione la superficie dello strato dovrà risulta deve presentare una superficie uniforme priva di segregazione dei suoi componenti.

Le operazioni di posa in opera non potranno essere eseguite quando le condizioni ambientali siano tali da alterare il contenuto d'acqua del materiale. Verificandosi comunque eccesso d'umidità o danni dovuti al gelo lo strato compromesso deve essere rimosso e ricostituito a cura e spese dell'Appaltatore.

In tutte le fasi esecutive, comprese le fasi di preparazione e di sistemazione finale delle aree, per gli aspetti e le problematiche relative a temi ambientali, quali impatti acustici e vibrazionali, emissioni in atmosfera, impatto sulle acque superficiali, sotterranee e sul suolo, impatti sulla componente fauna e vegetazione, si rimanda integralmente a quanto prescritto dalla Normativa Nazionale e Regionale vigente, alle prescrizioni degli Enti preposti alla tutela ambientale, nonché alle condizioni ambientali contenute nelle autorizzazioni ed alle disposizioni del Capitolato Ambientale allegato al progetto esecutivo.

29.8 Controlli in corso d'opera

Al fine di garantire il raggiungimento ed il mantenimento durante la produzione sia dei requisiti previsti in questo articolo di capitolato che delle prestazioni dello strato assunte in progettazione, sono previsti i seguenti controlli in corso d'opera.

1. Verifica topografica della sagoma e dello spessore di progetto della fondazione finita non legata rispetto alle previsioni progettuali prima di procedere con la posa degli strati successivi (a cura e onere dell'appaltatore). Il rilevo, ed ogni suo successivo aggiornamento, deve essere trasmesso al Direttore dei Lavori in formato dwg e rispettare i limiti di cui al § 29.7.
2. Verifica della conformità dei materiali utilizzati ai sensi di quanto riportato al paragrafo 29.3 di questo articolo di Capitolato.
3. Verifica delle caratteristiche della miscela prodotta in impianto definite al paragrafo 29.5.
4. Esecuzione delle prove di carico con piastra per verificare i requisiti di portanza definiti al paragrafo 29.5.3.
5. Misura della densità apparente a secco in sito per valutare il grado di addensamento (UNI EN 11272). I valori della densità apparente a secco in sito dovranno corrispondere almeno al 97% della massa volumica massima asciutta (prova Proctor standard) della miscela prequalificata più di recente.

Nella Tabella che segue vengono indicate la posizione e la frequenza dei controlli da eseguirsi in opera.

Tabella: Controlli in corso d'opera per lo strato di fondazione in misto granulare

Prova	Riferimento	Posizione	Frequenza	Criterio di verifica
Verifica topografica della sagoma	--	Al completamento della stesa dello strato	Ogni 500 m di stesa con un minimo di 3 punti di rilievo	Geometria di progetto
Conformità materiali riciclati utilizzati	UNI EN 11531-1	Prelievo all'impianto (prelievo su ciascun cumulo di materia riciclata)	Ogni 3.000 mc max (oppure ad ogni cambio di fornitura se Quantità<3000 mc)	Conformità all'utilizzo ai secondo la UNI EN 11531-1
Conformità materiali naturali o scorie utilizzati	UNI EN 11531-1	Prelievo all'impianto	Ogni 10.000 mc oppure ad ogni cambio di fornitura	Conformità all'utilizzo ai secondo la UNI EN 11531-1

Prova	Riferimento	Posizione	Frequenza	Criterio di verifica
Verifica delle caratteristiche della miscela	UNI EN 13286-2 UNI EN 13286-7	All'impianto	Ogni 10.000 mc	§ 29.5
Prove di carico con piastra	CNR BU 146/92	Superficie strato finito	Ogni 800 mc di strato finito compattato o produzione giornaliera	§ 29.5.3
Prova di densità in sito	UNI EN 11272	Superficie strato finito	Ogni 800 mc di strato finito compattato o produzione giornaliera	§ 29.7

In aggiunta alle prove di piastra, al completamento della posa di tutti gli strati di pavimentazione, potrà essere effettuata, a cura della Committente, la misura del modulo elastico misurato in condizioni dinamiche dello o degli strati di supporto sopra descritti, con un deflettometro a massa battente (Falling Weight Deflectometer-FWD ASTM D4694-09) dotato di trasduttori sismici di velocità (geofoni) che consentono la misura dei valori di deflessione in corrispondenza di 9 punti disposti longitudinalmente a distanza crescente dal centro della piastra di carico fino ad un massimo di 1800 mm.

Tale misura dovrà avvenire secondo le modalità descritte in seguito:

- la massa battente da usare e l'altezza di caduta verranno stabilite mediante prove da effettuare prima della misura, in modo da non lasciare deformazioni permanenti sotto la piastra; l'altezza di caduta o la massa battente, se ciò succede, dovranno essere ridotte fino ad avere una deformazione di tipo elastico;
- le misure verranno effettuate nelle condizioni stabilite al punto precedente, controllando che comunque anche in altre zone di prova non si abbia deformazione plastica; il MODULO ELASTICO DINAMICO dello strato di FONDAZIONE verrà calcolato interpretando le misure con un modello costituito da un multistrato elastico con sottofondo di spessore indefinito (Back-Analysis);
- l'affidabilità del retrocalcolo dovrà essere valutata attraverso il confronto tra il bacino di deflessione misurato e quello derivato dal retrocalcolo stesso. Si dovrà pertanto individuare l'errore quadratico medio percentuale (RMS) attraverso la seguente equazione:

$$RMS(\%) = 100 \cdot \sqrt{\frac{1}{9}\sum_{i=1}^{9}\left(\frac{d_{ci} - d_{mi}}{d_{mi}}\right)^2}$$

  - dove d_{mi} e d_{ci} sono rispettivamente la deflessione misurata e quella calcolata in corrispondenza dell'i-esimo geofono. Non saranno considerati accettabili valori di RMS superiori al 5%.
- la media dei valori di modulo dinamico ottenuto, espresso in MPa, elaborata su tronchi omogenei ottenuti con misure effettuate ogni 50 metri (o con cadenza più fitta per lavori di lunghezza ridotta, oppure su superfici di aspetto variabile), deve risultare maggiore o uguale a quello di Progetto e comunque superiore a quanto indicato al § 29.3.

29.9 Tolleranze di esecuzione e penali

È ammessa una tolleranza con penale per fusi di ± 5% fino al passante al setaccio UNI con apertura 6.3 mm e di ± 2% per il passante al setaccio UNI 2 mm ed inferiori, purché non siano superati i limiti

del fuso. Questa tolleranza è accettata solo se contenuta nel 10% del totale delle prove eseguite al termine dei lavori sulla singola WBS. La penale per il superamento dei fusi nei limiti indicati è pari al 10% dell'intera lavorazione da applicare alla superficie interessata dalla non conformità.
La superficie finita della sagoma della fondazione non deve scostarsi dalla sagoma di progetto di oltre ±1,5 cm. Lo spessore deve essere quello prescritto, con una tolleranza del ± 5% purché questa differenza si presenti solo saltuariamente. In caso contrario l'Appaltatore, a sua cura e spese, dovrà provvedere al raggiungimento dello spessore prescritto.
Per valori medi di portanza inferiori al 10% rispetto ai valori di progetto al misto granulare viene applicata una detrazione del 10% del prezzo. Per carenze comprese tra il 10 ed il 20% al misto granulare viene applicata una detrazione del 20% del prezzo, mentre per carenze superiori al 20%, il tratto considerato deve essere demolito e ricostruito a completa cura e onere dell'Appaltatore.

Art. 29 NO CAM - Misto granulare non legato per fondazione

29.1 Descrizione e campo di applicazione

Lo strato di fondazione in misto granulare è costituito da una miscela granulare non legata il cui assortimento granulometrico subisce un processo di stabilizzazione meccanica (o granulometrica). In termini di provenienza, il materiale granulare costituente la miscela potrà essere di tipo naturale (anche frantumato), riciclato o artificiale.

La miscela può prodotta in impianti fissi o mobili che possono essere localizzati internamente o esternamente all'area di cantiere. Una volta prodotta e trasportata in cantiere, la miscela viene stesa generalmente sul piano di sottofondo e compattata con idonee attrezzature. Lo spessore finale dello strato compattato deve essere conforme a quanto previsto in progetto e in questo articolo di Capitolato.

Le prescrizioni contenute nel presente articolo Capitolato si applicano alle lavorazioni inerenti alla realizzazione dello strato di fondazione in misto granulare per le quali in progetto non si prevede l'applicazione del D.M. 5 agosto 2024 così come modificato dal D.M.11 settembre 2025.

Tali prescrizioni sono da ritenersi valide per tutte le viabilità autostradali e per le viabilità interferite o compensative destinate ad essere consegnate al termine dei lavori alle Amministrazioni Locali.

29.2 Normativa di riferimento

Aggregati riciclati – cessazione della qualifica di rifiuto

- Decreto del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare del 28 marzo 2018, n. 69 Regolamento recante disciplina della cessazione della qualifica di rifiuto di conglomerato bituminoso ai sensi dell'articolo 184-ter, comma 2 del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152. (G.U. Serie Generale n. 139 del 18-06-2018).
- Decreto del Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica n. 127 del 23 maggio 2024 recante "Regolamento concernente la disciplina per la gestione delle terre e rocce da scavo e la cessazione della qualifica di rifiuto per i rifiuti inerti da costruzione e demolizione"

Aggregati – norme tecniche

- UNI 11531-1 - Costruzione e manutenzione delle opere civili delle infrastrutture - Criteri per l'impiego dei materiali - Parte 1: Terre e miscele di aggregati non legati
- UNI EN 13242 - Aggregati per materiali non legati e legati con leganti idraulici per l'impiego in opere di ingegneria civile e nella costruzione di strade

Prove in sito

- CNR BU 146/1992 – Determinazione del Modulo di deformazione Md e Md' mediante prova di carico a doppio ciclo con piastra circolare.
- UNI EN 11272: Qualità del suolo – Determinazione della densità apparente a secco.

29.3 Criteri di accettazione della miscela e dei suoi materiali costituenti

In linea generale, i materiali di provenienza esterna dal cantiere o che l'Appaltatore approvvigionerà da terzi dovranno essere qualificati in conformità al Regolamento UE n°305/2011 sui prodotti da costruzione.

29.3.1 Aggregati

Indipendentemente dalla provenienza e dalla percentuale di impiego, ogni fornitura di aggregati che l'Appaltatore approvvigiona da terzi o che deriva unicamente da una campagna di recupero da lui stesso condotta dovrà essere corredata da marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA della UNI EN 13242 con sistema di attestazione di conformità 2+ inclusa di Dichiarazione di Prestazione (DoP). La certificazione CE e la DoP dovranno essere consegnati alla Direzione Lavori prima dell'inizio dei lavori e ad ogni cambio di lotto di aggregato.

Ad ogni modo, la Direzione Lavori ha la facoltà di richiedere tale documentazione in ogni fase delle lavorazioni.

I requisiti di idoneità tecnica degli impiegati utilizzabili sono riportati al § 0.

29.3.2 Miscela confezionata in impianto esterno all'area di cantiere

Ogni fornitura di miscela in ingresso al cantiere dovrà essere accompagnata da Documento di Trasporto corredato da rapporto di carico. Quest'ultimo dovrà essere compilato includendo i riferimenti agli aggregati utilizzati (che dovranno essere marcati CE secondo quanto riportato al 29.3.1), al loro proporzionamento, e alle caratteristiche compositive attestanti la conformità all'ultima miscela prequalificata secondo quanto riportato in questo articolo di Capitolato.

29.3.3 Miscela confezionata in impianto interno all'area di cantiere

Ogni fornitura di aggregati di provenienza esterna al cantiere dovrà essere accompagnata da marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA della UNI EN 13242 con sistema di attestazione di conformità 2+ inclusa di Dichiarazione di Prestazione (DOP).

Per quanto riguarda aggregati – da impiegare nelle miscele previste in progetto – provenienti da terre e rocce da scavo interne al cantiere, si rimanda a quanto previsto all'interno del Capitolato Ambientale e al Piano di Gestione Terre. Per ciò che concerne la loro idoneità tecnica, l'Appaltatore dovrà produrre, a suo onere, una relazione tecnica conforme alla UNI EN 13242 corredata da prove di laboratorio nella quale venga documentato il rispetto dei requisiti di questo articolo di Capitolato.

Per quanto riguarda aggregati – da impiegare nelle miscele previste in progetto – derivanti da attività di recupero attivate internamente al cantiere, l'Appaltatore dovrà produrre a suo onere idonea documentazione che ne attesti la conformità ambientale e l'idoneità tecnica ai sensi di quanto previsto in questo articolo di Capitolato (in conformità alla UNI EN 13242 e corredata da prove di laboratorio).

Per quanto concerne alla produzione della miscela in impianto interno al cantiere, l'Appaltatore (o comunque chi produce direttamente la miscela) dovrà provvedere a redigere una relazione inerente alla produzione giornaliera nella quale riporterà i dati relativi agli impasti prodotti indicando riferimenti agli aggregati utilizzati, al loro proporzionamento, e alle caratteristiche compositive attestanti la conformità all'ultima miscela prequalificata secondo quanto riportato in questo articolo di Capitolato.

La Direzione Lavori ha la facoltà di richiedere l'elaborazione di tale relazione con una frequenza diversa in funzione della quantità di miscela prodotta.

29.3.4 Controlli di accettazione materiali

L'Appaltatore dovrà sottoporre alla Direzione Lavori l'intera documentazione attestante le caratteristiche del materiale che intende utilizzare almeno 15 giorni prima dell'avvio dei lavori.
Durante i lavori, dovranno essere emessi nuovi certificati di prequalifica dei materiali costituenti la miscela e della miscela stessa ad ogni cambio di lotto di approvvigionamento o comunque secondo le frequenze riportate in tabella al § 29.8. Viene lasciata la facoltà alla Direzione Lavori di richiedere la modifica delle frequenze di campionamento e dei limiti di utilizzo oltre i quali ripetere la prequalifica dei materiali.
Qualora la Direzione Lavori accerti la non corrispondenza anche di una singola caratteristica richiesta, la DL stessa potrà non consentire l'impiego del materiale setto o potrà richiedere la predisposizione di correttivi, a cura e onere dell'Appaltatore, tali da rendere il materiale idoneo all'utilizzo.

29.4 Materiali ammessi nel confezionamento della miscela

A meno di specifiche indicazioni previste in progetto esecutivo, le miscele per fondazione in misto granulare dovranno essere confezionate utilizzando materiali di primo impiego oppure una combinazione di questi con materiali recuperati, riciclati e sottoprodotti (RRS), rispettando i requisiti e le modalità di impiego previste eventualmente in progetto o comunque in questo articolo di Capitolato.

29.4.1 Materiali RRS ammessi

I materiali di tipo RRS ammessi nella produzione delle miscele per strato di fondazione in misto granulare sono gli aggregati riciclati derivanti da attività di costruzione e demolizione (C&D), il conglomerato bituminoso di recupero (o fresato) e la scoria nera da acciaieria a forno elettrico (qui indicata come scoria da acciaieria).

Secondo quanto riportato nell'art.183 del D.lgs.152/2006, gli aggregati derivanti dalle attività di costruzione e demolizione vengono classificati, a valle della cessazione della qualifica di rifiuto ai sensi dell'art. 184-ter e del DM 127/2024, come aggregati riciclati. Stessa definizione viene adottata in via tecnica dalla UNI EN 13242. Come già previsto nel DM 127/2024 (secondo cui viene determinata la cessazione della qualifica di rifiuto), l'idoneità tecnica dovrà essere determinata secondo i requisiti della UNI 11531-1 Prospetto 4b (Fondazione non legata).

Per quanto riguarda il conglomerato bituminoso di recupero, la cessazione della qualifica di rifiuto - con obiettivo di successivo reimpiego in strati di fondazione non legati - può avvenire sia attraverso l'applicazione del DM 69/2018 che del DM 127/2024. In entrambi i casi, a valle dell'avvenuta cessazione della qualifica di rifiuto, l'aggregato viene classificato come riciclato (tale definizione viene mantenuta anche in via tecnica dalla UNI 13242). Qualora la cessazione della qualifica di rifiuto dovesse avvenire ai sensi del DM 69/2018 il reimpiego del CB di recupero dovrà comunque avvenire in conformità tecnica con i requisiti della UNI 11531-1 Prospetto 4b (Fondazione non legata). Le prove di caratterizzazione condotte sia sull'aggregato grosso che sul fine dovranno essere condotte sul conglomerato bituminoso inalterato, ossia senza effettuare alcuna estrazione di bitume (sulla "curva nera"). Si precisa che, quando viene sottoposto alle prove di qualifica previste all'interno di tale norma, l'aggregato derivante dal riciclo di conglomerati bituminoso non deve essere

riscaldato oltre 50 °C. Ciò comporta un prolungamento dei tempi di essicazione previsti dalle norme per il raggiungimento della massa costante.

A valle della comprovata idoneità al recupero ambientale, il conglomerato bituminoso reimpiegato negli strati di fondazione granulare potrà provenire sia da viabilità autostradali che da altre viabilità senza distinzioni di strato di provenienza. Le modalità di gestione dei cumuli di conglomerato bituminoso vengono indicate al § 31.4.1.2 del presente Capitolato.

Previo utilizzo, sia il CB di recupero che l'aggregato da C&D dovranno essere soggetti a operazioni meccanica di frantumazione, granulazione e vagliatura. In entrambi i casi, è ammesso unicamente l'impiego di materiale interamente passante al setaccio 31,5 mm (U 31,5).

Tutte le operazioni/lavorazioni, gli atti amministrativi, le autorizzazioni necessarie per la cessazione di stato di rifiuto e successivo riutilizzo, dell'aggregato derivante da operazioni di costruzione e demolizione e del conglomerato bituminoso di recupero sono ad onere esclusivo dell'Appaltatore.

Le scorie da acciaieria sono invece classificabili come sottoprodotto ai sensi dell'art. 183 e 184-bis del suddetto D.lgs. e sono identificabili come aggregato artificiale ai sensi della UNI EN 13242 rispetto alla quale devono essere certificate. Il loro impiego è ammesso unicamente a valle di comprovata idoneità ambientale.

Per tali scorie è ammesso unicamente l'impiego di materiale di classe granulometrica con dimensione (*d/D*) avente d maggiore o uguale a 4 mm.

I requisiti di idoneità tecnica degli aggregati di origine naturale e artificiale vengono riportati nel prospetto 3b della UNI 11531-1 fondazione non legata.

L'Appaltatore, a suo onere, avrà la facoltà di proporre alla Direzione Lavori l'utilizzo di ulteriori tipologie di materiale di tipo RRS di comprovata idoneità ambientale e tecnica secondo i requisiti riportati in questo articolo di Capitolato. L'idoneità tecnica dovrà essere comprovata da un campo prova eseguito a onere e spese dell'Appaltatore.

La Direzione Lavori a suo insindacabile giudizio potrà approvare o meno l'utilizzo del materiale.

29.4.2 Quantitativi di materiali ammessi

Stabiliti i materiali ammessi, la tabella successiva riporta i quantitativi in peso ammessi per ciascun materiale RRS all'interno della miscela per fondazione.

Miscela	Materiale ammesso	Quantitativo massimo ammesso [% in peso]
Fondazione in misto granulare	Aggregato naturale di primo impiego	100%
	Aggregato riciclato da C&D	100%
	CB di recupero	30%
	Scorie da acciaieria	40%

L'Appaltatore avrà la possibilità di combinare una o più tipologie di materiali previsti nella tabella sopra nel rispetto delle percentuali ivi indicate, di quanto eventualmente previsto in progetto e nel rispetto degli altri requisiti di questo articolo di Capitolato. Il quantitativo complessivo di CB di recupero non potrà in alcun caso superare il 30% in peso della miscela.

L'Appaltatore avrà inoltre la facoltà di proporre alla Direzione Lavori, senza alcun onere aggiuntivo, una o più tipologie di miscela conformi al Capitolato con composizione differente da quella

eventualmente prevista in progetto. La proposta alternativa non potrà in nessun caso prevedere quantitativi di conglomerato bituminoso di recupero superiori a quelli previsti in questo articolo di CSA. Tale proposta dovrà prevedere l'esecuzione di un campo prova, a onere dell'Appaltatore, che attesti preventivamente il raggiungimento dei requisiti prestazionali previsti in questo articolo di Capitolato. La Direzione Lavori, a suo insindacabile giudizio e sentito eventualmente anche il parere del progettista potrà accettare o meno la proposta presentata richiedendone, eventualmente, la riformulazione.

29.5 Prequalifica, studio preliminare e controlli di accettazione

Una volta stabiliti i materiali ammessi all'impiego, la miscela dovrà essere confezionata in impianti fissi o mobili in grado di poter raggiungere i requsiti granulometrici e di densità previsti in questo articolo di Capitolato.

29.5.1 Curva granulometrica

L'assortimento granulometrico del materiale - determinato in volume ai sensi della norma UNI EN 933-1 – dovrà essere compreso nel seguente fuso e dovrà presentare andamento continuo e uniforme in maniera concorde con quello delle curve che delimitano il fuso.

Serie UNI EN 933-1	Passante totale in volume %
setaccio 63	100
setaccio 40	95-100
setaccio 31.5	75-100
setaccio 16	53-80
setaccio 8	36-66
setaccio 6.3	31-61
setaccio 2	16-39
setaccio 0.5	8-23
setaccio 0.063	3-10

In caso di utilizzo di conglomerato bituminoso di recupero, poiché il bitume presente nell'aggregato RA è parte solida integrante dei granuli, si deve fare riferimento alla distribuzione granulometrica dell'aggregato RA ante estrazione ("curva nera").

29.5.2 Caratteristiche di addensamento e portanza in laboratorio

Le caratteristiche di addensamento del misto granulare devono essere valutate attraverso la determinazione della curva di costipamento con energia Proctor Modificata (UNI EN 13286-2) al fine di individuare il valore dell'umidità ottimale di costipamento e il corrispondente valore della massima densità del secco ($\gamma_{d\,max}$).

L'indice di portanza CBR (UNI EN 13286-47) misurato sul materiale passante al setaccio 25 mm dopo quattro giorni di imbibizione in acqua deve risultare maggiore o uguale a 50. Tale requisito deve essere verificato per un intervallo dei valori di umidità di ± 2% rispetto all'umidità ottimale di costipamento. Il valore del rigonfiamento, valutato dopo quattro giorni di imbibizione in acqua, deve essere inferiore o uguale a 1%.

Entro 15 giorni dall'avvio dei Lavori, l'Appaltatore dovrà inviare il certificato di prequalifica della miscela riportante la composizione granulometrica, il valore di umidità Proctor, il valore della densità secca massima, il valore di CBR e di rigonfiamento.

29.5.3 Portanza in sito

La di portanza dello strato in opera dovrà essere determinata riferendosi al Modulo di deformazione (Md) misurato attraverso la prova di carico con piastra di diametro 30 cm facendo riferimento al livello di carico misurato nell'intervallo compreso tra 1,5 e 2,5 daN/cm² (B.U. CNR 146/92).

Per ogni tipologia di applicazione il valore minimo di modulo di deformazione Md è fissato pari a 100 MPa.

Qualora la verifica della portanza venga eseguita con la prova FWD sul pacchetto di pavimentazione finito, il modulo di deformazione Md deve essere calcolato con la seguente formula: Md=Ed/2 in cui Ed è il modulo dinamico dello strato.

29.6 Controlli di accettazione della miscela

L'Appaltatore dovrà sottoporre all'accettazione della Direzione Lavori, almeno 15 giorni prima dell'inizio delle attività, una relazione contenente tutte le informazioni atte a dimostrare il rispetto dei requisiti di accettazione dei singolo materiali e della miscela. Nello specifico è richiesto che tale relazione contenga:

- Una descrizione delle metodiche di produzione in fabbrica.
- La marcatura CE e DoP dei materiali costituenti la miscela
- La documentazione e i risultati di laboratorio che attestano il recupero ambientale dei materiali di origine riciclata
- Quantitativo e tipologia di materia RRS presente nella miscela
- Determinazione della distribuzione granulometrica degli aggregati (UNI EN 933-1)
- Quantitativo di umidità ottimo, massa volumica secca massima Proctor
- Indice di portanza CBR e rigonfiamento
- L'indicazione del tipo di mezzi utilizzati per la stesa e la compattazione della miscela.

Le caratteristiche di accettazione della miscela di cui sopra sono da aggiornare ogni qualvolta cambino le fonti di approvigionamento dei materiali e gli impianti di produzione. Le prove sperimentali dovranno essere eseguite presso laboratori accreditati,e non deve precedere di oltre tre mesi la data di utilizzo del materiale. A tale studio l'Appaltatore è tenuto ad attenersi durante la realizzazione della stesa.
I requisiti d'accettazione saranno inoltre accertati con controlli della Direzione Lavori sia in cava o impianto, sia in corso d'opera prelevando il materiale in sito già miscelato, prima e dopo avere effettuato il costipamento.
La mancata presentazione della documentazione preliminare comporta la non autorizzazione all'inizio della esecuzione dei lavori, né saranno accettate eventuali lavorazioni svolte prima dell'approvazione delle documentazione di qualifica.

29.7 Modalità esecutive

La miscela dovrà essere prodotta in impianti fissi o mobili al fine di garantire il corretto proporzionamento dei costituenti ed un preciso dosaggio dell'acqua. Il contenuto d'acqua dovrà

utilizzato dovrà essere pari a quello determinato mediante la prova Proctor descritta al § 29.5. La granulometria, prevista al § 29.5 dovrà essere mantenuta uniforme per l'intera produzione.

Il piano di posa dello strato deve avere le quote, la sagoma, i requisiti di compattezza ed essere ripulito da materiale estraneo.

Il materiale dovrà essere steso mediante finitrice o livellatrice in strati di spessore finito non superiore a 30 cm e non inferiore a 15 cm. Qualora si renda necessaria la correzione dell'umidità, l'aggiunta d'acqua dovrà essere effettuata mediante spruzzatori. La compattazione dovrà iniziare immediatamente dopo le operazioni di stesa e livellatura e dovrà essere eseguita mediante idonei rulli vibranti, rulli gommati o una combinazione dei due. L'idoneità dei rulli e le modalità di costipamento verranno accertate dalla Direzione Lavori tramite un campo prova sperimentale da individuare di concerto con l'impresa.

Ciascuno strato dovrà essere compattato fino al raggiungimento di almeno il 97% della densità massima determinata in laboratorio sulla miscela prequalificata (§29.5).

A valle della compattazione la superficie dello strato dovrà risulta deve presentare una superficie uniforme priva di segregazione dei suoi componenti.

Le operazioni di posa in opera non potranno essere eseguite quando le condizioni ambientali siano tali da alterare il contenuto d'acqua del materiale. Verificandosi comunque eccesso d'umidità o danni dovuti al gelo lo strato compromesso deve essere rimosso e ricostituito a cura e spese dell'Appaltatore.

In tutte le fasi esecutive, comprese le fasi di preparazione e di sistemazione finale delle aree, per gli aspetti e le problematiche relative a temi ambientali, quali impatti acustici e vibrazionali, emissioni in atmosfera, impatto sulle acque superficiali, sotterranee e sul suolo, impatti sulla componente fauna e vegetazione, si rimanda integralmente a quanto prescritto dalla Normativa Nazionale e Regionale vigente, alle prescrizioni degli Enti preposti alla tutela ambientale, nonché alle condizioni ambientali contenute nelle autorizzazioni ed alle disposizioni del Capitolato Ambientale allegato al progetto esecutivo.

29.8 Controlli in corso d'opera

Al fine di garantire il raggiungimento ed il mantenimento durante la produzione sia dei requisiti previsti in questo articolo di capitolato che delle prestazioni dello strato assunte in progettazione, sono previsti i seguenti controlli in corso d'opera.

6. Verifica topografica della sagoma e dello spessore di progetto della fondazione finita non legata rispetto alle previsioni progettuali prima di procedere con la posa degli strati successivi (a cura e onere dell'appaltatore). Il rilevo, ed ogni suo successivo aggiornamento, deve essere trasmesso al Direttore dei Lavori in formato dwg e rispettare i limiti di cui al § 29.7.
7. Verifica della conformità dei materiali utilizzati ai sensi di quanto riportato al paragrafo 29.3 di questo articolo di Capitolato.
8. Verifica delle caratteristiche della miscela prodotta in impianto definite al paragrafo 29.5.
9. Esecuzione delle prove di carico con piastra per verificare i requisiti di portanza definiti al paragrafo 29.5.3.
10. Misura della densità apparente a secco in sito per valutare il grado di addensamento (UNI EN 11272). I valori della densità apparente a secco in sito dovranno corrispondere almeno al 97% della massa volumica massima asciutta (prova Proctor standard) della miscela prequalificata più di recente.

Nella Tabella che segue vengono indicate la posizione e la frequenza dei controlli da eseguirsi in opera.

Tabella: Controlli in corso d'opera per lo strato di fondazione in misto granulare

Prova	Riferimento	Posizione	Frequenza	Criterio di verifica
Verifica topografica della sagoma	--	Al completamento della stesa dello strato	Ogni 500 m di stesa con un minimo di 3 punti di rilievo	Geometria di progetto
Conformità materiali riciclati utilizzati	UNI EN 11531-1	Prelievo all'impianto (prelievo su ciascun cumulo di materia riciclata)	Ogni 3.000 mc max (oppure ad ogni cambio di fornitura se Quantità<3000 mc)	Conformità all'utilizzo ai secondo la UNI EN 11531-1
Conformità materiali naturali o scorie utilizzati	UNI EN 11531-1	Prelievo all'impianto	Ogni 10.000 mc oppure ad ogni cambio di fornitura	Conformità all'utilizzo ai secondo la UNI EN 11531-1
Verifica delle caratteristiche della miscela	UNI EN 13286-2 UNI EN 13286-7	All'impianto	Ogni 10.000 mc	§ 29.5
Prove di carico con piastra	CNR BU 146/92	Superficie strato finito	Ogni 800 mc di strato finito compattato o produzione giornaliera	§ 29.5.3
Prova di densità in sito	UNI EN 11272	Superficie strato finito	Ogni 800 mc di strato finito compattato o produzione giornaliera	§ 29.7

In aggiunta alle prove di piastra, al completamento della posa di tutti gli strati di pavimentazione, potrà essere effettuata, a cura della Committente, la misura del modulo elastico misurato in condizioni dinamiche dello o degli strati di supporto sopra descritti, con un deflettometro a massa battente (Falling Weight Deflectometer-FWD ASTM D4694-09) dotato di trasduttori sismici di velocità (geofoni) che consentono la misura dei valori di deflessione in corrispondenza di 9 punti disposti longitudinalmente a distanza crescente dal centro della piastra di carico fino ad un massimo di 1800 mm.

Tale misura dovrà avvenire secondo le modalità descritte in seguito:

- la massa battente da usare e l'altezza di caduta verranno stabilite mediante prove da effettuare prima della misura, in modo da non lasciare deformazioni permanenti sotto la piastra; l'altezza di caduta o la massa battente, se ciò succede, dovranno essere ridotte fino ad avere una deformazione di tipo elastico;
- le misure verranno effettuate nelle condizioni stabilite al punto precedente, controllando che comunque anche in altre zone di prova non si abbia deformazione plastica; il MODULO ELASTICO DINAMICO dello strato di FONDAZIONE verrà calcolato interpretando le misure con un modello costituito da un multistrato elastico con sottofondo di spessore indefinito (Back-Analysis);

- l'affidabilità del retrocalcolo dovrà essere valutata attraverso il confronto tra il bacino di deflessione misurato e quello derivato dal retrocalcolo stesso. Si dovrà pertanto individuare l'errore quadratico medio percentuale (RMS) attraverso la seguente equazione:

$$RMS(\%) = 100 \cdot \sqrt{\frac{1}{9}\sum_{i=1}^{9}\left(\frac{d_{ci} - d_{mi}}{d_{mi}}\right)^2}$$

  - dove d_{mi} e d_{ci} sono rispettivamente la deflessione misurata e quella calcolata in corrispondenza dell'i-esimo geofono. Non saranno considerati accettabili valori di RMS superiori al 5%.
- la media dei valori di modulo dinamico ottenuto, espresso in MPa, elaborata su tronchi omogenei ottenuti con misure effettuate ogni 50 metri (o con cadenza più fitta per lavori di lunghezza ridotta, oppure su superfici di aspetto variabile), deve risultare maggiore o uguale a quello di Progetto e comunque superiore a quanto indicato al § 29.3.

29.9 Tolleranze di esecuzione e penali

È ammessa una tolleranza con penale per fusi di ± 5% fino al passante al setaccio UNI con apertura 6.3 mm e di ± 2% per il passante al setaccio UNI 2 mm ed inferiori, purché non siano superati i limiti del fuso. Questa tolleranza è accettata solo se contenuta nel 10% del totale delle prove eseguite al termine dei lavori sulla singola WBS. La penale per il superamento dei fusi nei limiti indicati è pari al 10% dell'intera lavorazione da applicare alla superficie interessata dalla non conformità.
La superficie finita della sagoma della fondazione non deve scostarsi dalla sagoma di progetto di oltre ±1,5 cm. Lo spessore deve essere quello prescritto, con una tolleranza del ± 5% purché questa differenza si presenti solo saltuariamente. In caso contrario l'Appaltatore, a sua cura e spese, dovrà provvedere al raggiungimento dello spessore prescritto.
Per valori medi di portanza inferiori al 10% rispetto ai valori di progetto al misto granulare viene applicata una detrazione del 10% del prezzo. Per carenze comprese tra il 10 ed il 20% al misto granulare viene applicata una detrazione del 20% del prezzo, mentre per carenze superiori al 20%, il tratto considerato deve essere demolito e ricostruito a completa cura e onere dell'Appaltatore.

Art. 30 CAM - Fondazioni legate e strati di base/sottobase legati a freddo

30.1 Descrizione e campo di applicazione

Il miglioramento delle caratteristiche meccaniche della miscela granulare di fondazione può avvenire attraverso diverse tecniche di stabilizzazione.

La stabilizzazione meccanica della miscela prevede prevalentemente la correzione granulometrica della porzione fine della curva e, in tal caso, il materiale viene considerato un misto granulare stabilizzato.

Sia sul misto granulare stabilizzato, che su altre tipologie di miscele di aggregati, possono essere condotte altre due tipologie di stabilizzazione basate sull'impiego di leganti di natura idraulica (prevalentemente cemento) o idrocarburica (prodotti bituminosi) che possono essere usati anche in maniera combinata. Questo tipo di stabilizzazione modifica in maniera significativa la risposta del materiale rendendolo reagente a trazione e quindi suscettibile a fenomeni fessurativi oltre che deformativi.

Quando la stabilizzazione avviene utilizzando unicamente legante cementizio la miscela per fondazione viene definita *fondazione in misto cementato*. Questo tipo di miscela può essere prodotta interamente o da aggregati di primo impiego (naturali o frantumati), o da aggregati di primo impiego miscelati con una percentuale di materiali riciclati di diversa provenienza, oppure può essere prodotta da aggregati interamente o prevalentemente di origine riciclata che possono essere integrati con una percentuale più o meno ridotta di aggregati di primo impiego. In questo ultimo caso ci si riferisce alla *fondazione riciclata in misto cementato*.

La fondazione in misto cementato viene tipicamente impiegata nelle sovrastrutture di tipo semirigido disposta a diretto contatto con il sottofondo o con uno strato di fondazione stabilizzato granulometricamente. Essa assolve principalmente alla funzione di dissipare i carichi da traffico riducendo lo stato tensionale trasferito agli strati sottostanti e al sottofondo.

Le miscele in misto cementato possono essere prodotte in impianti fissi o mobili localizzati internamente o esternamente all'area di cantiere. In questi impianti possono essere prodotte tutte e tre le tipologie di miscele prima indicate in funzione del bilanciamento tra materia di primo impiego e materia riciclata.

La miscela in misto cementato può altresì essere prodotta direttamente lungo il tracciato della pavimentazione oggetto di intervento (*in situ*) attraverso tecniche di riciclaggio prevedono l'utilizzo di macchinari mobili definito treno di riciclaggio. Questo tipo di lavorazione ha l'obbiettivo di rinnovare la capacità portante della sovrastruttura massimizzando il reimpiego del materiale derivante dalla demolizione della pavimentazione oggetto di intervento. Pertanto, in questo caso ci si riferisce prettamente alla *fondazione in misto cementato riciclata in sito*.

In questo articolo di Capitolato, le lavorazioni relative alla fondazione in misto cementato prodotta in impianto vengono descritte al paragrafo 30.3 mentre quelle relative alla fondazione in misto cementato riciclata in sito vengono descritte al paragrafo 30.4.

La stabilizzazione con leganti di natura idrocarburica avviene mediante l'impiego di leganti bituminosi utilizzati (generalmente) insieme al legante cementizio. I due leganti vengono proporzionati con lo scopo controllare la rigidezza, la suscettività termica e resistenza a fessurazione dello strato. I leganti bituminosi utilizzati per gli strati di fondazione previsti in questo articolo di Capitolato sono il bitume schiumato e l'emulsione bituminosa i cui requisiti vengono riportati nell'articolo 31 di questo Capitolato.

Senza intento di generalizzare, è possibile affermare che questa seconda tecnologia di stabilizzazione si sia sviluppata contestualmente alle tecniche di riciclaggio in sito delle pavimentazioni demolite con l' obiettivo di massimizzare il reimpiego del conglomerato bituminoso risultante dalle demolizioni o comunque di massimizzare il reimpiego del materiale demolito in generale. Pertanto, le miscele per fondazione derivanti da questo tipo di stabilizzazione vengono definite miscele per fondazione (o sottobase) riciclate a freddo. L'ultimo aggettivo fa riferimento alla tecnologia impiegata per l'aggiunta del legante bituminoso.

Anche in questo caso, le miscele per fondazione riciclata con legante idrocarburico e cemento possono essere prodotte in impianti fissi o mobili, oppure attraverso l'impiego dei treni di riciclaggio.

In questo articolo, le fondazioni riciclate legate con legante idrocarburico e cementizio vengono descritte nei paragrafi che vanno dal paragrafo 30.5 al paragrafo 30.8.

Le prescrizioni contenute nel presente articolo capitolato si applicano alle lavorazioni inerenti alla realizzazione dello strato di fondazione in misto cementato che in progetto si prevede di effettuare in conformità al D.M. 5 agosto 2024 così come modificato dal D.M.11 settembre 2025. Nei successivi paragrafi tale decreto verrà indicato sinteticamente come Decreto CAM Strade aggiornato (o per brevità DM CAM).

Le modalità di applicazione dei Criteri Ambientali Minimi sono definite all'interno della Relazione CAM di progetto, all'interno degli elaborati di progetto riguardanti le pavimentazioni o comunque all'interno di questo articolo di Capitolato.

Tali prescrizioni sono da ritenersi valide per tutte le viabilità autostradali e per le viabilità interferite o compensative destinate ad essere consegnate al termine dei lavori alle Amministrazioni Locali.

30.2 Normativa di riferimento

Criteri Ambientali Minimi vigenti

- Decreto Ministeriale 5 agosto 2024 recante Criteri Ambientali Minimi per l'affidamento del servizio di progettazione ed esecuzione dei lavori di costruzione, manutenzione e adeguamento delle infrastrutture stradali.
- Decreto Ministeriale 11 settembre 2024 recante Modifiche all'allegato 1 del decreto 5 agosto 2024, recante «Criteri ambientali minimi per l'affidamento del servizio di progettazione ed esecuzione dei lavori di costruzione, manutenzione e adeguamento delle infrastrutture stradali- CAM Strade.

Aggregati riciclati – cessazione della qualifica di rifiuto

- Decreto del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare del 28 marzo 2018, n. 69 Regolamento recante disciplina della cessazione della qualifica di rifiuto di conglomerato bituminoso ai sensi dell'articolo 184-ter, comma 2 del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152. (G.U. Serie Generale n. 139 del 18-06-2018).
- Decreto del Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica n. 127 del 23 maggio 2024 recante "Regolamento concernente la disciplina per la gestione delle terre e rocce da scavo e la cessazione della qualifica di rifiuto per i rifiuti inerti da costruzione e demolizione"

Aggregati

- UNI EN 11531-2: Costruzione e manutenzione delle opere civili delle infrastrutture – Criteri per l'impiego dei materiali – Parte 2: materiali granulari e miscele di aggregati legati con leganti idraulici e aerei.

- UNI EN 13242 - Aggregati per materiali non legati e legati con leganti idraulici per l'impiego in opere di ingegneria civile e nella costruzione di strade
- UNI/TS 11688 – Criteri di qualificazione e impiego del conglomerato bituminoso di recupero proveniente dalla rimozione di pavimentazioni esistenti

Legante cementizio

- UNI EN 197-1: Cemento - Parte 1: Composizione, specificazioni e criteri di conformità per cementi comuni
- UNI EN 13282-1: Leganti idraulici per impieghi stradali - Parte 1: Leganti idraulici per impieghi stradali a indurimento rapido - Composizione, specifiche e criteri di conformità.
- UNI EN 13282-2: Leganti idraulici per impieghi stradali - Parte 2: Leganti idraulici per impieghi stradali a normale indurimento - Composizione, specificazioni e criteri di conformità.

Miscele

- UNI EN 14227-1-1: Miscele legate con leganti idraulici. Specifiche – Parte 1: Miscele granulari legate per fondi e sottofondi stradali.
- UNI EN 13286-41: Miscele legate con leganti idraulici. Specifiche – Parte 42: Metodo di prova per la determinazione della resistenza a compressione di miscele legate con leganti idraulici.
- UNI EN 13286-42: Miscele legate con leganti idraulici. Specifiche – Parte 42: Metodo di prova per la determinazione della resistenza a trazione indiretta di miscele legate con leganti idraulici

Prove in sito

- CNR BU 146/1992 – Determinazione del Modulo di deformazione Md e Md' mediante prova di carico a doppio ciclo con piastra circolare.
- UNI EN 11272: Qualità del suolo – Determinazione della densità apparente a secco.

30.3 Fondazione in misto cementato prodotto in impianto

Lo strato di fondazione in misto cementato prodotto in impianto è costituito da una miscela granulare stabilizzata con legante idraulico che ne modifica, migliorandone a valle di un periodo di maturazione, le caratteristiche meccaniche.

Nel caso di miscele prodotte in impianto, la composizione granulometrica, il dosaggio di legante idraulico, il dosaggio di acqua ed eventuali additivi avvengono tramite dosatori automatici tarati in peso o in volume. Tali impianti possono essere fissi o mobili e possono trovarsi sia internamente che esternamente dall'area di cantiere.

Una volta confezionata e trasportata in cantiere (o comunque presso il sito di posa in opera), la miscela dovrà essere stesa e compattata con idonee attrezzature in un unico strato di spessore massimo pari a 30 cm.ù

30.3.1 Criteri di accettazione della miscela e dei suoi materiali costituenti

In linea generale, i materiali di provenienza esterna dal cantiere o che l'Appaltatore approvvigionerà da terzi dovranno essere qualificati in conformità al Regolamento UE n°305/2011 sui prodotti da costruzione.

30.3.1.1 Aggregati

Indipendentemente dalla provenienza e dalla percentuale di impiego, ogni fornitura di aggregati che l'Appaltatore approvvigiona da terzi o che deriva unicamente da una campagna di recupero da lui stesso condotta dovrà essere corredata da marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA della UNI EN 13242 con sistema di attestazione di conformità 2+ inclusa di Dichiarazione di Prestazione (DoP). La certificazione CE e la DoP dovranno essere consegnati alla Direzione Lavori prima dell'inizio dei lavori e ad ogni cambio di lotto di aggregato.

Ad ogni modo, la Direzione Lavori ha la facoltà di richiedere tale documentazione in ogni fase delle lavorazioni.

I requisiti di idoneità tecnica degli impiegati utilizzabili sono riportati al § 30.3.2.1.

30.3.1.2 Cemento

Ogni fornitura di cemento

Setacci [mm]	Passante in volume [%]
40	100

dovrà essere accompagnata dalla marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA della norma europea armonizzata UNI EN 197-1 con sistema di attestazione di conformità 1+. La certificazione CE e la DOP del cemento utilizzato dovranno essere consegnati alla Direzione Lavori all'inizio dei lavori o comunque ad ogni rinnovamento o cambio di fornitura. Ad ogni modo, la Direzione Lavori ha la facoltà di richiedere tale documentazione in ogni fase delle attività.

30.3.1.3 Miscela confezionata in impianto esterno all'area di cantiere

Ogni fornitura di miscela in ingresso al cantiere dovrà essere accompagnata da Documento di Trasporto corredato da rapporto di carico. Quest'ultimo dovrà essere compilato includendo i riferimenti agli aggregati utilizzati (che dovranno essere marcati CE secondo quanto riportato al paragrafo 30.3.1.1), al loro proporzionamento, e alle caratteristiche compositive attestanti la conformità all'ultima miscela prequalificata secondo quanto riportato in questo articolo di Capitolato.

A suo onere, l'Appaltatore ha la facoltà fornire la certificazione volontaria della miscela prodotta ai sensi della UNI EN 14227-1.

30.3.1.4 Miscela confezionata in impianto interno all'area di cantiere

Ogni fornitura di aggregati di provenienza esterna al cantiere dovrà essere accompagnata da marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA della UNI EN 13242 con sistema di attestazione di conformità 2+ inclusa di Dichiarazione di Prestazione (DOP).

Per quanto riguarda gli aspetti ambientali degli aggregati – da impiegare nelle miscele previste in progetto – provenienti da terre e rocce da scavo interne al cantiere, si rimanda a quanto previsto all'interno del Capitolato Ambientale e al Piano di Gestione Terre. Per ciò che concerne la loro idoneità tecnica, l'Appaltatore dovrà produrre, a suo onere, una relazione tecnica conforme alla UNI EN 13242 corredata da prove di laboratorio nella quale venga documentato il rispetto dei requisiti di questo articolo di Capitolato.

Per quanto riguarda gli aggregati – da impiegare nelle miscele previste in progetto – derivanti da attività di recupero attivate internamente al cantiere, l'Appaltatore dovrà produrre a suo onere idonea

documentazione che ne attesti la conformità ambientale e l'idoneità tecnica ai sensi di quanto previsto in questo articolo di Capitolato (in conformità alla UNI EN 13242 e corredata da prove di laboratorio).

Per quanto concerne alla produzione della miscela, in caso di impianto interno, l'Appaltatore (o comunque il diretto produttore della miscela) dovrà provvedere a redigere una relazione inerente alla produzione giornaliera nella quale riporterà i dati relativi agli impasti prodotti indicando quanto previsto per il rapporto di carico indicato al § 29.3.2. La Direzione Lavori potrà richiedere l'elaborazione di tale relazione con una frequenza diversa in funzione della quantità di miscela prodotta.

A suo onere, l'Appaltatore ha la facoltà fornire la certificazione volontaria della miscela prodotta ai sensi della UNI EN 14227-1.

30.3.2 Materia recuperata, riciclata e sottoprodotti ammessi e relativi quantitativi

In ottemperanza al Decreto CAM, la miscela per fondazione in misto cementato prodotta in impianto dovrà essere confezionata rispettando i limiti di materia riciclata recuperata e sottoprodotto (RRS) previsti in progetto o comunque in questo articolo di Capitolato.

30.3.2.1 Materiali RRS ammessi

I materiali di tipo RRS ammessi nella produzione delle miscele per strato di fondazione in misto cementato sono:

- **Materiali riciclati, recuperati e sottoprodotti**
    - gli aggregati riciclati derivanti da attività di costruzione e demolizione (C&D);
    - il conglomerato bituminoso di recupero (o fresato).
    - scoria nera da acciaieria a forno elettrico (qui indicata come scoria da acciaieria).

Secondo quanto riportato nell'art.183 del D.lgs.152/2006, gli aggregati derivanti dalle attività di costruzione e demolizione vengono classificati, a valle della cessazione della qualifica di rifiuto ai sensi dell'art. 184-ter e del DM 127/2024, come aggregati riciclati. Stessa definizione viene adottata in via tecnica dalla UNI EN 13242. Come già previsto nel DM 127/2024 (secondo cui viene determinata la cessazione della qualifica di rifiuto), l'idoneità tecnica dovrà essere determinata secondo i requisiti della UNI 11531-2 Prospetti 8 e 9 per strato di fondazione legata con legante idraulico.

Per quanto riguarda il conglomerato bituminoso di recupero, la cessazione della qualifica di rifiuto - con obiettivo di successivo reimpiego in strati di fondazione stabilizzati con legante idraulico - può avvenire sia attraverso l'applicazione del DM 69/2018 che del DM 127/2024. In entrambi i casi, a valle dell'avvenuta cessazione della qualifica di rifiuto, l'aggregato derivante viene classificato come riciclato (tale definizione viene mantenuta anche in via tecnica dalla UNI 13242). Qualora la cessazione della qualifica di rifiuto dovesse avvenire ai sensi del DM 69/2018 il reimpiego del CB di recupero dovrà comunque avvenire in conformità tecnica con i requisiti della UNI 11531-2 Prospetti 8 e 9 per strato di fondazione legata con legante idraulico. Le prove di caratterizzazione condotte sull'aggregato grosso e fine del conglomerato bituminoso di recupero dovranno essere effettuate sulla miscela inalterata, ossia senza effettuare alcuna estrazione di bitume (sulla "curva nera"). Si precisa che, quando viene sottoposto alle prove di qualifica previste all'interno di tale norma, l'aggregato derivante dal riciclo di conglomerati bituminoso non deve essere riscaldato oltre 50 °C.

Ciò comporta un prolungamento dei tempi di essicazione previsti dalle norme per il raggiungimento della massa costante.

A valle della comprovata idoneità al recupero ambientale, il conglomerato bituminoso reimpiegato negli strati di fondazione in misto cementato potrà provenire sia da viabilità autostradali che da altre viabilità senza distinzioni di strato di provenienza. Le modalità di gestione dei cumuli di conglomerato bituminoso vengono indicate al § 31.4.1.2 del presente Capitolato.

Previo utilizzo, sia il CB di recupero che l'aggregato da C&D dovranno essere soggetti a operazioni meccanica di frantumazione, granulazione e vagliatura. In entrambi i casi, è ammesso unicamente l'impiego di materiale interamente passante al setaccio 31,5 mm (U 31,5).

Tutte le operazioni/lavorazioni, gli atti amministrativi, le autorizzazioni necessarie per la cessazione di stato di rifiuto e successivo riutilizzo, dell'aggregato derivante da operazioni di costruzione e demolizione e del conglomerato bituminoso di recupero sono ad onere esclusivo dell'Appaltatore.

Le scorie da acciaieria sono classificabili sia come sottoprodotto (artt. 183 e 184-bis del D.lgs. 152/2006) che come materiale recuperato (art. 184-ter del D.lgs. 52/2006). Esse sono identificabili come aggregato artificiale ai sensi della UNI EN 13242 rispetto alla quale devono essere certificate. Il loro impiego è ammesso unicamente a valle di comprovata idoneità ambientale. Per tali scorie è ammesso unicamente l'impiego di materiale di classe granulometrica con dimensione (d/D) avente d maggiore o uguale a 4 mm.

I prospetti 6 e 7 della UNI 11531-2 vengono presi come riferimento per la conformità tecnica degli aggregati di origine naturale e artificiale da impiegare nello strato di fondazione legata con legante idraulico.

L'Appaltatore, a suo onere, avrà la facoltà di proporre alla Direzione Lavori l'utilizzo di ulteriori tipologie di materiale di tipo RRS come, ad esempio, i materiali provenienti da demolizioni o scavi interni al cantiere, di comprovata idoneità ambientale e tecnica secondo i requisiti riportati in questo articolo di Capitolato. L'idoneità tecnica dovrà essere comprovata da un campo prova eseguito a onere e spese dell'Appaltatore.

La Direzione Lavori a suo insindacabile giudizio potrà approvare o meno l'utilizzo del materiale.

30.3.2.2 Quantitativi di materia RRS ammessi

Stabiliti i materiali ammessi, la tabella successiva riporta i quantitativi minimi e massimi consentiti per ciascun materiale RRS all'interno della miscela per fondazione in misto cementato.

Miscela	Quantitativo complessivo di materia RRS minimo ammesso da DM CAM [%]	Tipo di materia RRS ammessa	Quantitativo di ciascuna materia RRS ammesso [%]
Fondazione in misto cementato	≥50% (CB di recupero complessivo max 30%)	Aggregato riciclato da C&D	≥20%
		CB di recupero (o RA)	≤30%
		Scorie da acciaieria	≤40%

La colonna "Quantitativo complessivo di materia RRS ammesso [%]" riporta il contenuto complessivo di materia recuperata, riciclata e sottoprodotto che è possibile utilizzare nello strato. Accanto a

questa, nella colonna "Quantitativo di ciascuna materia RRS ammesso [%]" vengono indicati i limiti di utilizzo relativi a ciascun tipo di materia RRS ammessa.

I quantitativi di minimo o massimo previsti possono essere ottenuti combinando una o più tipologia di materiale nel rispetto dei limiti previsti. Per quanto concerne il conglomerato bituminoso di recupero, il quantitativo massimo ammesso (anche proveniente da diverse frazioni, ad es. aggregato riciclato da C&D + CB di recupero) è pari al 30%.

L'Appaltatore avrà la facoltà di proporre alla Direzione Lavori, senza alcun onere aggiuntivo, una o più tipologie di miscela conformi al Capitolato con composizione differente da quella eventualmente prevista in progetto. La proposta alternativa non potrà in nessun caso prevedere quantitativi di conglomerato bituminoso di recupero superiori a quelli previsti in questo articolo di CSA. Tale proposta dovrà prevedere l'esecuzione di un campo prova, a onere dell'Appaltatore, che attesti preventivamente il raggiungimento dei requisiti prestazionali previsti in questo articolo di Capitolato. La Direzione Lavori, a suo insindacabile giudizio e sentito eventualmente anche il parere del progettista potrà accettare o meno la proposta presentata richiedendone, eventualmente, la riformulazione.

30.3.2.3 Modalità di certificazione del quantitativo di materia RRS impiegato

In base alle tipologie di materia RRS prevista, ai relativi quantitativi e alle modalità di certificazione indicate in progetto o comunque tra quelle previste dal DM CAM (§ 2.1.2), l'Appaltatore dovrà fornire alla Direzione Lavori il certificato del quantitativo di materia RRS previsto in ciascuna miscela in progetto. Una volta stabilita la miscela e la tipologia di certificato, quest'ultimo dovrà essere inserito come riferimento all'interno del rapporto di carico al § 29.3.2 o della relazione giornaliera al § 29.3.3.

Qualora l'Appaltatore intendesse dotarsi di certificazione volontaria ai sensi della UNI EN 14227-1, la nomenclatura adottata sul certificato di materia RRS dovrà corrispondere a quella impiegata sul certificato volontario.

30.3.2.4 Controlli di accettazione materiali

L'Appaltatore dovrà sottoporre alla Direzione Lavori l'intera documentazione attestante le caratteristiche del materiale che intende utilizzare almeno 15 giorni prima dell'avvio dei lavori.
Durante i lavori, dovranno essere emessi nuovi certificati di prequalifica dei materiali costituenti la miscela e della miscela stessa ad ogni cambio di lotto di approvvigionamento o comunque secondo le frequenze riportate in tabella al § 30.3.6. Viene lasciata la facoltà alla Direzione Lavori di richiedere la modifica delle frequenze di campionamento e dei limiti di utilizzo oltre i quali ripetere la prequalifica dei materiali.
Qualora la Direzione Lavori accerti la non corrispondenza anche di una singola caratteristica richiesta, la DL stessa potrà non consentire l'impiego del materiale setto o potrà richiedere la predisposizione di correttivi, a cura e onere dell'Appaltatore, tali da rendere il materiale idoneo all'utilizzo.

30.3.3 Prequalifica e studio preliminare della miscela

Una volta stabiliti i materiali ammessi all'impiego, la miscela dovrà essere confezionata in impianti fissi o mobili in grado di poter raggiungere i requsiti costitutivi, granulometrici, volumetrici e meccanici previsti in questo articolo di Capitolato.

30.3.3.1 Curva granulometrica

L'assortimento granulometrico del materiale - determinato in volume ai sensi della norma UNI EN 933-1 – dovrà essere compreso nel seguente fuso e dovrà presentare andamento continuo e uniforme in maniera concorde con quello delle curve che delimitano il fuso.

31,5	85-100
20	65-85
16	58-77
10	44-60
6.3	35-50
4	26-40
2	18-30
0,5	8-20
0,25	6-15
0,063	3-10

In caso di utilizzo di conglomerato bituminoso di recupero, poiché il bitume presente nell'aggregato RA è parte solida integrante dei granuli, si deve fare riferimento alla distribuzione granulometrica dell'aggregato RA ante estrazione ("curva nera").

30.3.3.2 Cemento

Si raccomanda l'uso di cementi a presa lenta e classe di resistenza 32,5N. Solo in condizioni di bassa temperatura o in presenza di giustificati vincoli temporali e operativi, può essere impiegato cemento della classe 32,5R o 42,5N pur nel rispetto dei requisiti prestazionali.
Laddove siano rispettati tutti i requisiti prestazionali del presente articolo di capitolato, può essere utilizzato un legante idraulico per strade della classe E4 o superiore con marcatura CE conforme alla UNI EN 13282-1 con sistema di attestazione di conformità 2+.
A titolo indicativo la percentuale di cemento deve essere compresa tra il 2,5% e il 4% sul peso degli inerti asciutti e deve essere determinato mediante uno studio di formulazione, effettuato in laboratorio, ai sensi della norma B.U. C.N.R. n. 29. Per applicazioni in cui vi sia l'esigenza di utilizzare miscele altamente performanti, il dosaggio di cemento può essere incrementato oltre il 4%, ma in tal caso, in sede di progetto, di costruzione e di utilizzo si deve tener conto che l'elevata rigidezza possa portare a fenomeni di prematura rottura fragile, senza dimenticare le potenziali conseguenze su presa e maturazione dello strato.

30.3.3.3 Acqua

Per la produzione delle miscele dovranno essere impiegate i seguenti tipi di acqua conformi alla Norma UNI EN 1008.

Quando si combinano più tipi di acqua, i requisiti si applicano all'acqua combinata. Non sono ammesse acque marine o salmastre né acque nere.

La quantità di acqua nella miscela deve essere quella corrispondente all'umidità ottima di costipamento con una variazione compresa entro ± 2% del peso della miscela per consentire il raggiungimento delle resistenze appresso indicate.

Il contenuto d'acqua è da determinarsi mediante prova Proctor modificata tenendo conto di quanto necessario per fornire un intervallo lavorabile di umidità compatibile con il costipamento e le prestaizoni meccaniche desiderate per la miscela. Nelle usuali condizioni climatiche applicative, le miscele legate devono presentare un tempo di lavorabilità non inferiore a 8 ore.

30.3.3.4 Additivi

La miscela può essere integrata mediante additivi quali, a titolo indicativo ma non esaustivo, ritardanti, attivatori, miglioranti di presa e indurimento ecc.., necessari per ottenere tempi di lavorabilità compatibili con le esigenze della posa in opera delle miscele e con le condizioni metereologiche. Gli additivi devono essere marcati CE conformemente alla UNI EN 934-2 con sistema di attestazione della conformità di tipo 2+.

Il loro tipo e dosaggio dovrà essere definito in fase di qualifica anche tenendo conto della stagione d'impiego, la quantità totale dovrà rispettare le indicazioni riportate nella documentazione tecnica del fornitore e non deve eccedere il dosaggio massimo raccomandato.

Gli additivi dovranno essere aggiunti alla miscela con modalità idonea ad assicurare la sua uniforme distribuzione durante il periodo di miscelazione.

In generale, a parità di caratteristiche tecniche, si dovrà preferire prodotti più sostenibili dal punto di vista ambientale.

30.3.3.5 Criteri di accettazione della miscela

I requisiti di accettazione della miscela vengono riportati nel prospetto che segue.

Caratteristica	Norma di prova	Requisito
Compattezza miscela alla massa volumica secca massima (Prova Proctor modificata)	UNI EN 14227-1	≥80%
Categoria dell'Indice di Portanza Immediata (IPI)	UNI EN 13286-47	IP_{I40}
Resistenza a compressione a 7 giorni (MPa)(*)	UNI EN 13286-41	3,0 – 5,0
Resistenza a trazione indiretta a 7 giorni (MPa)(*)	UNI EN 13286-42	≥ 0,30
Resistenza a trazione indiretta dopo 4 giorni di imbibizione, rispetto al valore iniziale (%)	UNI EN 13286-42	≥ 80
Categoria per etichettatura (**)	UNI EN 14227-1 e 5 punto 7.3	Min T0
(*) Qualora i valori a 7 giorni non siano rispettati, dovrà essere ripetuta una verifica a 28 giorni assumendo limiti di accettazione incrementati del 25%; (**) Nel rispetto dei valori minimi del grafico della norma: Rt = 0,1 MPa e E = 1.000 MPa		

In caso di applicazioni per le quali siano richiesti, ad esempio in progetto, livelli prestazionali dello strato superiori, in fase di progetto della miscela è possibile mettere a punto miscele con caratteristiche meccaniche superiori incrementando la resistenza a compressione a 7 giorni fino a 7,5 MPa e contestualmente controllando gli impatti sulle modalità e i tempi di presa, indurimento e maturazione.

Le caratteristiche prestazionali dello strato vengono espresse in funzione del modulo di deformazione misurato con piastra statica di diametro pari a 30 cm (Md) ai sensi del B.U. CNR 1496/92. uiscono il dato prestazionale.

Indipendentemente dallo spessore finito dello strato, il valore del modulo di deformazione Md al 1º ciclo di carico e nell'intervallo compreso tra 0,15 e 0,25 MPa, rilevato in un tempo compreso fra 3 e 12 h dalla compattazione, non deve mai essere inferiore a 150 MPa.

La Committente potrà altresì misurare il valore del modulo di elasticità E, dopo 60 giorni dalla stesa a mezzo di prove di deflessione dinamica con apparecchiatura ad alto rendimento Falling Weight Deflectometer (FWD),nelle modalità indicate al § 30.9, che dovrà risultare ≥ 3.000 MPa, mentre dopo un periodo di tempo variabile tra il 90° e il 200° giorno dalla data di apertura al traffico detto modulo di elasticità E dovrà essere compreso tra 4.000 e 12.000 MPa, salvo eventuale diversa prestazione prescritta nei documenti progettuali.

30.3.4 Controlli di accettazione della miscela

L'Appaltatore dovrà sottoporre all'accettazione della Direzione Lavori, almeno 15 giorni prima dell'inizio delle attività, una relazione contenente tutte le informazioni atte a dimostrare il rispetto dei requisiti di accettazione dei singolo materiali e della miscela. Nello specifico è richiesto che tale relazione contenga:

- Descrizione del sistema di controllo di produzione della in impianto
- La marcatura CE e DoP dei materiali costituenti la miscela
- La documentazione e i risultati di laboratorio che attestano il recupero ambientale dei materiali di origine riciclata
- Quantitativo e tipologia di materia RRS presente nella miscela con riferimento al certificato di cui al § 30.3.2.3
- Determinazione della distribuzione granulometrica degli aggregati (UNI EN 933-1)
- Contenuto di cemento di progetto
- Compattezza della miscela alla massima massa volumica a secco Proctor modificata e determinazione della umidità ottimale per la costipazione (Appendice A della UNI EN 14227-1)
- Indice di portanza immediata (IPI), determinata in conformità alla UNI EN 13286-47 utilizzando il costipamento Proctor modificato
- Resistenza a compressione a 7 giorni (UNI EN 13286-41)
- Resistenza a trazione indiretta a 7 giorni (UNI EN 13286-42)
- Resistenza a trazione indiretta dopo 4 giorni di imbibizione rispetto al valore iniziale (UNI EN 13286-42)
- Categoria per etichettatura (UNI EN 14227-1 e 5 punto 7.3)
- Determinazione del periodo di lavorabilità delle miscele (UNI EN 13286-45) alla temperatura massima a cui l'Appaltatore prevede di stendere e compattare (non superiore a 35°);
- Verifica della compatibilità del tempo intercorrente tra la fine della miscelazione in impianto, trasporto al cantiere e completamento delle lavorazioni di stesa e compattazione della miscela in conformità con il periodo di lavorabilità della stessa
- L'indicazione del tipo di mezzi utilizzati per la stesa e la compattazione della miscela

Le caratteristiche di accettazione della miscela di cui sopra sono da aggiornare ogni qualvolta cambino le fonti di approvigionamento dei materiali e gli impianti di produzione. Le prove sperimentali devono essere eseguite presso Laboratori Ufficiali o Autorizzati,e non deve precedere di oltre tre mesi la data di utilizzo del materiale. A tale studio l'Appaltatore è tenuto ad attenersi durante la realizzazione della stesa.
I requisiti d'accettazione saranno inoltre accertati con controlli della Direzione Lavori sia in cava o impianto, sia in corso d'opera prelevando il materiale in sito già miscelato, prima e dopo avere effettuato il costipamento.
La mancata presentazione della documentazione preliminare comporta la non autorizzazione all'inizio della esecuzione dei lavori, né saranno accettate eventuali lavorazioni svolte prima dell'approvazione delle documentazione di qualifica.

30.3.5 Modalità esecutive

30.3.5.1 Formazione e confezione delle miscele

Le miscele saranno confezionate in impianti fissi automatizzati, di idonee caratteristiche, mantenuti sempre perfettamente funzionanti in ogni loro parte e dotati di produzione dotati di un controllo di produzione FPC.

Gli impianti devono comunque garantire uniformità di produzione ed essere in grado di realizzare miscele del tutto rispondenti a quelle di Progetto. Detti impianti devono essere autorizzati rispetto alla legislazione vigente nel caso di trattamenti che utilizzano rifiuti per la produzione di aggregati artificiali e/o riciclati.

30.3.5.2 Posa in opera

Ogni consegna di materiale in cantiere deve essere accompagnata dai documenti di trasporto (DDT) indicanti la composizione del mix che devono essere trasmessi settimanalmente alla Direzione Lavori.
La miscela sarà stesa sul piano finito dello strato precedente dopo che sia stata accettata dalla Direzione Lavori la rispondenza di quest'ultimo ai requisiti di quota, sagoma e compattezza prescritti. Preventivamente alla stesa, deve essere appurato che il piano di posa sia sufficientemente umido. In caso contrario si prevede una bagnatura, evitando erosioni, dilavamenti e ristagni di acqua e fango.
La miscela va stesa per singoli strati, di spessore finito non inferiore a 15 cm fino a un massimo di 30 cm. Per spessori fino a 20 cm la stesa è effettuata con vibro-finitrice. Per spessori superiori, può essere utilizzata la livellatrice munita di palpatori o altri dispositivi che consentono il rispetto dei requisiti profilometrici e di sagoma previsti in progetto. L'utilizzo della livellatrice deve essere indicato in fase di qualifica unitamente a tutte le informazioni tecniche necessarie a dimostrazione dell'idoneità all'uso della macchina ed approvato dal Direttore dei Lavori.

Non sono ammesse spessori complessivi dello strato superiori a 30 cm.

Le operazioni di compattazione dello strato devono riprodurre le caratteristicne fisico-meccaniche della miscela, come individuate nello studio preliminare. Le operazioni di addensamento dello strato devono essere realizzate in ordine con le seguenti attrezzature:

- Rullo a due ruote vibranti da 100 kN per ruota o rullo con una sola ruota vibrante di peso non inferiore a 180 kN.
- Rullo gommato con pressione di gonfiaggio superiore a 5 atm e carico di almeno 180 kN.

Potranno essere impiegati in alternativa rulli misti, vibranti-gommati comunque tutti approvati dalla Direzione Lavori, delle stesse caratteristiche sopra riportate.
La posa in opera del materiale richiede una corretta gestione dell'umidità della miscela (al fine del soddisfacimento del requisito di umudità minimo), miscelazione, costipamento e stagionatura. Essa deve avvenire a temperatura ambiente non inferiore a 5°C e in assenza di pioggia continua o venute d'acqua che possano saturare di umidità il materiale.

Sono altresì da evitare temperature elevate specialmente se associate a vento, per la possibilità che l'acqua superficiale possa evaporare o disperdersi. Per le stese con temperature superiori a 25°C ma comunque sempre inferiori a 35°C, è necessario proteggere da evaporazione la miscela durante il trasporto dall'impianto di confezione al luogo di impiego (ad esempio con teloni); deve essere inoltre necessario provvedere ad un'abbondante bagnatura del piano di posa del misto cementato.

Strati eventualmente compromessi dalle condizioni meteorologiche o da altre cause dovranno essere rimossi e sostituiti a totale cura e spese dell'Appaltatore.
Il tempo intercorrente tra la stesa di due strisce affiancate o sovrapposte non dovrà superare di norma le due ore per garantire la continuità della struttura. Particolari accorgimenti dovranno

adottarsi nella formazione dei giunti longitudinali che andranno protetti con fogli di polietilene o materiale similare.
Il giunto di ripresa sarà ottenuto terminando la stesa dello strato a ridosso di una tavola e togliendo la tavola al momento della ripresa della stesa; se non si fa uso della tavola deve essere necessario, prima della ripresa della stesa, provvedere a tagliare l'ultima parte dello strato precedente, in modo che si ottenga una parete perfettamente verticale. Non devono essere eseguiti altri giunti all'infuori di quelli di ripresa.
Subito dopo il completamento delle opere di costipamento e di rifinitura dello strato, dovrà essere eseguita la spruzzatura di un velo protettivo di emulsione bituminosa cationica non modificata (§31.4.2.4, legante "C1") in ragione di 1,0 kg/m², in relazione al tempo ed alla intensità del traffico di cantiere cui potrà venire sottoposta la fondazione e successivo spargimento di sabbia.

Il transito di cantiere potrà essere ammesso sullo strato a partire dal terzo giorno dopo quello in cui è stata effettuata la stesa e limitatamente ai mezzi gommati. Aperture anticipate vanno correlate alle resistenze raggiunte dal misto e previa verifica che il transito non danneggi lo strato. Comunque il tempo di maturazione non potrà essere mai inferiore a 48 h.

In tutte le fasi esecutive, comprese le fasi di preparazione e di sistemazione finale delle aree, per gli aspetti e le problematiche relative a temi ambientali, quali impatti acustici e vibrazionali, emissioni in atmosfera, impatto sulle acque superficiali, sotterranee e sul suolo, impatti sulla componente fauna e vegetazione, si rimanda integralmente a quanto prescritto dalla Normativa Nazionale e Regionale vigente, alle prescrizioni degli Enti preposti alla tutela ambientale, nonché alle condizioni ambientali contenute nelle autorizzazioni ed alle disposizioni del Capitolato Ambientale allegato al progetto esecutivo.

30.3.6 Controlli in corso d'opera

Al fine di garantire il raggiungimento ed il mantenimento durante la produzione sia dei requisiti previsti in questo articolo di capitolato che delle prestazioni dello strato assunte in progettazione, sono previsti i seguenti controlli in corso d'opera.

1. Esecuzione delle prove di carico con piastra per verificare i requisiti di portanza definiti al paragrafo 30.3.3.5.
2. Misura della densità apparente a secco in sito per valutare il grado di addensamento (UNI EN 11272) (da eseguire sulla singola stesa). Il 95% dei valori di apparente a secco in sito dovranno corrispondere almeno al 98% della massa volumica massima asciutta (prova Proctor standard) della miscela prequalificata più di recente.
3. Misura della resistenza a compressione a 7 giorni secondo la UNI EN 13286-41.
4. Misura della resistenza a trazione indiretta a 7 giorni secondo al UNI EN 13286-42.
5. Determinazione della curva granulometrica ai sensi della UNI EN 933-1.

La frequenza di prova e i criteri di verifica per i singoli controlli sono riportati nella seguente tabella.

Tabella: Controlli in corso d'opera lo strato di fondazione in misto cementato prodotto in impianto

Prova	Riferimento	Posizione	Frequenza	Criterio di verifica
Prove di carico con piastra	CNR BU 146/92	Sullo strato finito	Ogni giornata di produzione, almeno ogni 500 mc di miscela prodotta	§ 30.3.3.5
Densità apparente a secco	UNI EN 11272	Sullo strato finito		≥98% $\gamma_{rd,max}$
Resistenza a compressione a 7 gg	UNI EN 13286-41	Prelievo in impianto all'uscita del mescolatore		§ 30.3.3.5

Prova	Riferimento	Posizione	Frequenza	Criterio di verifica
Resistenza a trazione indiretta a 7 gg	UNI EN 13286-42	Prelievo in impianto all'uscita del mescolatore		§ 30.3.3.5
Curva granulometrica	UNI EN 933-1	Prelievo in impianto		§ 30.3.3.1
Requisiti aggregato naturale o artificiale	UNI EN 11531-2 UNI EN 13242	Prelievo in impianto	Ogni 10.000 mc oppure ad ogni cambio di fornitura	UNI EN 11531-2 (Prospetto 6 e 7)
Requisiti aggregato riciclato	UNI EN 11531-2 UNI EN 13242	Prelievo in impianto	Ogni 3.000 mc max (oppure ad ogni cambio di fornitura se Quantità<3000 mc)	UNI EN 11531-2 (Prospetto 6 e 7)

I prelivi e le prove dovranno essere condotte in contraddittorio tra l'Appaltatore e la Direzione Lavori.

L'Appaltatore dovrà provvedere alla verifica topografica della sagoma e dello spessore di progetto della fondazione finita rispetto alle previsioni progettuali prima di procedere con la posa degli strati successivi. Il rilievo deve misurare una griglia di punti di misura aventi, in direzione longitudinale, un distanziamento massimo di 20 m. La griglia deve, inoltre, permettere la verifica delle pendenze di progetto. Eventuali carenze di quota localizzate, fino a 10 mm, possono essere compensate dallo spessore dello strato superiore senza oneri ulteriori, nel caso di quote superiori a quelle di progetto lo strato, ad insindacabile giudizio della DL, può essere rimosso e risagomato a cura e spese dell'Appaltatore. Il rilevo, ed ogni suo successivo aggiornamento, deve essere trasmesso al Direttore dei Lavori in formato dwg. La Direzione Lavori, in caso di dubbi sulla regolarità superficiale dello strato, può eseguire, ove ritiene opportuno, la verifica della regolarità a mezzo di un regolo di 4 m di lunghezza, disposto secondo due direzioni ortogonali o mediante altra metodologia approvata dalla DL. Sono ammessi scostamenti rispetto ai piani di progetto non superiori a 10 mm.

In aggiunta alle prove di cui sopra, al completamento della posa di tutti gli strati di pavimentazione, potranno essere effettuate, a cura della Committente, dei controlli con apparecchiature ad alto rendimento per la misura del Modulo Elastico dello o degli strati di supporto sopra descritti, con le modalità indicate al § 30.9.

30.3.7 Tolleranze di esecuzione e penali

È ammessa una tolleranza con penale per fusi della miscela di ± 5% fino al passante al setaccio UNI con apertura 4 mm e di ± 2% per il passante al setaccio UNI 2 mm ed inferiori, purché non siano superati i limiti del fuso. Questa tolleranza è accettata solo se contenuta nel 10% del totale delle prove eseguite al termine dei lavori sulla singola WBS. La penale per il superamento dei limiti indicati per ciascun fuso è pari al 10% dell'intera lavorazione da applicare alla superficie interessata dalla non conformità.
La quota della superficie finita della sagoma della fondazione non deve scostarsi dalla sagoma di Progetto di oltre ± 10 mm. Lo spessore deve essere quello prescritto, con una tolleranza del ± 5% purché questa differenza si presenti solo saltuariamente. In caso contrario l'Appaltatore, a sua cura e spese, dovrà provvedere al raggiungimento dello spessore prescritto.
Per valori medi di portanza, densità, resistenza a compressione e trazione e contenuto di cemento inferiori al 10% rispetto ai valori di Progetto viene applicata una detrazione del 10% del prezzo. Per

carenze comprese tra il 10 ed il 20% viene applicata una detrazione del 20% del prezzo, mentre per carenze superiori al 20%, il tratto considerato deve essere demolito e ricostruito.

30.4 Fondazione in misto cementato riciclata in sito

Lo strato di fondazione o sottobase in misto cementato viene essere prodotto in sito mediante un treno di riciclaggio. Questo tipo di lavorazione viene effettuata quando l'intervento prevede la demolizione completa del pacchetto degli strati in conglomerato bituminoso e almeno dello strato di fondazione che si trova sotto l'ultimo degli strati in CB. Il riciclaggio in sito della pavimentazione demolita può potenzialmente determinare una modifica della stratigrafia della sovrastruttura e può essere realizzato nei casi in cui si renda necessario aumentarne le caratteristiche di portanza.

Gli aggregati provenienti dagli strati di pavimentazione preesistenti (misto granulare non legato, misto cementato, conglomerato bituminoso) sono fresati e stabilizzati mediante l'apporto di legante cementizio, costipati con rulli, in conformità con le presenti specifiche, con lo spessore e la sagoma indicate nel progetto.

30.4.1 Criteri di accettazione dei materiali costituenti la miscela

30.4.1.1 Aggregati

Per la produzione del misto cementato riciclato in sito per strati di fondazione o sottobase, sono generalmente utilizzati gli aggregati ottenuti dalla fresatura (disgregazione) sul posto degli strati di pavimentazione preesistenti (misto granulare non legato, misto cementato, conglomerato bituminoso) mediante una macchina riciclatrice. Qualora dovesse verificarsi la necessità di effettuare delle correzioni granulometriche durante l'esecuzione dei lavori, il materiale da integrazione dovrà essere approvviginato e dosato considerando che il quantitaivo di materia RRS utilizzato nella miscela non dovrà essere inferiore a quanto previsto in progetto (§ 2.2.8 del DM CAM) e non potrà comunque mai andare sotto al 50% (§2.3.1 DM CAM).

Ogni fornitura di aggregati con provenienza esterna rispetto al cantiere, dovrà essere accompagnata dalla marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA della norma europea armonizzata UNI EN 13242 con sistema di attestazione di conformità 2+.

Per quanto riguarda le prescrizioni degli aggregati di integrazione di tipo naturale, artificiale e riciclato, vale quanto previsto per il confezionamento della fondazione in misto cementato prodotta in impianto (§30.3). In aggiunta, gli aggregati di provenienza esterna dovranno presentare un indice di portanza CBR ≥ 50 (UNI EN13286-47) dopo maturazione in acqua per 96 ore. Il valore di rigonfiamento deve essere nullo.

30.4.1.2 Legante idraulico (cemento)

Per la qualifica e le proprietà del legante cementizio si rimanda ai contenuti del § **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**

30.4.1.3 Acqua

Per la qualifica e le proprietà dell'Acqua si rimanda ai contenuti del § 30.3.3.3

30.4.1.4 Calce

La calce aerea idrata o viva, deve essere qualificata in conformità al Regolamento UE 305/2011 sui prodotti da costruzione. Ogni fornitura deve essere accompagnata dalla dichiarazione di prestazione attestante la conformità all'allegato ZA della norma europea armonizzata UNI EN 459-1. Le calci devono essere del tipo CL 90-S o CL 90-Q.

30.4.2 Criteri di accettazione della miscela

30.4.2.1 Generalità e operazioni preliminari

In caso di interventi di limitata estensione, lo studio del misto cementato in sito a carico dell'Appaltatore, deve essere svolto con il supporto di una serie di indagini (saggi) con prelievo di adeguato quantitativo di materiale componente la esistente fondazione che permetta di definirne la composizione e le prestazioni.
In caso di interventi di particolare rilevanza per estensione e tipologia di cantierizzazione è raccomandato prevedere l'allestimento di un campo prova, che permetta di definirne la composizione e le prestazioni, nonché le procedure costruttive di dettaglio.
Il campo prova deve essere pianificato dalla DL e inserito in un tratto all'interno del cantiere ritenuto rappresentativo per la lavorazione da svolgere. Per scegliere la posizione del campo prova devono essere preliminarmente eseguiti, almeno ogni 500 m, dei prelievi del materiale coinvolto nel processo di riciclo per identificare eventuali disomogeneità in termini di stratigrafia e caratteristiche fisiche (dimensione massima degli aggregati e plasticità). Nel caso in cui la DL riscontri sostanziali disomogeneità deve essere pianificato un campo prova per ogni caso caratterizzante. Il campo prova deve avere larghezza e profondità conformi alle indicazioni progettuali o del Direttore progettuali. Durante i lavori, se richiesto dalla DL, deve essere presente un laboratorio mobile in grado di effettuare sul posto tutte le prove di laboratorio e in sito indicate di seguito. Tale laboratorio deve essere gestito da un laboratorio ufficiale o autorizzato ai sensi dell'art. 59 del DPR n. 380 o da un laboratorio accreditato ai sensi della norma UNI ISO 17025.

30.4.2.2 Curva granulometrica

Nel campo prova gli strati da riciclare devono essere fresati (disgregati) sul posto, tramite uno o più passaggi di macchina riciclatrice o fresa, così da sminuzzare il materiale e possibilmente renderne la granulometria "in volume" conforme al fuso riportato nella seguente tabella:

Setacci [mm]	Passante in volume [%]
40	100-100
31.5	85-100
25	75-100
20	65-94
10	44-78
4	26-61
2	18-50
0.5	8-30
0,25	6-22
0.063	3-11

Si precisa che la distribuzione granulometrica in volume può essere ottenuta da quella in peso, tenendo conto della massa volumica delle frazioni granulometriche impiegate. Inoltre, poiché il bitume eventualmente presente nell'aggregato riciclato RA è parte integrante dei granuli, si deve fare riferimento alla distribuzione granulometrica dell'aggregato RA ante estrazione ("curva nera"). Per consentire il controllo in fase di esecuzione del rispetto dei passanti in volume, lo studio di formulazione dovrà evidenziare, per ogni setaccio, sia la percentuale in volume che quella in peso. Se il materiale granulare presenta più del 15% di passante al setaccio 0,5 mm e un indice di plasticità superiore a 10, deve essere sottoposto a pretrattamento con calce fino a rendere nullo l'indice di plasticità. In questo caso, la miscela granulare di riferimento deve includere il dosaggio identificato di calce.
Nel caso in cui l'operazione di fresatura dello strato, anche con passate multiple, non permetta la produzione di una granulometria conforme al fuso riportato nella precedente tabella, è necessario prevedere un'integrazione con aggregati naturali, riciclati o aggregato RA.
Più in generale, l'integrazione con aggregati naturali o con conglomerato bituminoso di recupero è consentita quando permette di migliorare le caratteristiche fisico-meccaniche della miscela. Gli aggregati per la correzione granulometrica devono essere stesi con il giusto proporzionamento sullo strato reso granulare e pronto da riciclare. La verifica della correzione granulometrica deve essere eseguita su un prelievo effettuato dopo il passaggio della macchina riciclatrice o fresatrice senza l'aggiunta del legante cementizio.

30.4.2.3 Determinazione del contenuto di acqua

La miscela granulare resa conforme al fuso granulometrico deve essere prelevata e integrata in laboratorio con il dosaggio atteso di legante cementizio (per esempio 4% sul peso degli aggregati), per poi procedere alla determinazione della curva di costipamento con energia Proctor Modificata (UNI EN 13286-2) al fine di individuare il valore dell'umidità ottimale di costipamento e il corrispondente valore della massima densità del secco. Sul campione prelevato deve essere determinato anche il contenuto di acqua naturale. Prima delle operazioni di riciclaggio, la miscela granulare presente in sito nel campo prova deve avere un contenuto di acqua prossimo (±2%) al valore ottimo definito dallo studio di laboratorio almeno 12 ore prima dell'aggiunta dei leganti.

30.4.2.4 Determinazione del dosaggio di legante cementizio

Il dosaggio di progetto di legante cementizio è definito come il dosaggio minimo tra quelli indagati che permetta di ottenere una miscela con prestazioni conformi ai requisiti specificati, sia nelle prove in laboratorio che in quelle in sito.
Nel campo prova devono essere preparate almeno tre aree da riciclare (nel seguito indicate come "strisciate") con lunghezza tale da consentire la stabilità di dosaggio del legante cementizio da parte della macchina spanditrice volumetrica (generalmente superiore a 20 m). La DL deve stabilire il miglior posizionamento delle strisciate affinché la spanditrice volumetrica possa distribuire con precisione e regolarità il dosaggio di legante cementizio desiderato. Sulle strisciate sono dosati diversi quantitativi di legante cementizio. Usualmente i dosaggi di legante cementizio da investigare sono pari a 3, 4 e 5% sul peso secco della miscela, calcolato utilizzando il valore della massima densità del secco definito al §30.4.2.3. Il peso del legante cementizio lasciato su un metro quadrato dalla spanditrice in movimento deve essere calibrato e verificato sul posto.
Dopo il passaggio della macchina riciclatrice su ciascuna strisciata deve essere effettuato un prelievo della miscela cementizia sciolta.
Per ogni miscela cementizia devono essere confezionati con metodo Proctor, energia Modificata (UNI EN 13286-2):

- 3 provini aventi altezza di 120 mm (compattati in 5 strati con 56 colpi per strato) da sottoporre a prova di resistenza a trazione indiretta Rt (UNI EN 13286-42) con gradiente di carico di 0,05 MPa/s;
- 3 provini aventi altezza di 180 mm (compattati in 5 strati con 85 colpi per strato) da sottoporre a prova di resistenza a compressione non confinata Rc (UNI EN 13286- 41) con gradiente di carico di 0,1 MPa/s.

Per tutti i provini deve essere, inoltre, determinata la massa volumica del secco (UNI EN 13286-2). Dopo la compattazione, i provini devono essere conservati nelle fustelle sigillate (o in ambiente con umidità relativa non inferiore al 90%) per 1 giorno, poi estratti e stagionati in condizione sigillata (o in ambiente con umidità relativa non inferiore al 90%) per ulteriori 6 giorni a 20°C.
Ai fini della scelta del contenuto ottimo di legante cementizio, devono essere calcolati i valori medi delle grandezze misurate, che devono soddisfare i seguenti requisiti:

- Resistenza media a trazione Rt,media ³ 0,30 MPa;
- Resistenza media a compressione non confinata Rc,media compresa nell'intervallo 3,0 - 5,0 MPa.

Dopo la compattazione, su ogni strisciata, devono essere eseguite le seguenti prove in sito:

- 3 prove di massa volumica del secco in sito con volumometro a sabbia (CNR B.U. n. 22) in cui la misura del contenuto d'acqua del materiale è effettuata utilizzando sia il metodo tradizionale (UNI EN 1097-05) che il metodo con forno a microonde (ASTM D4643);
- 3 prove di carico su piastra di tipo statico a doppio ciclo (CNR B.U. n. 146) per la misura del modulo di deformazione al primo ciclo M_{d1} e al secondo ciclo M_{d2}, da eseguire sia entro due ore dalla compattazione che entro 24 ore;
- 18 prove di carico (6 in prossimità di ogni prova di modulo di deformazione) mediante piastra dinamica leggera (ASTM E2583) per la misura del modulo dinamico E_{LFWD}, da eseguire sia entro due ore dalla compattazione che entro 24 ore.

Ai fini della scelta del contenuto ottimo di legante cementizio, devono essere calcolati i valori medi delle grandezze misurate, che devono soddisfare i seguenti requisiti:

- massa volumica del secco in sito maggiore o uguale della massa volumica del secco dei provini compattati in laboratorio per le prove meccaniche;
- $M_{d1,medio} \geq 80$ MPa, rilevato entro 2 h dalla compattazione e 120 MPa entro 24 ore;
- $(M_{d2}/M_{d1})_{medio}$ £ 2,15 entro due ore dalla compattazione.

Al termine del campo prova, nel caso in cui una o più strisciate non verifichino i valori medi di $M_{d1,medio}$ e $(M_{d2}/M_{d1})_{medio}$ devono essere sottoposte ad ulteriore lavorazione fino al rispetto dei suddetti valori minimi.
La media e la deviazione standard dei valori E_{LFWD}, sulla strisciata costruita con il dosaggio di progetto del legante, possono essere utilizzate come riferimento per l'accettazione del lotto al termine della compattazione (§30.9).

La Committente potrà altresì misurare il valore del modulo di elasticità dopo 60 giorni dalla stesa a mezzo di prove di deflessione dinamica con apparecchiatura ad alto rendimento Falling Weight Deflectometer (FWD) nelle modalità indicate al § 30.9, che dovrà risultare ≥ 3.000 MPa, mentre dopo un periodo di tempo variabile tra il 90° e il 200° giorno dalla data di apertura al traffico detto modulo di elasticità E dovrà essere compreso tra 4.000 e 12.000 MPa, salvo eventuale diversa prestazione prescritta nei documenti progettuali.

Al termine del campo prova, l'Appaltatore deve predisporre una relazione che riporti:

- le caratteristiche degli aggregati importati in riferimento al § 30.4.1.1;

- la composizione e la granulometria della miscela granulare di qualifica in riferimento al paragrafo § **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** e alla tabella ivi presente;
- le caratteristiche del legante cementizio in riferimento al paragrafo § 30.4.1.2 e dell'eventuale calce in riferimento al paragrafo § 30.4.1.4;
- il contenuto di progetto della miscela di legante cementizio e di acqua della miscela di progetto in riferimento al paragrafo § 30.4.2.4 e al paragrafo § 30.4.2.3, rispettivamente;
- la massa volumica del secco in laboratorio, la resistenza a trazione indiretta, la resistenza a compressione della miscela di progetto in riferimento al presente paragrafo;
- la massa volumica del secco in sito, il modulo di deformazione, il modulo di rigidezza E_{LWD} e la deviazione standard dei valori E_{LWD} della miscela di progetto in riferimento al presente paragrafo;
- la descrizione delle procedure operative adottate in campo prova per la miscela di progetto (lavorazioni, tipo di mezzi, tempistiche, numero di passate ecc.) compresa la documentazione fotografica;
- la marcatura CE e le Dichiarazioni di Prestazione (DoP) dei materiali e tutti i certificati emessi da un laboratorio autorizzato attestanti le procedure seguite e i risultati di riciclaggio ottenuti.

30.4.3 Prequalifica e studio preliminare della miscela

L'Appaltatore dovrà sottoporre all'accettazione della Direzione Lavori, almeno 15 giorni prima dell'inizio delle attività, una relazione contenente tutte le informazioni atte a dimostrare il rispetto dei requisiti di accettazione dei singoli materiali, della miscela e del quantitativo di materia RRS previsto in progetto in applicazione del DM CAM. I contenuti della relazione dovranno essere elaborati in maniera conforme a quanto previsto al § 30.4.2.4.

La mancata presentazione della documentazione preliminare comporta la non autorizzazione all'inizio dell'esecuzione dei lavori, né saranno accettate eventuali lavorazioni svolte prima dell'approvazione delle modalità esecutive.

I requisiti d'accettazione potranno inoltre essere accertati con ulteriori prove a cura della Direzione Lavori sia in fase di prequalifica presso il fornitore (controllo non vincolante per l'autorizzazione), sia in corso d'opera, prelevando il materiale in sito o ancora presso il fornitore, prima e dopo avere effettuato le lavorazioni.

30.4.4 Modalità esecutive

La costruzione dello strato in misto cementato riciclato in sito deve essere realizzata per mezzo di un treno di riciclaggio composto da una spanditrice volumetrica per il legante cementizio, un'autobotte per l'acqua, una macchina riciclatrice, un rullo monocilindro vibrante, un rullo gommato e una livellatrice. Nel seguito sono indicate le procedure operative generali, che sono integrate dalle procedure operative di dettaglio definite nell'ambito del campo prova.
Lo strato esistente deve essere fresato (disgregato) sul posto con una o più passate di macchina riciclatrice o fresa fino alla profondità di progetto, come definito nel campo prova. Tale operazione deve avvenire con congruo anticipo rispetto alla stabilizzazione (aggiunta del legante e compattazione), ciò per permettere il prelievo della miscela granulare sul quale verificare il contenuto d'acqua naturale e la granulometria.
Qualora sia necessaria una correzione granulometrica, una integrazione della miscela granulare oppure non sia a disposizione sul posto il materiale per la realizzazione dello strato, potranno essere importati e miscelati in sito aggregati vergini, riciclati e conglomerato bituminoso di recupero.
I materiali di integrazione devono essere scaricati sul piano di posa e livellati alla quota opportuna (di strato non compattato). Occorre precisare che deve essere previsto il pretrattamento a calce nel

caso in cui il materiale da riciclare contenga più del 15% di passante al setaccio 0,5 mm e un indice di plasticità superiore a 10.
Prima dell'aggiunta del legante, il contenuto di acqua naturale del materiale reso granulare deve essere prossimo (±2 %) al valore ottimo definito nel progetto della miscela. L'eventuale aggiunta di acqua è da effettuarsi in modo omogeneo mediante dispositivi spruzzatori. Nel caso di contenuto d'acqua troppo elevato è necessario lavorare ulteriormente il materiale granulare in modo da permetterne l'asciugatura per evaporazione. È inoltre consentito l'impego di quantità limitate di calce viva (< 2 %). In nessun caso è consentito aggiungere legante cementizio per compensare l'eccesso di umidità.
A seguito della verifica della rispondenza al progetto del contenuto di acqua, della composizione e della granulometria, il dosaggio ottimo di legante cementizio definito nello studio della miscela deve essere steso sullo strato reso granulare. Quindi la macchina riciclatrice opera fino alla profondità stabilita da progetto per miscelare omogeneamente il materiale granulare con il legante cementizio. La compattazione è immediatamente eseguita con un rullo monocilindro vibrante da almeno 140 kN e un rullo gommato da almeno 180 kN.
L'estradosso dello strato deve essere sagomato nel rispetto delle quote e delle pendenze di progetto tramite una livellatrice.
A termine della lavorazione è raccomandato inumidire in modo omogeneo mediante dispositivi spruzzatori.
Dopo la compattazione lo strato deve essere protetto con la spruzzatura di emulsione bituminosa cationica (§31.4.2.4, legante "C1") in ragione di 1 kg/m² di bitume residuo, successivamente saturata con lo spargimento di sabbia. A insindacabile giudizio della DL, la lavorazione può essere sospesa con temperatura dell'aria inferiore a 10 °C, superiore a 35 °C oppure in caso di pioggia. La macchina riciclatrice deve eseguire una fresatura sul posto dello strato sulla tratta in programma per permettere il campionamento della miscela granulare sul quale verificare la correttezza del contenuto d'acqua e della granulometria. Solo nell'area destinata al prelievo, per simulare la granulometria finale, va seguita un passaggio aggiuntivo di fresa. Nel caso in cui il contenuto d'acqua e la granulometria non risultino verificati, la DL deve richiedere le opportune correzioni alla miscela granulare. Deve essere garantito un tempo di maturazione protetta almeno pari a 48 ore. Il transito di cantiere può essere ammesso sullo strato a partire dal terzo giorno dopo quello in cui è stata effettuata la stesa e limitatamente ai mezzi gommati. Aperture anticipate sono consentite compatibilmente con il raggiungimento di adeguate resistenze meccaniche da parte del misto cementato. Strati eventualmente compromessi dalle condizioni meteorologiche, dalla circolazione dei mezzi di cantiere o da altre cause devono essere rimossi e ricostituiti a totale cura e spese dell'Appaltatore.

30.4.5 Controlli in corso d'opera

Al fine di garantire il raggiungimento ed il mantenimento durante la produzione sia dei requisiti previsti in questo articolo di capitolato che delle prestazioni dello strato assunte in progettazione, sono previsti i seguenti controlli in corso d'opera.

1. Esecuzione delle prove di carico con piastra per verificare i requisiti di portanza definiti al paragrafo 30.3.3.5.
2. Misura della densità apparente a secco in sito per valutare il grado di addensamento (UNI EN 11272) (da eseguire sulla singola stesa). Il 95% dei valori di apparente a secco in sito dovranno corrispondere almeno al 98% della massa volumica massima asciutta (prova Proctor standard) della miscela prequalificata più di recente.
3. Misura della resistenza a compressione a 7 giorni secondo la UNI EN 13286-41.
4. Misura della resistenza a trazione indiretta a 7 giorni secondo al UNI EN 13286-42.

5. Determinazione della curva granulometrica ai sensi della UNI EN 933-1.

La frequenza di prova e i criteri di verifica per i singoli controlli sono riportati nella seguente tabella.

Tabella: Controlli in corso d'opera lo strato di fondazione in misto cementato riciclato in sito

Prova	Riferimento	Posizione	Frequenza	Criterio di verifica
Prove di carico con piastra	CNR BU 146/92	Sullo strato finito	Ogni giornata di produzione, almeno ogni 500 mc di miscela prodotta	§ 30.4.2.4
Densità apparente a secco	UNI EN 11272	Sullo strato compattato		≥98% $\gamma_{rd,max}$
Resistenza a compressione a 7 gg	UNI EN 13286-41	Al treno di riciclaggio		§ 30.4.2.4
Resistenza a trazione indiretta a 7 gg	UNI EN 13286-42	Al treno di riciclaggio		§ 30.4.2.4
Curva granulometrica	UNI EN 933-1	**Al treno di riciclaggio** Prelievo di miscela di aggregati prima dell'aggiunta di legante cementizio e acqua. Solo nell'area destinata al prelievo, per simulare la granulometria finale, va seguita un passaggio aggiuntivo di fresa.		§ 30.4.2.2
Requisiti aggregato naturale o artificiale (per eventuale integrazione)	UNI EN 11531-2	Prelievo al cumulo	Ogni 10.000 mc oppure ad ogni cambio di fornitura	UNI EN 11531-2 (Prospetto 6 e 7)
Requisiti aggregato riciclato (per eventuale integrazione)	UNI EN 11531-2	Prelievo al cumulo	Ogni 3.000 mc max (oppure ad ogni cambio di fornitura se Quantità<3000 mc)	UNI EN 11531-2 (Prospetto 6 e 7)

I prelivi e le prove dovranno essere condotte in contraddittorio tra l'Appaltatore e la Direzione Lavori.

L'Appaltatore dovrà provvedere alla verifica topografica della sagoma e dello spessore di progetto della fondazione finita rispetto alle previsioni progettuali prima di procedere con la posa degli strati successivi. Il rilievo deve misurare una griglia di punti di misura aventi, in direzione longitudinale, un distanziamento massimo di 20 m. La griglia deve, inoltre, permettere la verifica delle pendenze di progetto. Eventuali carenze di quota localizzate, fino a 10 mm, possono essere compensate dallo spessore dello strato superiore senza oneri ulteriori, nel caso di quote superiori a quelle di progetto lo strato, ad insindacabile giudizio della DL, può essere rimosso e risagomato a cura e spese dell'Appaltatore. Il rilevo, ed ogni suo successivo aggiornamento, deve essere trasmesso al Direttore

dei Lavori in formato dwg. La Direzione Lavori, in caso di dubbi sulla regolarità superficiale dello strato, può eseguire, ove ritiene opportuno, la verifica della regolarità a mezzo di un regolo di 4 m di lunghezza, disposto secondo due direzioni ortogonali o mediante altra metodologia approvata dalla DL. Sono ammessi scostamenti rispetto ai piani di progetto non superiori a 10 mm.

In aggiunta alle prove di cui sopra, al completamento della posa di tutti gli strati di pavimenazione, potranno essere effettuate, a cura della Committente, dei controlli con apparecchiature ad alto rendimento per la misura del Modulo Elastico dello o degli strati di supporto sopra descritti, con le modalità indicate al § 30.9.

30.4.6 Tolleranze di esecuzione e penali

Per la granulometria della miscela è ammessa una tolleranza con penale per fusi della miscela di ± 7% fino al passante al setaccio UNI con apertura 4 mm e di ± 5% per il passante al setaccio UNI 2 mm ed inferiori, purché non siano superati i limiti del fuso. Questa tolleranza è accettata solo se contenuta nel 10% del totale delle prove eseguite al termine dei lavori sulla singola WBS. La penale per il superamento dei fusi nei limiti indicati è pari al 10% dell'intera lavorazione da applicare alla superficie interessata dalla non conformità.
La quota della superficie finita della sagoma della fondazione non deve scostarsi dalla sagoma di Progetto di oltre ±10 mm. Lo spessore deve essere quello prescritto, con una tolleranza del ± 5% purché questa differenza si presenti solo saltuariamente. In caso contrario l'Appaltatore, a sua cura e spese, dovrà provvedere al raggiungimento dello spessore prescritto.
Per valori medi di portanza, densità, resistenza a compressione e trazione e contenuto di cemento inferiori al 10% rispetto ai valori di Progetto viene applicata una detrazione del 10% del prezzo. Per carenze comprese tra il 10 ed il 20% viene applicata una detrazione del 20% del prezzo, mentre per carenze superiori al 20%, il tratto considerato deve essere demolito e ricostruito.

30.5 Fondazione o sottobase riciclata a freddo in sito con bitume e cemento

Lo strato di fondazione o sottobase riciclato a freddo prodotto in sito con legante bituminoso e cemento deve essere realizzato mediante un treno di treno di riciclaggio. Gli aggregati provenienti dagli strati di pavimentazione preesistenti (misto granulare non legato, misto cementato, conglomerato bituminoso) sono fresati e stabilizzati mediante l'apporto di un legante bituminoso, sotto forma di emulsione o di schiuma, e di un legante cementizio, costipati con rulli in conformità con le presenti specifiche, con lo spessore e la sagoma indicate nel progetto.
È possibile sia la correzione granulometrica mediante aggregati di integrazione sia il riciclaggio in sito di una miscela costituita prevalentemente da aggregati di integrazione. Questa tipologia di intervento determina una modifica della stratigrafia della sovrastruttura e può essere realizzato nei casi in cui si renda necessario aumentarne le caratteristiche di portanza.

30.5.1 Criteri di accettazione dei materiali costituenti la miscela

30.5.1.1 Aggregati

Per la produzione di fondazione o sottobase riciclati a freddo in sito con emulsione o bitume schiumato, sono generalmente utilizzati gli aggregati ottenuti dalla fresatura (disgregazione) sul posto degli strati di pavimentazione preesistenti (misto granulare non legato, misto cementato, conglomerato bituminoso) mediante una macchina riciclatrice. Si precisa che il bitume presente nel conglomerato bituminoso demolito è da considerare inattivo e pertanto non costituisce un legante ma bensì è da considerarsi come parte solida..

Qualora dovesse verificarsi la necessità di effettuare delle correzioni granulometriche durante l'esecuzione dei lavori, il materiale da integrazione dovrà essere approvviginato e dosato considerando che il quantitaivo di materia RRS utilizzato nella miscela non dovrà essere inferiore a quanto previsto in progetto (§ 2.2.8 del DM CAM) e non potrà comunque mai andare sotto al 50% (§2.3.1 DM CAM).

Ogni fornitura di aggregati con provenienza esterna rispetto al cantiere, dovrà essere accompagnata dalla marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA della norma europea armonizzata UNI EN 13242 con sistema di attestazione di conformità 2+.

Per quanto riguarda le prescrizioni degli aggregati di integrazione di tipo naturale, artificiale e riciclato, vale quanto previsto per il confezionamento della fondazione in misto cementato prodotta in impianto (§30.3). In aggiunta, gli aggregati di provenienza esterna dovranno presentare un indice di portanza CBR ≥ 50 (UNI EN13286-47) dopo maturazione in acqua per 96 ore. Il valore di rigonfiamento deve essere nullo.

30.5.1.2 Legante cementizio

Per la qualifica e le proprietà del legante cementizio si rimanda ai contenuti del § **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**.

30.5.1.3 Acqua

Per la qualifica e le proprietà dell'acqua si rimanda ai contenuti del § 30.3.3.3.

30.5.1.4 Calce

La calce aerea idrata o viva deve essere qualificata in conformità al Regolamento UE 305/2011 sui prodotti da costruzione. Ogni fornitura deve essere accompagnata dalla dichiarazione di prestazione attestante la conformità all'allegato ZA della norma europea armonizzata UNI EN 459-1. Le calci devono essere del tipo CL 90-S o CL 90-Q.

30.5.1.5 Legante bituminoso

Il bitume (nel caso si utilizzi il processo di schiumatura) o l'emulsione bituminosa devono essere qualificati in conformità al Regolamento UE 305/2011 sui prodotti da costruzione.

Ogni fornitura deve essere accompagnata dalla dichiarazione di prestazione attestante la conformità all'allegato ZA della rispettiva norma europea armonizzata (UNI EN 12591 per il bitume e UNI EN 13808 per l'emulsione bituminosa).
Le caratteristiche del legante bituminoso sotto forma di schiuma di bitume o di emulsione bituminosa sono riportate rispettivamente nel §31.4.2.2.3 (legante "A1") e nel §31.4.2.4 (legante "C2").

30.5.2 Criteri di accettazione della miscela

30.5.2.1 Generalità e operazioni preliminari

In caso di interventi di limitata estensione, lo studio della miscela riciclata a freddo in sito con emulsione bituminosa o bitume schiumato e cemento a carico dell'Appaltatore, deve essere svolto con il supporto di una serie di indagini (saggi) con prelievo di adeguato quantitativo di materiale componente la esistente fondazione che permetta di definirne la composizione e le prestazioni.

In caso di interventi di particolare rilevanza per estensione e tipologia di cantierizzazione è raccomandato prevedere l'allestimento di un campo prova, che permetta di definirne la composizione e le prestazioni, nonché le procedure costruttive di dettaglio.

Il campo prova deve essere pianificato dalla DL e inserito in un tratto all'interno del cantiere ritenuto rappresentativo per la lavorazione da svolgere. Per scegliere la posizione del campo prova devono essere preliminarmente eseguiti, almeno ogni 500 m, dei prelievi del materiale coinvolto nel processo di riciclaggio per identificare eventuali disomogeneità in termini di stratigrafia e caratteristiche fisiche (dimensione massima degli aggregati e plasticità). Nel caso in cui la DL riscontri sostanziali disomogeneità deve essere pianificato un campo prova per ogni caso caratterizzante.
Il campo prova deve avere larghezza e profondità conformi alle indicazioni progettuali o del Direttore progettuali. Durante i lavori, se richiesto dalla DL, deve essere presente un laboratorio mobile in grado di effettuare sul posto tutte le prove di laboratorio e in sito indicate di seguito. Tale programma di prove deve essere gestito da un laboratorio ufficiale o autorizzato ai sensi dell'art. 59 del DPR n. 380 o da un laboratorio accreditato ai sensi della norma UNI ISO 17025.

30.5.2.2 Determinazione della granulometria

Nel campo prova gli strati da riciclare devono essere fresati (disgregati) sul posto, tramite uno o più passaggi di macchina riciclatrice o fresa, così da sminuzzare il materiale e possibilmente renderne la granulometria "in volume" conforme al fuso riportato nella seguente tabella:

Setacci [mm]	Passante in volume [%]
40	100-100
31,5	85-100
20	70-95
10	50-80
4	30-55
2	20-40
0,5	10-20
0,25	7-15
0.063	5-10

Si precisa che la distribuzione granulometrica in volume può essere ottenuta da quella in peso, tenendo conto della massa volumica delle frazioni granulometriche impiegate. Inoltre, poiché il bitume eventualmente presente nell'aggregato riciclato RA è parte integrante dei granuli, si deve fare riferimento alla distribuzione granulometrica dell'aggregato RA ante estrazione ("curva nera"). Per consentire il controllo in fase di esecuzione del rispetto dei passanti in volume, lo studio di formulazione dovrà evidenziare, per ogni setaccio, sia la percentuale in volume che quella in peso. Se il materiale granulare presenta più del 15% di passante al setaccio 0,5 mm e un indice di plasticità superiore a 10, deve essere sottoposto a pretrattamento con calce fino a rendere nullo l'indice di plasticità. In questo caso, la miscela granulare di riferimento deve includere il dosaggio identificato di calce.
Nel caso in cui l'operazione di fresatura dello strato, anche con passate multiple, non permetta la produzione di una granulometria conforme al fuso riportato nella precedente tabella, oppure per

migliorare le caratteristiche fisico-meccaniche della miscela, è necessario prevedere un'integrazione con aggregati naturali, riciclati o aggregato RA.
Gli aggregati per la correzione granulometrica devono essere stesi con il giusto proporzionamento sullo strato reso granulare e pronto da riciclare. La verifica della correzione granulometrica deve essere eseguita su un prelievo effettuato dopo il passaggio della macchina riciclatrice o fresatrice senza l'aggiunta del legante cementizio.
La granulometria di progetto della miscela di aggregati deve ricadere nel fuso riportato nella tabella sopra. Si precisa che, poiché il bitume presente nell'aggregato RA è parte integrante dei granuli, si deve fare riferimento alla distribuzione granulometrica dell'aggregato RA ante estrazione ("curva nera").

30.5.2.3 Determinazione del contenuto di acqua

Sulla miscela di aggregati di progetto deve essere determinato il valore di progetto del contenuto di acqua riferito al peso degli aggregati asciutti e il corrispondente valore della massa volumica del secco. La procedura da seguire è illustrata nel seguito:

- La miscela granulare deve essere essiccata fino a massa costante e se ne deve determinare il contenuto d'acqua (UNI EN 1097-5). Vista la presenza di aggregato RA, la temperatura di essiccazione non deve essere superiore a 50 °C;
- Dopo l'essiccazione, il materiale deve essere suddiviso in almeno tre campioni mediante quartatura (UNI EN 932-2) e ciascun campione deve essere umidificato aggiungendo un diverso contenuto d'acqua (ad esempio 3, 4 e 5 % sul peso degli aggregati asciutti) e deve quindi essere mantenuto sigillato per almeno 12 ore al fine di permettere un'omogenea distribuzione dell'umidità;
- Subito prima della miscelazione, a ciascun campione umidificato deve essere aggiunto il dosaggio atteso di legante cementizio (ad esempio 2% sul peso degli aggregati);
- Per ogni campione devono essere compattati almeno 3 provini utilizzando un compattare giratorio (UNI EN 12697-31). Il protocollo per la compattazione prevede l'utilizzo di una fustella non drenata di diametro 150 mm, una pressione di 600 ± 18 kPa, un angolo interno di rotazione di 1,16 ± 0,02°, una velocità di rotazione di 30 rpm e numero di rotazioni pari a 100;
- La massa del campione da compattare deve essere di 2800 ± 10 g e deve essere registrata prima dell'inizio della compattazione. Dopo la compattazione ciascun provino deve essere estratto dalla fustella e pesato per determinarne l'eventuale perdita rispetto al materiale inserito in fustella, normalmente riconducibile ad acqua espulsa durante la compattazione;
- Se la perdita media dei tre provini supera lo 0,3% del peso iniziale, il contenuto d'acqua è da ritenere eccessivo e deve quindi essere scartato.
- Il dosaggio d'acqua di progetto è il valore massimo tra quelli testati e per cui la perdita in peso media dei tre provini è inferiore allo 0,3%.
- Per tale valore deve essere determinata la massa volumica secca, utilizzando, per ciascun provino: il volume geometrico (determinato dell'altezza finale a 100 giri e del diametro della fustella), la massa umida e il contento d'acqua iniziali del provino.

30.5.2.4 Determinazione del dosaggio dei leganti

Nel campo prova devono essere preparate almeno tre aree da riciclare (nel seguito indicate come "strisciate") con lunghezza tale da consentire la stabilità del dosaggio dei leganti da parte delle relative macchine operatrici (generalmente superiore a 20 m).

La DL deve stabilire il miglior posizionamento delle strisciate affinché la spanditrice volumetrica e la macchina riciclatrice possano distribuire con precisione e regolarità il dosaggio dei rispettivi leganti.
La miscela granulare presente in sito deve avere un contenuto di acqua prossimo (±2%) al valore di qualifica definito dallo studio di laboratorio (§30.5.2.3), almeno 12 ore prima dell'aggiunta dei leganti.
Nel caso si utilizzi emulsione bituminosa, tale contenuto di acqua deve risultare dalla somma dell'acqua contenuta nell'emulsione e di acqua aggiunta per umidificare gli aggregati. Per determinare il dosaggio di progetto dei leganti, sulle strisciate devono essere dosati diversi quantitativi di legante cementizio e di legante bituminoso che danno origine a diverse combinazioni.
I dosaggi da investigare, riferiti al peso secco degli aggregati, dovranno essere:

- bitume (bitume residuo nel caso di emulsione bituminosa) compreso tra l'1,5% e il 3,0%;
- cemento compreso tra 1,5% e 2,5%;
- inoltre, il dosaggio di bitume dovrà essere maggiore o uguale al dosaggio di cemento.

Le quantità di leganti da stendere devono essere calcolate utilizzando il valore della massima densità del secco definito dallo studio di laboratorio. Il peso del legante bituminoso e del legante cementizio lasciato dai mezzi in movimento su un metro quadrato deve essere calibrato e verificato sul posto. A tal fine, dopo il passaggio della macchina riciclatrice su ciascuna strisciata deve essere effettuato un prelievo della miscela riciclata (con i leganti) in stato sciolto.
Per ogni miscela riciclata deve essere verificato il contenuto di acqua e deve essere determinato il contenuto di legante bituminoso (media di due prove effettuate secondo UNI EN 12697-1 o secondo la UNI EN 12697-39 opportunamente calibrata).
Quest'ultimo valore deve corrispondere alla somma del contenuto di bitume della miscela granulare prima del riciclaggio e del dosaggio di bitume aggiunto (schiumato o residuo dell'emulsione), con una tolleranza dello 0,6% (rispetto al peso degli aggregati).
Per ogni miscela riciclata devono essere confezionati 4 provini con compattatore giratorio secondo la procedura esposta al presente paragrafo. Per ciascun provino deve essere determinata la massa volumica secca, utilizzando: il volume geometrico (determinato dell'altezza finale a 100 giri e del diametro della fustella), la massa umida e il contento d'acqua iniziali del provino.
I provini devono essere maturati in stufa in condizione non sigillata a 40 °C per 72 ore, successivamente condizionati per almeno 4 ore in camera climatica a 25 °C e infine sottoposti a prova per la determinazione del modulo di rigidezza in configurazione di trazione indiretta (IT-CY) secondo la norma UNI EN 12697-26 (Appendice C). La deformazione orizzontale imposta deve essere pari a 5 ±0.2 µm. A seguito della prova di modulo di rigidezza i provini devono risultare non danneggiati. Gli stessi provini devono essere ulteriormente condizionati per almeno 1 ore a 25 °C e sottoposti a prova di resistenza a trazione indiretta (UNI EN 12697-23).
Ai fini della scelta della combinazione di qualifica dei leganti, devono essere calcolati i valori medi delle grandezze misurate, che devono soddisfare i seguenti requisiti:

- Resistenza media a trazione indiretta a 25 °C, $R_{t,m}$ ³ 0,40 MPa;
- Modulo di rigidezza medio a 25 °C, 3000 MPa £ E_m £ 6000 MPa.

La miscela di progetto è scelta tra quelle che soddisfano tali requisiti, privilegiando le miscele con resistenza elevata e rigidezza contenuta. Dopo la compattazione su ogni strisciata devono essere eseguite le seguenti prove in sito:

- 3 prove di massa volumica del secco con volumometro a sabbia (CNR B.U. n. 22);
- 18 prove di carico (6 in prossimità di ogni prova di densità) mediante piastra dinamica leggera (ASTM E2583) per la misura del modulo dinamico E_{LFWD}, da eseguire sia entro due ore dalla compattazione che entro 24 ore. La temperatura della pavimentazione deve essere misurata e registrata insieme ai risultati.

Ai fini della scelta della procedura di compattazione, tutti i valori di massa volumica del secco in sito devono essere maggiori del 95% della massa volumica del secco dei rispettivi provini compattati in laboratorio.
La media dei valori E_{LFWD}, sulla strisciata costruita con il dosaggio di progetto dei leganti, dev'essere superiore a 100 MPa e può essere utilizzata, insieme alla deviazione standard, come riferimento per l'accettazione del lotto al termine della compattazione (paragrafo §30.5.5).
Al termine del campo prova, nel caso in cui una o più strisciate non verifichino le prestazioni richieste, esse devono essere sottoposte ad ulteriore lavorazione fino all'ottenimento dei suddetti valori minimi.

La Committente potrà altresì misurare il valore del modulo di elasticità E a mezzo di prove di deflessione dinamica con apparecchiatura ad alto rendimento Falling Weight Deflectometer (FWD) nelle modalità indicate al § 30.9, che dovrà risultare, dopo un periodo di tempo variabile tra il 90° e il 200° giorno dalla data di apertura al traffico, compreso tra 3.000 e 10.000 MPa, salvo eventuale diversa prestazione prescritta nei documenti progettuali.

Al termine del campo prova, l'Appaltatore deve predisporre una relazione che riporti:

- le caratteristiche degli aggregati di integrazione in riferimento al paragrafo §30.5.1.1;
- la composizione, la granulometria e il contenuto di bitume della miscela granulare di qualifica in riferimento al paragrafo §30.5.2.2 e alla tabella ivi presente;
- le caratteristiche del legante cementizio in riferimento al paragrafo §30.5.1.2 e dell'eventuale calce in riferimento al paragrafo §30.5.1.4;
- le caratteristiche del legante bituminoso in riferimento al §31.4.2.2.3 (legante "A1") e al §31.4.2.4 (legante "C2");
- il dosaggio di legante cementizio, legante bituminoso e acqua della miscela di qualifica in riferimento al presente paragrafo;
- la massa volumica del secco in laboratorio, la resistenza a trazione indiretta, il modulo di rigidezza della miscela di progetto in riferimento al presente paragrafo;
- la massa volumica del secco in sito, il modulo di rigidezza E_{LWD} e la deviazione standard dei valori E_{LWD} della miscela di progetto in riferimento al presente paragrafo;
- la descrizione delle procedure operative adottate in campo prova per la miscela di progetto (lavorazioni, tipo di mezzi, tempistiche, numero di passate ecc.) compresa la documentazione fotografica;
- la marcatura CE e le Dichiarazioni di Prestazione (DoP) dei materiali e tutti i certificati emessi da un laboratorio autorizzato attestanti le procedure seguite e i risultati ottenuti.

30.5.3 Prequalifica e studio preliminare della miscela

L'Appaltatore dovrà sottoporre all'accettazione della Direzione Lavori, almeno 15 giorni prima dell'inizio delle attività, una relazione contenente tutte le informazioni atte a dimostrare il rispetto dei requisiti di accettazione dei singoli materiali, della miscela e del quantitativo di materia RRS previsto in progetto in applicazione del DM CAM. I contenuti della relazione dovranno essere elaborati in maniera conforme a quanto previsto al § 30.5.2.4.

La mancata presentazione della documentazione preliminare comporta la non autorizzazione all'inizio dell'esecuzione dei lavori, né saranno accettate eventuali lavorazioni svolte prima dell'approvazione delle modalità esecutive.

I requisiti d'accettazione potranno inoltre essere accertati con ulteriori prove a cura della Direzione Lavori sia in fase di prequalifica presso il fornitore (controllo non vincolante per l'autorizzazione), sia

in corso d'opera, prelevando il materiale in sito o ancora presso il fornitore, prima e dopo avere effettuato le lavorazioni.

30.5.4 Modalità esecutive

La costruzione dello strato riciclato a freddo in sito con bitume e cemento deve essere realizzata per mezzo di un treno di riciclaggio composto da una spanditrice volumetrica per il legante cementizio, un'autobotte per l'acqua, un'autobotte per il legante bituminoso (bitume schiumato o emulsione bituminosa), una macchina riciclatrice (dotata di sistema per la schiumatura nel caso di impiego di bitume schiumato), un rullo monocilindro vibrante, un rullo gommato e una livellatrice. Nel seguito sono indicate le procedure operative generali, che devono essere integrate dalle procedure operative di dettaglio definite nell'ambito del campo prova.

Lo strato esistente deve essere fresato (disgregato) sul posto con una o più passate di macchina riciclatrice o fresa, fino alla profondità di progetto. Tale operazione deve avvenire con almeno un giorno di anticipo rispetto all'aggiunta dei leganti e alla compattazione, ciò per consentire il prelievo della miscela granulare sul quale verificare il contenuto d'acqua naturale, il contenuto di bitume e la granulometria.

Qualora sia necessaria una correzione granulometrica, un'integrazione della miscela granulare oppure non sia a disposizione sul posto il materiale per la realizzazione dello strato, potranno essere importati e miscelati in sito aggregati naturali e conglomerato bituminoso di recupero (aggregato RA). I materiali di integrazione devono essere scaricati sul piano di posa e livellati alla quota opportuna (di strato non compattato).

Occorre precisare che deve essere previsto il pretrattamento a calce nel caso in cui il materiale da riciclare contenga più del 15% di passante al setaccio 0,5 mm e un indice di plasticità superiore a 10.

La miscela granulare presente in sito deve avere un contenuto di acqua prossimo (±2%) al valore di progetto definito dallo studio di laboratorio, almeno 12 ore prima dell'aggiunta dei leganti. Nel caso di impiego di emulsione bituminosa, nel calcolo del contenuto di acqua si deve includere anche l'acqua apportata dall'emulsione. L'eventuale aggiunta di acqua è da effettuarsi in modo omogeneo mediante dispositivi spruzzatori. Nel caso di contenuto d'acqua troppo elevato è necessario rilavorare il materiale granulare in modo da permetterne l'asciugatura per evaporazione. È inoltre consentito l'impego di quantità limitate di calce viva (< 2%). In nessun caso è consentito aggiungere legante cementizio per compensare l'eccesso di umidità.

A seguito della verifica della rispondenza al progetto del contenuto di acqua, della composizione e della granulometria, la quantità di progetto del legante cementizio deve essere stesa sullo strato reso granulare. Quindi la macchina riciclatrice opera iniettando il dosaggio di progetto di legante bituminoso e mescolando omogeneamente fino alla profondità stabilita.

La compattazione è immediatamente eseguita con un rullo monocilindro vibrante da almeno 140 kN e un rullo gommato da almeno 180 kN. L'estradosso dello strato deve essere sagomato nel rispetto delle quote e delle pendenze di progetto tramite una livellatrice.

Dopo 24 ore dalla realizzazione, lo strato deve essere protetto con la spruzzatura di emulsione bituminosa cationica (§31.4.2.4, legante "C1") in ragione di 1 kg/m² di bitume residuo, successivamente saturata con lo spargimento di sabbia. Nel caso di traffico da cantiere o di condizioni meteo avverse, tale operazione deve essere svolta subito dopo la compattazione.

A insindacabile giudizio della DL, la lavorazione può essere sospesa con temperatura dell'aria inferiore a 10 °C, superiore a 35 °C oppure in caso di pioggia. La macchina riciclatrice o fresa deve eseguire la fresatura sul posto dello strato da riciclare sulla tratta successiva in programma per il riciclaggio. Solo nell'area destinata al prelievo della miscela granulare, sul quale verificare la correttezza del contenuto d'acqua e della granulometria e misurare il contenuto di bitume, deve

prova di massa volumica del secco in sito con volumometro a sabbia (CNR B.U. n. 22) essere eseguito un passaggio aggiuntivo di fresa per simulare la granulometria finale.
Le lavorazioni successive e l'apertura al traffico di cantiere dipendono dalle resistenze raggiunte, e comunque saranno decise di volta in volta dalla DL.

30.5.5 Controlli in corso d'opera

Con frequenza ogni 500 m^3 o giornaliera verranno eseguiti, a cura della Direzione Lavori in contraddittorio e con l'assistenza dell'Appaltatore, i seguenti controlli:

- N. 1 in cui la misura del contenuto d'acqua del materiale è effettuata utilizzando il metodo tradizionale (UNI EN 1097-05) o il metodo con forno a microonde (ASTM D4643) nel rispetto dei limiti di cui al § 30.5.2.4.
- In alternativa alla precedente prova di massa volumica del secco, N. 1 verifica dinamica di portanza effettuata mediante n. 20 battute LFWD da eseguire entro 24 ore dalla posa in opera su due allineamenti posti a 50 cm dal bordo della strisciata. La media E_{LFWD} di queste battute deve essere superiore a 100 MPa.
- N. 1 prova della distribuzione granulometrica degli aggregati secondo la UNI EN 933-1 nei limiti di cui al § 30.5.2.2. Il controllo della granulometria in sito e del contenuto naturale di acqua deve essere effettuato prelevando il materiale ottenuto dalla fresatura della pavimentazione esistente, eventualmente corretto con gli aggregati di integrazione, prima dell'aggiunta del legante cementizio. Solo nell'area destinata al prelievo, per simulare la granulometria finale, va seguita un passaggio aggiuntivo di fresa.
- N. 1 prova del contenuto di cemento secondo B.U. C.N.R. n. 29 nei limiti di cui al § 30.5.2.2
- N. 1 prova del contenuto di bitume secondo UNI EN 12697-1 o secondo la UNI EN 12697-39 opportunamente calibrata). Tale valore deve corrispondere alla somma del contenuto di bitume della miscela granulare prelevata prima dell'aggiunta dei leganti e del dosaggio di bitume aggiunto (schiumato o residuo dell'emulsione), con una tolleranza dello 0,6% (rispetto al peso degli aggregati).
- N. 1 prova per la determinazione del modulo di rigidezza in configurazione di trazione indiretta (IT-CY) secondo la norma UNI EN 12697-26 (Appendice C). I provini devono essere maturati in stufa in condizione non sigillata a 40°C per 72 ore, successivamente condizionati per almeno 4 ore 50 in camera climatica a 25 °C e infine sottoposti a prova. La deformazione orizzontale imposta deve essere pari a 5 ± 0.2 µm. I limiti di accettazione sono indicati al § 30.5.2.4.
- N. 1 prova per la determinazione della resistenza a trazione indiretta (UNI EN 12697-23). I limiti di accettazione sono indicati al § 30.5.2.4.

Con frequenza ogni 10.000 m^3 di strato finito compattato sono da verificare all'impianto le seguenti qualità degli aggregati di cui ai requisiti del § 30.5.1.1:

- N. 1 prova della granulometria, % di particelle frantumate, contenuto di fini aggregato grosso e fine, valutazione del fine equivalente in sabbia, valutazione del fine blu di metilene, indice di plasticità. Per gli eventuali aggregati riciclati: contenuto di frammenti di conglomerati cementizi, contenuto di vetro, contenuto di materiale galleggiante, contenuto di terreno vegetale, test di cessione per la conformità ai valori dell'Allegato n. 3 del D.M. 05/02/1998 per il materiale di origine riciclata.

Con frequenza ogni 20.000 m^3 di strato finito compattato sono da verificare all'impianto le seguenti qualità degli aggregati di cui ai requisiti del § 30.5.1.1:

- N. 1 prova del coefficiente di appiattimento, coefficiente di forma, resistenza alla frammentazione, resistenza all'usura, assorbimento d'acqua, solfato solubile in acido, zolfo totale, solfato idrosolubile, stabilità volumetrica, sensibilità al gelo.

Per quanto riguarda ***il legante bituminoso*** è' necessario eseguire un prelievo all'impianto per fornitore e prodotto al primo utilizzo e successivamente con cadenza bisettimanale, per la verifica delle caratteristiche approvate in qualifica nel rispetto dei limiti riportati nei § 31.4.2.2.2 per bitume tipo A, § 31.4.2.2.3 per bitume per schiumatura tipo A1, § 31.4.2.3 per bitume modificato hard con polimeri SBS tipo B, § 31.4.2.4 per emulsioni bituminose cationiche non modificate tipo C, C1 e C2, § 31.4.2.5 per emulsioni bituminose cationiche modificate tipo D1 e D2. Ai predetti limiti si applicano le tolleranze di seguito riportate:

- Punto di Rammollimento: variazione di 5 °C rispetto al limite inferiore e/o superiore.
- Penetrazione a 25°C: variazione di 5 mm rispetto al limite inferiore e/o superiore.
- Viscosità dinamica a 160 °C, $\dot{\gamma}$=100 s^{-1}: variazione di 0,1 Pa*s rispetto al limite inferiore e/o superiore.
- Ritorno elastico a 25 °C, 50 mm/min: variazione di 5 punti percentuali rispetto al limite inferiore e/o superiore.

La mancata rispondenza ad almeno una dei precedenti 4 requisiti può comportare l'applicazione della penale del prezzo dello strato corrispondente al campione contenente la partita di bitume non conforme di cui al § 31.10.2.4.
L'Appaltatore dovrà provvedere alla verifica topografica della sagoma e dello spessore di progetto della fondazione finita rispetto alle previsioni progettuali prima di procedere con la posa degli strati successivi. Il rilievo deve misurare una griglia di punti di misura aventi, in direzione longitudinale, un distanziamento massimo di 20 m. La griglia deve, inoltre, permettere la verifica delle pendenze di progetto. Eventuali carenze di quota localizzate, fino a 10 mm, possono essere compensate dallo spessore dello strato superiore senza oneri ulteriori, nel caso di quote superiori a quelle di progetto lo strato, ad insindacabile giudizio della DL, può essere rimosso e risagomato a cura e spese dell'Appaltatore. Il rilevo, ed ogni suo successivo aggiornamento, deve essere trasmesso al Direttore dei Lavori in formato dwg. La Direzione Lavori, in caso di dubbi sulla regolarità superficiale dello strato, può eseguire, ove ritiene opportuno, la verifica della regolarità a mezzo di un regolo di 4 m di lunghezza, disposto secondo due direzioni ortogonali o mediante altra metodologia approvata dalla DL. Sono ammessi scostamenti rispetto ai piani di progetto non superiori a 10 mm.

In aggiunta alle prove di cui sopra, al completamento della posa di tutti gli strati di pavimenazione, potranno essere effettuate, a cura della Committente, dei controlli con apparecchiature ad alto rendimento per la misura del Modulo Elastico dello o degli strati di supporto sopra descritti, con le modalità indicate al § 30.9.

30.5.6 Tolleranze di esecuzione e penali

Per la granulometria della miscela è ammessa una tolleranza con penale per fusi della miscela di ± 7% fino al passante al setaccio UNI con apertura 4 mm e di ± 5% per il passante al setaccio UNI 2 mm ed inferiori, purché non siano superati i limiti del fuso. Questa tolleranza è accettata solo se contenuta nel 10% del totale delle prove eseguite al termine dei lavori sulla singola WBS. La penale per il superamento dei fusi nei limiti indicati è pari al 10% dell'intera lavorazione da applicare alla superficie interessata dalla non conformità.
La quota della superficie finita della sagoma della fondazione non deve scostarsi dalla sagoma di Progetto di oltre ±10 mm. Lo spessore deve essere quello prescritto, con una tolleranza del ± 5%

purché questa differenza si presenti solo saltuariamente. In caso contrario l'Appaltatore, a sua cura e spese, dovrà provvedere al raggiungimento dello spessore prescritto.
Per valori medi di portanza, densità, resistenza a compressione e trazione e contenuto di cemento inferiori al 10% rispetto ai valori di Progetto viene applicata una detrazione del 10% del prezzo. Per carenze comprese tra il 10 ed il 20% viene applicata una detrazione del 20% del prezzo, mentre per carenze superiori al 20%, il tratto considerato deve essere demolito e ricostruito.
Per la % di bitume, in caso di non conformità, a giudizio insindacabile della DL, può essere applicata una penale pari al 10% del costo del lotto sottoposto a prova. In caso in cui la non conformità sia tale da pregiudicare la funzionalità dell'opera, a giudizio insindacabile della DL, può essere richiesta la rimozione e ricostruzione a cura e spese dell'Impresa dello strato stesso.

30.6 Fondazione o sottobase riciclata a freddo in impianto con bitume e cemento

La miscela per strato di fondazione o sottobase riciclato a freddo è costituita da una miscela granulare legata tipicamente con legante cementizio e bituminoso. Quest'ultimo è tipicamente rappresentato da emulsione bituminosa o da bitume schiumato. Nel caso di produzione in impianto, Il confezionamento della miscela avviene in impianti fissi o mobili o mobili localizzati internamente o esternamente dall'area di cantiere.

La miscela granulare è principalmente composta da aggregato riciclato derivante dalla demolizione e recupero di conglomerati bituminosi che vengono processati in impianto. La miscela granulare, composta con l'obiettivo di massimizzare il reimpiego di materia riciclata, può essere comunque soggetta a integrazione con aggregati naturali o frantumati di primo impiego o con sottoprodotti.

30.6.1 Criteri di accettazione dei materiali costituenti la miscela e della miscela stessa

In linea generale, i materiali di provenienza esterna dal cantiere o che l'Appaltatore approvvigionerà da terzi dovranno essere qualificati in conformità al Regolamento UE n°305/2011 sui prodotti da costruzione.

30.6.1.1 Aggregati

Il riciclaggio a freddo con cemento e legante bituminoso prevede prettamente il reimpiego di conglomerato bituminoso derivante dalla demolizione di pavimentazioni esistenti. In via preferenziale l'aggregato riciclato dovrà provenire da pavimentazioni autostradali della rete di ASPI.

In tutti i casi in cui il conglomerato bituminoso demolito (o fresato d'asfalto) venga inizialmente classificato come rifiuto, il suo riutilizzo potrà avvenire unicamente a valle della cessazione di tale qualifica ai sensi del DM 69/2018. Nelle condizioni in cui il fresato d'asfalto non dovesse essere classificato come rifiuto - ai sensi della normativa ambientale vigente - il suo reimpiego potrà comunque avvenire unicamente a valle di comprovata idoneità ambientale (e tecnica). Successivamente all'avvenuto recupero ambientale il materiale dovrà essere processato, vagliato e stoccato in cumuli come previsto al § 31.4.1.2 di questo Capitolato. Si precisa che il bitume presente nell'aggregato del conglomerato bituminoso recuperato è da considerare inattivo e pertanto non costituisce un legante. Unitamente alla componente minerale esso è invece da considerare come componente solida (o litica) della miscela.

Qualora dovesse verificarsi la necessità di effettuare delle correzioni granulometriche durante l'esecuzione dei lavori, il materiale da integrazione dovrà essere approvvigionato e dosato considerando che il quantitativo di materia RRS utilizzato nella miscela non dovrà essere inferiore a quanto previsto in progetto (§ 2.2.8 del DM CAM) e non potrà comunque mai andare sotto al 50%

(§2.3.1 DM CAM). Per il materiale da integrazione valgono i requisiti di accettazione riportati in seguito.

Indipendentemente dalla provenienza e dalla percentuale di impiego, ogni fornitura di aggregati che l'Appaltatore approvvigiona da terzi o che deriva unicamente da una campagna di recupero da lui stesso condotta dovrà essere corredata da marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA della UNI EN 13242 con sistema di attestazione di conformità 2+ inclusa di Dichiarazione di Prestazione (DoP). La certificazione CE e la DoP dovranno essere consegnati alla Direzione Lavori prima dell'inizio dei lavori e ad ogni cambio di lotto di aggregato.

Ad ogni modo, la Direzione Lavori ha la facoltà di richiedere tale documentazione in ogni fase delle lavorazioni.

I requisiti di idoneità tecnica degli impiegati utilizzabili sono riportati al § 30.3.2.1 a cui bisogna aggiungere il requisito dell'indice di portanza CBR che dovrà essere ≥ 50 con rigonfiamento nullo dopo 96 ore di immersione.

30.6.1.2 Cemento

Per la qualifica e le proprietà del legante cementizio si rimanda ai contenuti del § 30.3.1.2 e del § 30.3.3.2.

30.6.1.3 Acqua

Per la qualifica e le proprietà dell'acqua si rimanda ai contenuti del § 30.3.3.3.

30.6.1.4 Legante bituminoso

Il bitume (nel caso si utilizzi il processo di schiumatura) o l'emulsione bituminosa devono essere qualificati in conformità al Regolamento UE 305/2011 sui prodotti da costruzione.
Ogni fornitura deve essere accompagnata dalla dichiarazione di prestazione attestante la conformità all'allegato ZA della rispettiva norma europea armonizzata (UNI EN 12591 per il bitume impiegato nell schiumatura o UNI EN 13808 per l'emulsione bituminosa).
Le caratteristiche del legante bituminoso sotto forma di schiuma di bitume o di emulsione bituminosa sono riportate rispettivamente nel §31.4.2.2.3 (legante "A1") e nel §31.4.2.4 (legante "C2").

30.6.1.5 Miscela confezionata in impianto esterno all'area di cantiere

Ogni fornitura di miscela in ingresso al cantiere dovrà essere accompagnata da Documento di Trasporto corredato da rapporto di carico. Quest'ultimo dovrà essere compilato includendo i riferimenti ai materiali utilizzati (certificato CE o relazione tecnica, entrambi in corso di validità), al loro proporzionamento, e alle caratteristiche compositive attestanti la conformità all'ultima miscela prequalificata secondo quanto riportato in questo articolo di Capitolato.

30.6.1.6 Miscela confezionata in impianto interno all'area di cantiere

Indipendentemente da quanto previsto al § 30.6.1.1, ogni fornitura di aggregati di provenienza esterna al cantiere dovrà essere accompagnata da marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA della UNI EN 13242 con sistema di attestazione di conformità 2+ inclusa di Dichiarazione di Prestazione (DOP).

Nel caso in cui si intenda impiegare, in frazione unica o miscelati, aggregati provenienti dall'area interna al cantiere, il loro utilizzo sarà ammesso unicamente previa attestazione di conformità sia

ambientale, ai sensi della normativa ambientale vigente, che tecnica, ai sensi di quanto previsto in questo articolo di Capitolato. Tale attestazione dovrà essere definita a mezzo di una relazione tecnica corredata da certificati di laboratorio redatta interamente ad onere dell'Appaltatore, che verrà consegnata alla Direzione Lavori in anticipo rispetto ai lavori che prevedono l'impiego di tali aggregati. In generale, il reimpiego di aggregati derivanti da lavorazioni condotte internamente al cantiere dovrà comunque essere gestito in progetto secondo quanto considerato nei piani di utilizzo e nel capitolato ambientale.

Per quanto concerne alla produzione della miscela, in caso di impianto interno, l'Appaltatore dovrà provvedere a redigere una relazione inerente alla produzione giornaliera nella quale riporterà i dati relativi agli impasti prodotti indicando quanto previsto per il rapporto di carico indicato al § 30.6.1.5. La Direzione Lavori ha la facoltà di richiedere l'elaborazione di tale relazione con una frequenza diversa in funzione della quantità di miscela prodotta.

30.6.1.7 Modalità di certificazione del quantitativo di materia RRS impiegato

Il quantitativo di materia RRS impiegato nelle miscele dovrà essere certificato utilizzando uno dei mezzi di prova tra quelli elencati al paragrafo 2.1.2 dell'allegato tecnico del DM CAM.

In base alle tipologie di materia RRS prevista, ai relativi quantitativi e alle modalità di certificazione indicate tra quelle previste dal DM CAM (§ 2.1.2), l'Appaltatore dovrà fornire alla Direzione Lavori il certificato del quantitativo di materia RRS previsto in ciascuna miscela in progetto.

L'Appaltatore avrà la facoltà di proporre alla Direzione Lavori - senza richiedere alcun onere aggiuntivo - una o più tipologie di miscela, comunque conformi a questo articolo di Capitolato, con composizione differente da quella prevista in progetto. Nel caso in cui la miscela proposta preveda l'impiego di quantitativi di materia RRS superiori a quelli previsti in progetto, l'Appaltatore dovrà dimostrare il raggiungimento dei requisiti previsti in questo Capitolato tramite un campo prova eseguito a suo onere e spese.

L'Appaltatore potrà inoltre proporre una modalità di certificazione differente da quella prevista in progetto.

La Direzione Lavori, a suo insindacabile giudizio e sentito eventualmente anche il parere del progettista potrà accettare o meno la proposta presentata.

Una volta stabilita la miscela e la tipologia di certificato, quest'ultimo dovrà essere inserito come riferimento all'interno del rapporto di carico al § 30.6.1.5 o della relazione giornaliera al § 30.6.1.6.

30.6.1.8 Controlli di accettazione materiali

L'Appaltatore dovrà sottoporre alla Direzione Lavori l'intera documentazione attestante le caratteristiche del materiale che intende utilizzare almeno 15 giorni prima dell'avvio dei lavori.
Durante i lavori, dovranno essere emessi nuovi certificati di prequalifica dei materiali costituenti la miscela e della miscela stessa ad ogni cambio di lotto di approvvigionamento o comunque secondo quanto previsto al § 30.6.6. Viene lasciata la facoltà alla Direzione Lavori di richiedere la modifica delle frequenze di campionamento e dei limiti di utilizzo oltre i quali ripetere la prequalifica dei materiali.
Qualora la Direzione Lavori accerti la non corrispondenza anche di una singola caratteristica richiesta, la DL stessa potrà non consentire l'impiego del materiale setto o potrà richiedere la predisposizione di correttivi, a cura e onere dell'Appaltatore, tali da rendere il materiale idoneo all'utilizzo.

30.6.2 Prequalifica e studio preliminare della miscela

I valori di qualifica della granulometria, del contenuto d'acqua, del dosaggio di legante bituminoso (sotto forma di bitume schiumato o emulsione bituminosa) e del dosaggio di legante cementizio (e delle eventuali aggiunte), sono stabiliti in base ad uno studio di laboratorio certificato.

30.6.2.1 Determinazione della granulometria

La miscela granulare da impiegare per il riciclaggio a freddo in impianto con emulsione bituminosa o bitume schiumato e cemento può essere ottenuta adottando aggregato RA in frazione unica o mediante combinazione di più classi dimensionali. Per migliorare le caratteristiche fisico-meccaniche della miscela oppure nel caso in cui l'aggregato RA a disposizione non permetta la produzione di una granulometria conforme al fuso riportato nella seguente tabella, è necessario prevedere un'integrazione con aggregati naturali.

Setacci [mm]	Passante in volume [%]
40	100-100
31,5	85-100
20	70-95
10	50-80
4	30-55
2	20-40
0,5	10-20
0,25	7-15
0.063	5-10

La granulometria di qualifica "in volume" della miscela di aggregati deve ricadere nel fuso riportato in tabella precedente. Si precisa che la distribuzione granulometrica in volume può essere ottenuta da quella in peso, tenendo conto della massa volumica delle frazioni granulometriche impiegate. Inoltre, poiché il bitume presente nell'aggregato RA è parte integrante dei granuli, si deve fare riferimento alla distribuzione granulometrica dell'aggregato RA ante estrazione ("curva nera"). Per consentire il controllo in fase di esecuzione del rispetto dei passanti in volume, il progetto della miscela dovrà evidenziare, per ogni setaccio, sia la percentuale in volume che quella in peso.

30.6.2.2 Determinazione del contenuto di acqua

Sulla miscela di aggregati di progetto deve essere determinato il valore di progetto del contenuto di acqua riferito al peso degli aggregati asciutti e il corrispondente valore della massa volumica del secco. La procedura da seguire è illustrata nel seguito:

- la miscela granulare deve essere essiccata fino a massa costante e se ne deve determinare il contenuto d'acqua (UNI EN 1097-5). Vista la presenza di aggregato RA, la temperatura di essiccazione non dev'essere superiore a 50 °C;
- Dopo l'essiccazione, la miscela granulare deve essere suddivisa in almeno tre campioni mediante quartatura (UNI EN 932-2), e ciascun campione deve essere umidificato aggiungendo un diverso dosaggio d'acqua (ad esempio 3, 4 e 5% sul peso degli aggregati asciutti) e deve quindi essere mantenuto sigillato per almeno 12 ore al fine di permettere un'omogenea distribuzione dell'umidità;
- Subito prima della miscelazione a ciascun campione umidificato deve essere aggiunto il dosaggio atteso di legante cementizio (ad esempio 2% sul peso degli aggregati);

- Per ogni campione devono essere compattati almeno 3 provini utilizzando un compattare giratorio (UNI EN 12697-31). Il protocollo per la compattazione prevede l'utilizzo di una fustella non drenata di diametro 150 mm, una pressione di 600 ± 18 kPa, un angolo interno di rotazione di 1,16 ± 0,02°, una velocità di rotazione di 30 rpm, e numero di rotazioni pari a 100;
- La massa del campione da compattare dev'essere di 2800 ± 10 g e deve essere registrata prima dell'inizio della compattazione. Dopo la compattazione ciascun provino deve essere estratto dalla fustella e pesato per determinarne l'eventuale perdita rispetto al materiale inserito in fustella, normalmente riconducibile ad acqua espulsa durante la compattazione;
- Se la perdita media dei tre provini supera lo 0,3% del peso iniziale, il contenuto d'acqua è da ritenere eccessivo e deve quindi essere scartato;
- Il dosaggio d'acqua di progetto è il valore massimo tra quelli testati e per cui la perdita in peso media dei tre provini è inferiore allo 0,3%;
- Per tale valore deve essere determinata la massa volumica secca, utilizzando, per ciascun provino: il volume geometrico (determinato dell'altezza finale a 100 giri e del diametro della fustella), la massa umida e il contento d'acqua iniziali del provino.

30.6.2.3 Determinazione del dosaggio dei leganti

Per determinare il dosaggio di qualifica dei leganti devono essere prodotte in laboratorio almeno 4 miscele con diversi quantitativi di legante bituminoso e di legante cementizio. I dosaggi da investigare, riferiti al peso secco degli aggregati, dovranno essere:

- bitume (bitume residuo nel caso di emulsione bituminosa) compreso tra l'1,5% e il 3,0%;
- cemento compreso tra 1,5% e 2,5%;
- inoltre, il dosaggio di bitume dovrà essere maggiore o uguale al dosaggio di cemento.

Tutte le miscele dovranno avere il contenuto di acqua di progetto determinato nello studio di laboratorio al paragrafo §30.6.2.3. Nel caso si utilizzi emulsione bituminosa, tale contenuto d'acqua deve risultare dalla somma dell'acqua contenuta nell'emulsione e di acqua aggiunta per umidificare gli aggregati.

Per la miscelazione e la compattazione deve essere seguita la procedura descritta al paragrafo §30.6.2.3, con le seguenti modifiche:

- per l'umidificazione iniziale del campione si deve utilizzare il dosaggio di acqua di progetto (nel caso si utilizzi bitume schiumato), a cui va sottratta l'acqua eventualmente apportata dall'emulsione bituminosa;
- dopo l'aggiunta del cemento si effettua una prima miscelazione, si aggiunge quindi il legante bituminoso (emulsione o bitume schiumato) e quindi si effettua la miscelazione finale, prima di procedere alla compattazione.

Per la produzione in laboratorio del bitume schiumato deve essere utilizzata una macchina schiumatrice opportunamente calibrata. In particolare, il laboratorio incaricato del progetto deve verificare la quantità di bitume effettivamente aggiunta alla miscela confrontando il contenuto di bitume prima e dopo l'aggiunta della schiuma di bitume. Per ogni miscela riciclata devono essere confezionati 4 provini con compattatore giratorio secondo la procedura esposta al paragrafo §30.6.2.3. Per ciascun provino deve essere determinata la massa volumica secca, utilizzando: il volume geometrico (determinato dell'altezza finale a 100 giri e del diametro della fustella), la massa umida e il contenuto d'acqua iniziali del provino.

I provini devono essere maturati in stufa in condizione non sigillata a 40 °C per 72 ore, successivamente condizionati per almeno 4 ore in camera climatica a 25 °C e infine sottoposti a prova per la determinazione del modulo di rigidezza in configurazione di trazione indiretta (IT-CY) secondo la norma UNI EN 12697-26 (Appendice C). La deformazione orizzontale imposta deve

essere pari a 5 ± 0.2 µm. A seguito della prova di modulo di rigidezza i provini devono risultare intatti. Gli stessi provini devono essere ulteriormente condizionati per almeno 1 ora a 25 °C e sottoposti a prova di resistenza a trazione indiretta (UNI EN 12697-23).
Ai fini della scelta della combinazione di progetto dei leganti, devono essere calcolati i valori medi delle grandezze misurate, che devono soddisfare i seguenti requisiti:

- Resistenza media a trazione indiretta a 25 °C, Rt,m ³ 0,40 MPa;
- Modulo di rigidezza medio a 25 °C, 3000 MPa £ Em £ 6000 MPa.

La miscela di progetto è scelta tra quelle che soddisfano tali requisiti, privilegiando miscele con resistenza elevata e rigidezza contenuta.
Per calibrare il processo di posa in opera della miscela di progetto prodotta in impianto, la DL può richiedere la realizzazione di una stesa di prova in vera grandezza, a totale carico dell'Appaltatore. La stesa sarà realizzata in un tratto individuato dalla DL rappresentativo per la lavorazione da svolgere. La stesa deve avere lunghezza tale da consentire la stabilità di produzione in impianto e di realizzazione, nonché larghezza e profondità conformi al progetto. La compattazione deve essere eseguita immediatamente dopo la stesa prevedendo l'impiego di un rullo monocilindro vibrante da almeno 140 kN e un rullo gommato da almeno 180 kN.
La miscela prodotta in impianto deve essere campionata per permettere la verifica del contenuto di acqua, del contenuto di legante bituminoso, della massa volumica secca, del modulo di rigidezza e della resistenza a trazione indiretta secondo le stesse procedure sopraesposte.
Dopo la compattazione della stesa di prova devono essere eseguite 3 prove di massa volumica del secco con volumometro a sabbia (CNR B.U. n. 22). Ai fini della conferma della procedura di compattazione, tutti i valori di massa volumica del secco in sito devono essere maggiori del 95% della massa volumica del secco dei provini della miscela di progetto compattati in laboratorio.
Se la stesa di prova è eseguita all'interno del cantiere, nel caso in cui le prestazioni richieste non siano verificate, essa deve essere rimossa e la procedura rieseguita.

La Committente potrà altresì misurare il valore del modulo di elasticità E a mezzo di prove di deflessione dinamica con apparecchiatura ad alto rendimento Falling Weight Deflectometer (FWD) nelle modalità indicate al § 30.9, che dovrà risultare, dopo un periodo di tempo variabile tra il 90° e il 200° giorno dalla data di apertura al traffico, compreso tra 3.000 e 10.000 MPa, salvo eventuale diversa prestazione prescritta nei documenti progettuali.

Al termine della stesa di prova, l'Impresa deve predisporre una relazione che riporti:

- le caratteristiche degli aggregati di integrazione in riferimento al paragrafo §30.6.1.1;
- la composizione, la granulometria e il contenuto di bitume della miscela granulare di progetto in riferimento in riferimento al paragrafo §30.6.2.2 e alla tabella ivi contenuta;
- le caratteristiche del legante cementizio in riferimento al paragrafo §30.6.1.2;
- le caratteristiche del legante bituminoso in riferimento al §31.4.2.2.3 (legante "A1") e al §31.4.2.4 (legante "C2");
- il dosaggio di legante cementizio, legante bituminoso e acqua della miscela di progetto in riferimento al presente paragrafo;
- la massa volumica del secco in laboratorio, la resistenza a trazione indiretta e il modulo di rigidezza della miscela di progetto in riferimento al presente paragrafo;
- la descrizione delle procedure operative in impianto (conformemente a §30.6.3) e di stesa (conformemente a §30.6.5) per la miscela di qualifica (funzionamento, velocità, calibrazioni, tempistiche, tipo di mezzi, numero di passate ecc.) compresa la documentazione fotografica;
- la marcatura CE e le Dichiarazioni di Prestazione (DoP) dei materiali e tutti i certificati emessi da un laboratorio autorizzato attestanti le procedure seguite e i risultati ottenuti.

30.6.3 Confezionamento delle miscele

La miscela riciclata a freddo in impianto con bitume (bitume schiumato oppure emulsione bituminosa) e cemento deve essere confezionata in impianti fissi o mobili, di idonee caratteristiche, mantenuti sempre perfettamente funzionanti in ogni loro parte.
L'impianto deve permettere inserimento di bitume e il processo di schiumatura o l'iniezione di emulsione bituminosa nel corretto dosaggio e il controllo delle temperature di impiego. Simultaneamente all'inserimento del legante bituminoso, l'impianto deve poter dosare con precisione il legante cementizio. L'impianto deve garantire uniformità di produzione ed essere in grado di realizzare miscele del tutto rispondenti a quelle di progetto indicate nella documentazione presentata per l'approvazione.
La zona destinata allo stoccaggio degli aggregati, incluso l'aggregato RA, deve essere preventivamente e convenientemente sistemata per evitare la presenza di sostanze argillose e ristagni di acqua che possono contaminare gli aggregati. I cumuli delle diverse pezzature di aggregato devono essere separati tra di loro per evitare la mescolanza tra aggregati differenti e si raccomanda che il cumulo dell'aggregato RA sia riparato dall'acqua piovana mediante specifiche coperture. L'operazione di rifornimento attraverso i predosatori delle tramogge deve essere eseguita con la massima cura per regolare il deflusso degli aggregati secondo le specifiche di progetto. Per ciascuna delle classi di aggregati impiegate dovrà essere utilizzato un pre-dosatore dedicato.
Lo stoccaggio del cemento deve essere effettuato garantendo la protezione dall'umidità atmosferica e da impurità.

30.6.4 Controlli di accettazione della miscela

L'Appaltatore dovrà sottoporre all'accettazione della Direzione Lavori, almeno 15 giorni prima dell'inizio delle attività, una relazione contenente tutte le informazioni atte a dimostrare il rispetto dei requisiti di accettazione dei singoli materiali e della miscela. Nello specifico è richiesto che tale relazione sia conforme ai contenuti del paragrafo 30.6.2 e che richiami quanto previsto al 30.6.1.7.
La mancata presentazione della documentazione preliminare comporta la non autorizzazione all'inizio dell'esecuzione dei lavori, né saranno accettate eventuali lavorazioni svolte prima dell'approvazione delle modalità esecutive.
I requisiti d'accettazione potranno inoltre essere accertati con ulteriori prove a cura della Direzione Lavori sia in fase di prequalifica presso il fornitore (controllo non vincolante per l'autorizzazione), sia in corso d'opera, prelevando il materiale in sito o ancora presso il fornitore, prima e dopo avere effettuato le lavorazioni.

30.6.5 Modalità esecutive

La miscela riciclata a freddo in impianto con emulsione bituminosa o bitume schiumato e cemento deve essere stesa sul piano finito dello strato sottostante dopo che sia stata accettata dalla DL la rispondenza di quest'ultimo ai requisiti di quota, sagoma e capacità portante prescritti. Prima di effettuare la stesa è necessario correggere ogni eventuale depressione o avvallamento riscontrati sul piano di posa.
La miscela deve essere stesa in strati di spessore non superiore a 25 cm mediante l'impiego di vibrofinitrici. Il tempo massimo intercorrente tra la miscelazione e l'inizio delle operazioni di compattazione non deve superare i 60 minuti o, comunque, essere compatibile con il tempo di inizio presa del legante idraulico utilizzato per non pregiudicare la lavorabilità della miscela.
È necessario proteggere la miscela durante il trasporto dall'impianto di produzione al luogo di impiego per evitare un'eccessiva perdita di umidità.
Il tempo intercorrente tra la stesa di due strisce affiancate non deve superare di norma le due ore per garantire la continuità della struttura. Particolari accorgimenti devono adottarsi nella formazione

dei giunti longitudinali che andranno protetti con fogli di polietilene o materiale similare. Ogni giunto trasversale deve essere rettificato con il taglio (fresatura) dell'ultima parte dello strato precedentemente realizzato, in modo da ottenere una parete verticale.
La compattazione è eseguita immediatamente dopo la stesa con un rullo monocilindro vibrante da almeno 140 kN e un rullo gommato da almeno 180 kN. L'estradosso dello strato deve essere sagomato nel rispetto delle quote e delle pendenze di progetto. Dopo 24 ore dalla realizzazione lo strato deve essere protetto con la spruzzatura di emulsione bituminosa cationica (§31.4.2.4, legante "C1") in ragione di 1 kg/m² di bitume residuo, successivamente saturata con lo spargimento di sabbia. Nel caso di traffico da cantiere o di condizioni meteo avverse, tale operazione deve essere svolta subito dopo la compattazione.
A insindacabile giudizio della DL, la lavorazione può essere sospesa con temperatura dell'aria inferiore a 10 °C, superiore a 35 °C oppure in caso di pioggia. Strati eventualmente compromessi dalle condizioni meteorologiche, dalla circolazione dei mezzi di cantiere o da altre cause devono essere rimossi e ricostituiti a totale cura e spese dell'Appaltatore.

30.6.6 Controlli in corso d'opera

Con frequenza ogni 500 m^3 o giornaliera verranno eseguiti, a cura della Direzione Lavori in contraddittorio e con l'assistenza dell'Appaltatore, i seguenti controlli:

- N. 1 prova di massa volumica del secco in sito con volumometro a sabbia (CNR B.U. n. 22) in cui la misura del contenuto d'acqua del materiale è effettuata utilizzando il metodo tradizionale (UNI EN 1097-05) o il metodo con forno a microonde (ASTM D4643) nel rispetto dei limiti di cui al § 30.6.2.4.
- In alternativa alla precedente prova di massa volumica del secco, N. 1 verifica dinamica di portanza effettuata mediante n. 20 battute LFWD da eseguire entro 24 ore dalla posa in opera su due allineamenti posti a 50 cm dal bordo della strisciata. La media E_{LFWD} di queste battute deve essere superiore a 100 MPa.
- N. 1 prova della distribuzione granulometrica degli aggregati secondo la UNI EN 933-1 nei limiti di cui al § 30.6.2.2. Il controllo della granulometria in sito e del contenuto naturale di acqua deve essere effettuato prelevando il materiale ottenuto dalla fresatura della pavimentazione esistente, eventualmente corretto con gli aggregati di integrazione, prima dell'aggiunta del legante cementizio. Solo nell'area destinata al prelievo, per simulare la granulometria finale, va seguita un passaggio aggiuntivo di fresa.
- N. 1 prova del contenuto di cemento secondo B.U. C.N.R. n. 29 nei limiti di cui al § 30.6.2.2
- N. 1 prova del contenuto di bitume secondo UNI EN 12697-1 o secondo la UNI EN 12697-39 opportunamente calibrata). Tale valore deve corrispondere alla somma del contenuto di bitume della miscela granulare prelevata prima dell'aggiunta dei leganti e del dosaggio di bitume aggiunto (schiumato o residuo dell'emulsione), con una tolleranza dello 0,6% (rispetto al peso degli aggregati).
- N. 1 prova per la determinazione del modulo di rigidezza in configurazione di trazione indiretta (IT-CY) secondo la norma UNI EN 12697-26 (Appendice C). I provini devono essere maturati in stufa in condizione non sigillata a 40°C per 72 ore, successivamente condizionati per almeno 4 ore 50 in camera climatica a 25 °C e infine sottoposti a prova. La deformazione orizzontale imposta deve essere pari a 5 ± 0.2 µm. I limiti di accettazione sono indicati al § 30.6.2.4.
- N. 1 prova per la determinazione della resistenza a trazione indiretta (UNI EN 12697-23). I limiti di accettazione sono indicati al § 30.6.2.4.

Con frequenza ogni 10.000 m^3 di strato finito compattato sono da verificare all'impianto le seguenti qualità degli aggregati di cui ai requisiti del § 30.6.1.1:

- N. 1 prova della granulometria, % di particelle frantumate, contenuto di fini aggregato grosso e fine, valutazione del fine equivalente in sabbia, valutazione del fine blu di metilene, indice di plasticità. Per gli eventuali aggregati riciclati: contenuto di frammenti di conglomerati cementizi, contenuto di vetro, contenuto di materiale galleggiante, contenuto di terreno vegetale, test di cessione per la conformità ai valori dell'Allegato n. 3 del D.M. 05/02/1998 per il materiale di origine riciclata.

Con frequenza ogni 20.000 m^3 di strato finito compattato sono da verificare all'impianto le seguenti qualità degli aggregati di cui ai requisiti del § 30.6.1.1:

- N. 1 prova del coefficiente di appiattimento, coefficiente di forma, resistenza alla frammentazione, resistenza all'usura, assorbimento d'acqua, solfato solubile in acido, zolfo totale, solfato idrosolubile, stabilità volumetrica, sensibilità al gelo.

Per quanto riguarda ***il legante bituminoso*** è' necessario eseguire un prelievo all'impianto per fornitore e prodotto al primo utilizzo e successivamente con cadenza bisettimanale, per la verifica delle caratteristiche approvate in qualifica nel rispetto dei limiti riportati nei § 31.4.2.2.2 per bitume tipo A, § 31.4.2.2.3 per bitume per schiumatura tipo A1, § 31.4.2.3 per bitume modificato hard con polimeri SBS tipo B, § 31.4.2.4 per emulsioni bituminose cationiche non modificate tipo C, C1 e C2, § 31.4.2.5 per emulsioni bituminose cationiche modificate tipo D1 e D2. Ai predetti limiti si applicano le tolleranze di seguito riportate:

- Punto di Rammollimento: variazione di 5 °C rispetto al limite inferiore e/o superiore.
- Penetrazione a 25°C: variazione di 5 mm rispetto al limite inferiore e/o superiore.
- Viscosità dinamica a 160 °C, $\dot{\gamma}$=100 s^{-1}: variazione di 0,1 Pa*s rispetto al limite inferiore e/o superiore.
- Ritorno elastico a 25 °C, 50 mm/min: variazione di 5 punti percentuali rispetto al limite inferiore e/o superiore.

La mancata rispondenza ad almeno una dei precedenti 4 requisiti può comportare l'applicazione della penale del prezzo dello strato corrispondente al campione contenente la partita di bitume non conforme di cui al § 31.10.2.4.

L'Appaltatore dovrà provvedere alla verifica topografica della sagoma e dello spessore di progetto della fondazione finita rispetto alle previsioni progettuali prima di procedere con la posa degli strati successivi. Il rilievo deve misurare una griglia di punti di misura aventi, in direzione longitudinale, un distanziamento massimo di 20 m. La griglia deve, inoltre, permettere la verifica delle pendenze di progetto. Eventuali carenze di quota localizzate, fino a 10 mm, possono essere compensate dallo spessore dello strato superiore senza oneri ulteriori, nel caso di quote superiori a quelle di progetto lo strato, ad insindacabile giudizio della DL, può essere rimosso e risagomato a cura e spese dell'Appaltatore. Il rilevo, ed ogni suo successivo aggiornamento, deve essere trasmesso al Direttore dei Lavori in formato dwg. La Direzione Lavori, in caso di dubbi sulla regolarità superficiale dello strato, può eseguire, ove ritiene opportuno, la verifica della regolarità a mezzo di un regolo di 4 m di lunghezza, disposto secondo due direzioni ortogonali o mediante altra metodologia approvata dalla DL. Sono ammessi scostamenti rispetto ai piani di progetto non superiori a 10 mm.
In aggiunta alle prove di cui sopra, al completamento della posa di tutti gli strati di pavimenazione, potranno essere effettuate, a cura della Committente, dei controlli con apparecchiature ad alto rendimento per la misura del Modulo Elastico dello o degli strati di supporto sopra descritti, con le modalità indicate al § 30.9.

30.6.7 Tolleranze di esecuzione e penali

Per la granulometria della miscela è ammessa una tolleranza con penale per fusi della miscela di ± 5% fino al passante al setaccio UNI con apertura 4 mm e di ± 2% per il passante al setaccio UNI 2 mm ed inferiori, purché non siano superati i limiti del fuso. Questa tolleranza è accettata solo se contenuta nel 10% del totale delle prove eseguite al termine dei lavori sulla singola WBS. La penale per il superamento dei fusi nei limiti indicati è pari al 10% dell'intera lavorazione da applicare alla superficie interessata dalla non conformità.
La quota della superficie finita della sagoma della fondazione non deve scostarsi dalla sagoma di Progetto di oltre ±10 mm. Lo spessore deve essere quello prescritto, con una tolleranza del ± 5% purché questa differenza si presenti solo saltuariamente. In caso contrario l'Appaltatore, a sua cura e spese, dovrà provvedere al raggiungimento dello spessore prescritto.
Per valori medi di portanza, densità, resistenza a compressione e trazione e contenuto di cemento inferiori al 10% rispetto ai valori di Progetto viene applicata una detrazione del 10% del prezzo. Per carenze comprese tra il 10 ed il 20% viene applicata una detrazione del 20% del prezzo, mentre per carenze superiori al 20%, il tratto considerato deve essere demolito e ricostruito.
Per la % di bitume, in caso di non conformità, a giudizio insindacabile della DL, può essere applicata una penale pari al 10% del costo del lotto sottoposto a prova. In caso in cui la non conformità sia tale da pregiudicare la funzionalità dell'opera, a giudizio insindacabile della DL, può essere richiesta la rimozione e ricostruzione a cura e spese dell'Impresa dello strato stesso.

30.7 Sottobase o base riciclata a freddo in impianto con emulsione bituminosa modificata e cemento

Lo strato di sottobase o base riciclato a freddo può essere prodotto in impianto fisso o mobile, installato anche nell'area di impiego, con emulsione bituminosa modificata e cemento. La miscela granulare è principalmente composta da aggregato RA processato e selezionato in impianto. La posa in opera avviene per mezzo di vibrofinitrice e costipazione con rulli in conformità con le presenti specifiche, con lo spessore e la sagoma indicate nel progetto. È possibile la correzione granulometrica con aggregati vergini di integrazione.

30.7.1 Criteri di accettazione dei materiali costituenti la miscela e della miscela stessa

In linea generale, i materiali di provenienza esterna dal cantiere o che l'Appaltatore approvvigionerà da terzi dovranno essere qualificati in conformità al Regolamento UE n°305/2011 sui prodotti da costruzione.

30.7.1.1 Aggregati

Il riciclaggio a freddo con cemento e legante bituminoso prevede prettamente il reimpiego di conglomerato bituminoso derivante dalla demolizione di pavimentazioni esistenti. In via preferenziale l'aggregato riciclato dovrà provenire da pavimentazioni autostradali della rete di ASPI.

In tutti i casi in cui il conglomerato bituminoso demolito (o fresato d'asfalto) venga inizialmente classificato come rifiuto, il suo riutilizzo potrà avvenire unicamente a valle della cessazione di tale qualifica ai sensi del DM 69/2018. Nelle condizioni in cui il fresato d'asfalto non dovesse essere classificato come rifiuto - ai sensi della normativa ambientale vigente - il suo reimpiego potrà comunque avvenire unicamente a valle di comprovata idoneità ambientale (e tecnica). Successivamente all'avvenuto recupero ambientale il materiale dovrà essere processato, vagliato e stoccato in cumuli come previsto al § 31.4.1.2 di questo Capitolato. Si precisa che il bitume presente nell'aggregato del conglomerato bituminoso recuperato è da considerare inattivo e pertanto non

costituisce un legante. Unitamente alla componente minerale esso è invece da considerare come componente solida (o litica) della miscela.

Qualora dovesse verificarsi la necessità di effettuare delle correzioni granulometriche durante l'esecuzione dei lavori, il materiale da integrazione dovrà essere approvvigionato e dosato considerando che il quantitativo di materia RRS utilizzato nella miscela non dovrà essere inferiore a quanto previsto in progetto (§ 2.2.8 del DM CAM) e non potrà comunque mai andare sotto al 50% (§2.3.1 DM CAM). Per il materiale da integrazione valgono i requisiti di accettazione riportati in seguito.

Indipendentemente dalla provenienza e dalla percentuale di impiego, ogni fornitura di aggregati che l'Appaltatore approvvigiona da terzi o che deriva unicamente da una campagna di recupero da lui stesso condotta dovrà essere corredata da marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA della UNI EN 13242 con sistema di attestazione di conformità 2+ inclusa di Dichiarazione di Prestazione (DoP). La certificazione CE e la DoP dovranno essere consegnati alla Direzione Lavori prima dell'inizio dei lavori e ad ogni cambio di lotto di aggregato.

Ad ogni modo, la Direzione Lavori ha la facoltà di richiedere tale documentazione in ogni fase delle lavorazioni.

I requisiti di idoneità tecnica degli impiegati utilizzabili sono riportati al § 30.3.2.1 a cui bisogna aggiungere il requisito dell'indice di portanza CBR che dovrà essere ≥ 50 con rigonfiamento nullo dopo 96 ore di immersione.

30.7.1.2 Cemento

Per la qualifica e le proprietà del legante cementizio si rimanda ai contenuti del § 30.3.1.2 e del § 30.3.3.2.

30.7.1.3 Acqua

Per la qualifica e le proprietà dell'acqua si rimanda ai contenuti del § 30.3.3.3.

30.7.1.4 Legante bituminoso

L'emulsione bituminosa deve essere qualificata in conformità al Regolamento UE 305/2011 sui prodotti da costruzione. Ogni fornitura deve essere accompagnata dalla dichiarazione di prestazione attestante la conformità all'allegato ZA della rispettiva norma europea armonizzata (UNI EN 13808 per l'emulsione bituminosa).
Le caratteristiche del legante bituminoso sotto forma di schiuma di bitume o di emulsione bituminosa sono riportate rispettivamente nel §31.4.2.5 (legante "D2").

30.7.1.5 Miscela confezionata in impianto esterno all'area di cantiere

Ogni fornitura di miscela in ingresso al cantiere dovrà essere accompagnata da Documento di Trasporto corredato da rapporto di carico. Quest'ultimo dovrà essere compilato includendo i riferimenti ai materiali utilizzati (certificato CE o relazione tecnica, entrambi in corso di validità), al loro proporzionamento, e alle caratteristiche compositive attestanti la conformità all'ultima miscela prequalificata secondo quanto riportato in questo articolo di Capitolato.

30.7.1.6 Miscela confezionata in impianto interno all'area di cantiere

Indipendentemente da quanto previsto al § 30.6.1.1, ogni fornitura di aggregati di provenienza esterna al cantiere dovrà essere accompagnata da marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA della UNI EN 13242 con sistema di attestazione di conformità 2+ inclusa di Dichiarazione di Prestazione (DOP).

Nel caso in cui si intenda impiegare, in frazione unica o miscelati, aggregati provenienti dall'area interna al cantiere, il loro utilizzo sarà ammesso unicamente previa attestazione di conformità sia ambientale, ai sensi della normativa ambientale vigente, che tecnica, ai sensi di quanto previsto in questo articolo di Capitolato. Tale attestazione dovrà essere definita a mezzo di una relazione tecnica corredata da certificati di laboratorio redatta interamente ad onere dell'Appaltatore, che verrà consegnata alla Direzione Lavori in anticipo rispetto ai lavori che prevedono l'impiego di tali aggregati. In generale, il reimpiego di aggregati derivanti da lavorazioni condotte internamente al cantiere dovrà comunque essere gestito in progetto secondo quanto considerato nei piani di utilizzo e nel capitolato ambientale.

30.7.1.7 Modalità di certificazione del quantitativo di materia RRS impiegato

Il quantitativo di materia RRS impiegato nelle miscele dovrà essere certificato utilizzando uno dei mezzi di prova tra quelli elencati al paragrafo 2.1.2 dell'allegato tecnico del DM CAM.

In base alle tipologie di materia RRS prevista, ai relativi quantitativi e alle modalità di certificazione indicate tra quelle previste dal DM CAM (§ 2.1.2), l'Appaltatore dovrà fornire alla Direzione Lavori il certificato del quantitativo di materia RRS previsto in ciascuna miscela in progetto.

L'Appaltatore avrà la facoltà di proporre alla Direzione Lavori - senza richiedere alcun onere aggiuntivo - una o più tipologie di miscela, comunque conformi a questo articolo di Capitolato, con composizione differente da quella prevista in progetto. Nel caso in cui la miscela proposta preveda l'impiego di quantitativi di materia RRS superiori a quelli previsti in progetto, l'Appaltatore dovrà dimostrare il raggiungimento dei requisiti previsti in questo Capitolato tramite un campo prova eseguito a suo onere e spese.

L'Appaltatore potrà inoltre proporre una modalità di certificazione differente da quella prevista in progetto.

La Direzione Lavori, a suo insindacabile giudizio e sentito eventualmente anche il parere del progettista potrà accettare o meno la proposta presentata.

Una volta stabilita la miscela e la tipologia di certificato, quest'ultimo dovrà essere inserito come riferimento all'interno del rapporto di carico al § 30.7.1.5 o della relazione giornaliera al § 30.7.1.6.

30.7.1.8 Controlli di accettazione materiali

L'Appaltatore dovrà sottoporre alla Direzione Lavori l'intera documentazione attestante le caratteristiche del materiale che intende utilizzare almeno 15 giorni prima dell'avvio dei lavori.
Durante i lavori, dovranno essere emessi nuovi certificati di prequalifica dei materiali costituenti la miscela e della miscela stessa ad ogni cambio di lotto di approvvigionamento o comunque secondo quanto previsto al § 30.7.6. Viene lasciata la facoltà alla Direzione Lavori di richiedere la modifica delle frequenze di campionamento e dei limiti di utilizzo oltre i quali ripetere la prequalifica dei materiali.
Qualora la Direzione Lavori accerti la non corrispondenza anche di una singola caratteristica richiesta, la DL stessa potrà non consentire l'impiego del materiale setto o potrà richiedere la

predisposizione di correttivi, a cura e onere dell'Appaltatore, tali da rendere il materiale idoneo all'utilizzo.

30.7.2 Prequalifica e studio preliminare della miscela

I valori di qualifica della granulometria, del contenuto d'acqua, del dosaggio di legante bituminoso (sotto forma di bitume schiumato o emulsione bituminosa) e del dosaggio di legante cementizio (e delle eventuali aggiunte), sono stabiliti in base ad uno studio di laboratorio certificato.

30.7.2.1 Determinazione della granulometria

La miscela granulare da impiegare per il riciclaggio a freddo in impianto con emulsione bituminosa modificata e cemento può essere ottenuta adottando aggregato RA in frazione unica o mediante combinazione di più classi dimensionali. Per migliorare le caratteristiche fisico-meccaniche della miscela, oppure nel caso in cui l'aggregato RA a disposizione non permetta la produzione di una granulometria conforme al fuso riportato nella seguente tabella, è necessario prevedere un'integrazione con aggregati naturali.

Setacci [mm]	Passante in volume [%]
31,5	100-100
20	71-91
10	38-64
8	34-59
4	24-49
2	17-37
0,5	7-21
0,25	5-16
0.063	5-8

La granulometria di progetto "in volume" della miscela di aggregati deve ricadere nel fuso riportato nella precedente tabella. Si precisa che la distribuzione granulometrica in volume può essere ottenuta da quella in peso, tenendo conto della massa volumica delle frazioni granulometriche impiegate. Inoltre, poiché il bitume presente nell'aggregato RA è parte integrante dei granuli, si deve fare riferimento alla distribuzione granulometrica dell'aggregato RA ante estrazione ("curva nera").
Per consentire il controllo in fase di esecuzione del rispetto dei passanti in volume, lo studio di formulazione dovrà evidenziare, per ogni setaccio, sia la percentuale in volume che quella in peso.

30.7.2.2 Determinazione del contenuto di acqua

Sulla miscela di aggregati di progetto deve essere determinato il valore di progetto del contenuto di acqua riferito al peso degli aggregati asciutti e il corrispondente valore della massa volumica del secco. La procedura da seguire è illustrata nel seguito:

- la miscela granulare deve essere essiccata fino a massa costante e se ne deve determinare il contenuto d'acqua (UNI EN 1097-5). Vista la presenza di aggregato RA, la temperatura di essiccazione non dev'essere superiore a 50 °C;
- Dopo l'essiccazione, la miscela granulare deve essere suddivisa in almeno tre campioni mediante quartatura (UNI EN 932-2), e ciascun campione deve essere umidificato aggiungendo un diverso dosaggio d'acqua (ad esempio 3, 4 e 5% sul peso degli aggregati

asciutti) e deve quindi essere mantenuto sigillato per almeno 12 ore al fine di permettere un'omogenea distribuzione dell'umidità;
- Subito prima della miscelazione a ciascun campione umidificato deve essere aggiunto il dosaggio atteso di legante cementizio (ad esempio 2% sul peso degli aggregati);
- Per ogni campione devono essere compattati almeno 3 provini utilizzando un compattare giratorio (UNI EN 12697-31). Il protocollo per la compattazione prevede l'utilizzo di una fustella non drenata di diametro 150 mm, una pressione di 600 ± 18 kPa, un angolo interno di rotazione di 1,16 ± 0,02°, una velocità di rotazione di 30 rpm, e numero di rotazioni pari a 100;
- La massa del campione da compattare dev'essere di 2800 ± 10 g e deve essere registrata prima dell'inizio della compattazione. Dopo la compattazione ciascun provino deve essere estratto dalla fustella e pesato per determinarne l'eventuale perdita rispetto al materiale inserito in fustella, normalmente riconducibile ad acqua espulsa durante la compattazione;
- Se la perdita media dei tre provini supera lo 0,3% del peso iniziale, il contenuto d'acqua è da ritenere eccessivo e deve quindi essere scartato;
- Il dosaggio d'acqua di progetto è il valore massimo tra quelli testati e per cui la perdita in peso media dei tre provini è inferiore allo 0,3%;
- Per tale valore deve essere determinata la massa volumica secca, utilizzando, per ciascun provino: il volume geometrico (determinato dell'altezza finale a 100 giri e del diametro della fustella), la massa umida e il contento d'acqua iniziali del provino.

30.7.2.3 Determinazione del dosaggio dei leganti

Per determinare il dosaggio di qualifica dei leganti devono essere prodotte in laboratorio almeno 4 miscele con diversi quantitativi di emulsione modificata e di legante cementizio. I dosaggi da investigare, riferiti al peso secco degli aggregati, dovranno essere:
- emulsione bituminosa modificata (paragrafo §31.4.2.5, legante "D2") compresa tra 4,0% e il 5,0%;
- cemento compreso tra 1,5% e 2,5%;
- inoltre, il dosaggio di bitume residuo dovrà essere maggiore o uguale al dosaggio di cemento.

Tutte le miscele dovranno avere il contenuto di acqua di progetto determinato nello studio di laboratorio al §30.7.2.3. Tale contenuto d'acqua deve risultare dalla somma dell'acqua contenuta nell'emulsione e di acqua aggiunta per umidificare gli aggregati. Per la miscelazione e la compattazione deve essere seguita la procedura descritta al §30.7.2.3, con le seguenti modifiche:
- per l'umidificazione iniziale del campione si deve utilizzare un dosaggio d'acqua ottenuto come differenza tra il contenuto di progetto e il dosaggio d'acqua apportato dall'emulsione;
- dopo l'aggiunta del cemento si effettua una prima miscelazione, si aggiunge quindi l'emulsione bituminosa modificata e quindi si effettua la miscelazione finale, prima di procedere alla compattazione.

Per ogni miscela riciclata devono essere confezionati 4 provini con compattatore giratorio secondo la procedura esposta al paragrafo §30.7.2.3. Per ciascun provino deve essere determinata la massa volumica secca, utilizzando: il volume geometrico (determinato dell'altezza finale a 100 giri e del diametro della fustella), la massa umida e il contento d'acqua iniziali del provino.
I provini devono essere maturati in stufa in condizione non sigillata a 40 °C per 72 ore, successivamente condizionati per almeno 4 ore in camera climatica a 25 °C e infine sottoposti a prova per la determinazione del modulo di rigidezza in configurazione di trazione indiretta (IT-CY) secondo la norma UNI EN 12697-26 (Appendice C). La deformazione orizzontale imposta deve essere pari a 5 ± 0.2 µm. A seguito della prova di modulo di rigidezza i provini devono risultare intatti. Gli stessi provini devono essere ulteriormente condizionati per almeno 1 ora a 25 °C e sottoposti a prova di resistenza a trazione indiretta (UNI EN 12697-23).

Ai fini della scelta della combinazione di progetto dei leganti, devono essere calcolati i valori medi delle grandezze misurate, che devono soddisfare i seguenti requisiti:

- Resistenza media a trazione indiretta a 25 °C, Rt,m ³ 0,45 MPa;
- Modulo di rigidezza medio a 25 °C, 3000 MPa £ Em £ 6000 MPa.

La miscela di qualifica è scelta tra quelle che soddisfano tali requisiti, privilegiando miscele con resistenza elevata e rigidezza contenuta.
Per calibrare il processo di posa in opera della miscela di progetto prodotta in impianto, la DL può richiedere la realizzazione di una stesa di prova in vera grandezza, a totale carico dell'Impresa. La stesa sarà realizzata in un tratto ritenuto dalla DL rappresentativo per la lavorazione da svolgere. La stesa deve avere lunghezza tale da consentire la stabilità di produzione in impianto e di realizzazione, nonché larghezza e profondità conformi al progetto. La compattazione deve essere eseguita immediatamente dopo la stesa prevedendo l'impiego di un rullo monocilindro vibrante da almeno 140 kN e un rullo gommato da almeno 180 kN.
La miscela prodotta in impianto deve essere campionata per permettere la verifica del contenuto di acqua, del contenuto di legante bituminoso, della massa volumica secca, del modulo di rigidezza e della resistenza a trazione indiretta secondo le stesse procedure sopraesposte.
Dopo la compattazione della stesa di prova devono essere eseguite 3 prove di massa volumica del secco con volumometro a sabbia (CNR B.U. n. 22). Ai fini della conferma della procedura di compattazione, tutti i valori di massa volumica del secco in sito devono essere maggiori del 95% della massa volumica del secco dei provini della miscela di progetto compattati in laboratorio.
Se la stesa di prova è eseguita all'interno del cantiere, nel caso in cui le prestazioni richieste non siano verificate, essa deve essere rimossa e la procedura rieseguita.

La Committente potrà altresì misurare il valore del modulo di elasticità E a mezzo di prove di deflessione dinamica con apparecchiatura ad alto rendimento Falling Weight Deflectometer (FWD) nelle modalità indicate al § 30.9, che dovrà risultare, dopo un periodo di tempo variabile tra il 90° e il 200° giorno dalla data di apertura al traffico, compreso tra 3.000 e 10.000 MPa, salvo eventuale diversa prestazione prescritta nei documenti progettuali.

Al termine della stesa di prova, l'Appaltatore deve predisporre una relazione che riporti:

- le caratteristiche degli aggregati di integrazione in riferimento al paragrafo §30.7.1.1;
- la composizione, la granulometria e il contenuto di bitume della miscela granulare di progetto in riferimento al paragrafo §30.7.2.2 e alla tabella ivi contenuta;
- le caratteristiche del legante cementizio in riferimento al paragrafo §30.7.1.2;
- le caratteristiche del legante bituminoso in riferimento al §31.4.2.5 (legante "D2");
- il dosaggio di legante cementizio, legante bituminoso e acqua della miscela di progetto in riferimento al presente paragrafo;
- la massa volumica del secco in laboratorio, la resistenza a trazione indiretta e il modulo di rigidezza della miscela di progetto in riferimento al presente paragrafo;
- la descrizione delle procedure operative in impianto (§30.7.3) e di stesa (§30.7.4) per la miscela di qualifica (funzionamento, velocità, calibrazioni, tempistiche, tipo di mezzi, numero di passate ecc.) compresa la documentazione fotografica;
- la marcatura CE e le Dichiarazioni di Prestazione (DoP) dei materiali e tutti i certificati emessi da un laboratorio autorizzato attestanti le procedure seguite e i risultati ottenuti.

30.7.3 Confezionamento delle miscele

La miscela riciclata a freddo in impianto con emulsione bituminosa modificata e cemento deve essere confezionata in impianti fissi o mobili, di idonee caratteristiche, mantenuti sempre

perfettamente funzionanti in ogni loro parte. L'impianto deve permettere l'iniezione di emulsione bituminosa nel corretto dosaggio e il controllo delle temperature di impiego. Simultaneamente all'inserimento del legante bituminoso, l'impianto deve poter dosare con precisione il legante cementizio. L'impianto deve garantire uniformità di produzione ed essere in grado di realizzare miscele del tutto rispondenti a quelle di progetto indicate nella documentazione presentata per l'approvazione.
La zona destinata allo stoccaggio degli aggregati, incluso l'aggregato RA, deve essere preventivamente e convenientemente sistemata per evitare la presenza di sostanze argillose e ristagni di acqua che possono contaminare gli aggregati. I cumuli delle diverse pezzature di aggregato devono essere separati tra di loro per evitare la mescolanza tra aggregati differenti e si raccomanda che il cumulo dell'aggregato RA sia riparato dall'acqua piovana mediante specifiche coperture.
L'operazione di rifornimento attraverso i pre-dosatori delle tramogge deve essere eseguita con la massima cura per regolare il deflusso degli aggregati secondo le specifiche di progetto. Per ciascuna delle classi di aggregati impiegate dovrà essere utilizzato un predosatore dedicato.
Lo stoccaggio del cemento deve essere effettuato garantendo la protezione dall'umidità atmosferica e da impurità.

30.7.4 Controlli di accettazione della miscela

L'Appaltatore dovrà sottoporre all'accettazione della Direzione Lavori, almeno 15 giorni prima dell'inizio delle attività, una relazione contenente tutte le informazioni atte a dimostrare il rispetto dei requisiti di accettazione dei singoli materiali e della miscela. Nello specifico è richiesto che tale relazione sia conforme ai contenuti del paragrafo 30.7.2 e che richiami quanto previsto al § 30.7.1.
La mancata presentazione della documentazione preliminare comporta la non autorizzazione all'inizio dell'esecuzione dei lavori, né saranno accettate eventuali lavorazioni svolte prima dell'approvazione delle modalità esecutive.
I requisiti d'accettazione potranno inoltre essere accertati con ulteriori prove a cura della Direzione Lavori sia in fase di prequalifica presso il fornitore (controllo non vincolante per l'autorizzazione), sia in corso d'opera, prelevando il materiale in sito o ancora presso il fornitore, prima e dopo avere effettuato le lavorazioni.

30.7.5 Modalità esecutive

La miscela riciclata a freddo in impianto con emulsione bituminosa e cemento deve essere stesa sul piano finito dello strato sottostante dopo che sia stata accettata dalla DL la rispondenza di quest'ultimo ai requisiti di quota, sagoma e capacità portante prescritti. Prima di effettuare la stesa è necessario correggere ogni eventuale depressione o avvallamento riscontrati sul piano di posa.
La miscela deve essere stesa in strati di spessore non superiore a 25 cm mediante l'impiego di vibrofinitrici. Il tempo massimo intercorrente tra la miscelazione e l'inizio delle operazioni di compattazione non deve superare i 60 minuti o, comunque, essere compatibile con il tempo di inizio presa del legante idraulico utilizzato per non pregiudicare la lavorabilità della miscela.
È necessario proteggere la miscela durante il trasporto dall'impianto di produzione al luogo di impiego per evitare un'eccessiva perdita di umidità.
Il tempo intercorrente tra la stesa di due strisce affiancate non deve superare di norma le due ore per garantire la continuità della struttura. Particolari accorgimenti devono adottarsi nella formazione dei giunti longitudinali che andranno protetti con fogli di polietilene o materiale similare. Ogni giunto trasversale deve essere rettificato con il taglio (fresatura) dell'ultima parte dello strato precedentemente realizzato, in modo da ottenere una parete verticale.

La compattazione è eseguita immediatamente dopo la stesa con un rullo monocilindro vibrante da almeno 140 kN e un rullo gommato da almeno 180 kN. L'estradosso dello strato deve essere sagomato nel rispetto delle quote e delle pendenze di progetto.
Dopo 24 ore dalla realizzazione lo strato deve essere protetto con la spruzzatura di emulsione bituminosa cationica (§31.4.2.4, legante "C1") in ragione di 1 kg/m² di bitume residuo, successivamente saturata con lo spargimento di sabbia. Nel caso di traffico da cantiere o di condizioni meteo avverse, tale operazione deve essere svolta subito dopo la compattazione. A insindacabile giudizio della DL, la lavorazione può essere sospesa con temperatura dell'aria inferiore a 10 °C, superiore a 35 °C oppure in caso di pioggia.
Strati eventualmente compromessi dalle condizioni meteorologiche, dalla circolazione dei mezzi di cantiere o da altre cause devono essere rimossi e ricostituiti a totale cura e spese dell'Appaltatore.

30.7.6 Controlli in corso d'opera

Con frequenza ogni 500 m^3 o giornaliera verranno eseguiti, a cura della Direzione Lavori in contraddittorio e con l'assistenza dell'Appaltatore, i seguenti controlli:

- N. 1 prova di massa volumica del secco in sito con volumometro a sabbia (CNR B.U. n. 22) in cui la misura del contenuto d'acqua del materiale è effettuata utilizzando il metodo tradizionale (UNI EN 1097-05) o il metodo con forno a microonde (ASTM D4643) nel rispetto dei limiti di cui al § 30.7.2.4.
- In alternativa alla precedente prova di massa volumica del secco, N. 1 verifica dinamica di portanza effettuata mediante n. 20 battute LFWD da eseguire entro 24 ore dalla posa in opera su due allineamenti posti a 50 cm dal bordo della strisciata. La media E_{LFWD} di queste battute deve essere superiore a 100 MPa.
- N. 1 prova della distribuzione granulometrica degli aggregati secondo la UNI EN 933-1 nei limiti di cui al § 30.7.2.2. Il controllo della granulometria in sito e del contenuto naturale di acqua deve essere effettuato prelevando il materiale ottenuto dalla fresatura della pavimentazione esistente, eventualmente corretto con gli aggregati di integrazione, prima dell'aggiunta del legante cementizio. Solo nell'area destinata al prelievo, per simulare la granulometria finale, va seguita un passaggio aggiuntivo di fresa.
- N. 1 prova del contenuto di cemento secondo B.U. C.N.R. n. 29 nei limiti di cui al § 30.7.2.2
- N. 1 prova del contenuto di bitume secondo UNI EN 12697-1 o secondo la UNI EN 12697-39 opportunamente calibrata). Tale valore deve corrispondere alla somma del contenuto di bitume della miscela granulare prelevata prima dell'aggiunta dei leganti e del dosaggio di bitume aggiunto (schiumato o residuo dell'emulsione), con una tolleranza dello 0,6% (rispetto al peso degli aggregati).
- N. 1 prova per la determinazione del modulo di rigidezza in configurazione di trazione indiretta (IT-CY) secondo la norma UNI EN 12697-26 (Appendice C). I provini devono essere maturati in stufa in condizione non sigillata a 40°C per 72 ore, successivamente condizionati per almeno 4 ore 50 in camera climatica a 25 °C e infine sottoposti a prova. La deformazione orizzontale imposta deve essere pari a 5 ± 0.2 µm. I limiti di accettazione sono indicati al § 30.7.2.4.
- N. 1 prova per la determinazione della resistenza a trazione indiretta (UNI EN 12697-23). I limiti di accettazione sono indicati al § 30.7.2.4.

Con frequenza ogni 10.000 m^3 di strato finito compattato sono da verificare all'impianto le seguenti qualità degli aggregati di cui ai requisiti del § 30.7.1.1:

- N. 1 prova della granulometria, % di particelle frantumate, contenuto di fini aggregato grosso e fine, valutazione del fine equivalente in sabbia, valutazione del fine blu di metilene, indice di

plasticità. Per gli eventuali aggregati riciclati: contenuto di frammenti di conglomerati cementizi, contenuto di vetro, contenuto di materiale galleggiante, contenuto di terreno vegetale, test di cessione per la conformità ai valori dell'Allegato n. 3 del D.M. 05/02/1998 per il materiale di origine riciclata.

Con frequenza ogni 20.000 m^3 di strato finito compattato sono da verificare all'impianto le seguenti qualità degli aggregati di cui ai requisiti del § 30.7.1.1:

- N. 1 prova del coefficiente di appiattimento, coefficiente di forma, resistenza alla frammentazione, resistenza all'usura, assorbimento d'acqua, solfato solubile in acido, zolfo totale, solfato idrosolubile, stabilità volumetrica, sensibilità al gelo.

Per quanto riguarda ***il legante bituminoso*** è' necessario eseguire un prelievo all'impianto per fornitore e prodotto al primo utilizzo e successivamente con cadenza bisettimanale, per la verifica delle caratteristiche approvate in qualifica nel rispetto dei limiti riportati nei § 31.4.2.2.2 per bitume tipo A, § 31.4.2.2.3 per bitume per schiumatura tipo A1, § 31.4.2.3 per bitume modificato hard con polimeri SBS tipo B, § 31.4.2.4 per emulsioni bituminose cationiche non modificate tipo C, C1 e C2, § 31.4.2.5 per emulsioni bituminose cationiche modificate tipo D1 e D2. Ai predetti limiti si applicano le tolleranze di seguito riportate:

- Punto di Rammollimento: variazione di 5 °C rispetto al limite inferiore e/o superiore.
- Penetrazione a 25°C: variazione di 5 mm rispetto al limite inferiore e/o superiore.
- Viscosità dinamica a 160 °C, $\dot{\gamma}$=100 s^{-1}: variazione di 0,1 Pa*s rispetto al limite inferiore e/o superiore.
- Ritorno elastico a 25 °C, 50 mm/min: variazione di 5 punti percentuali rispetto al limite inferiore e/o superiore.

La mancata rispondenza ad almeno una dei precedenti 4 requisiti può comportare l'applicazione della penale del prezzo dello strato corrispondente al campione contenente la partita di bitume non conforme di cui al § 31.10.2.4.

L'Appaltatore dovrà provvedere alla verifica topografica della sagoma e dello spessore di progetto della fondazione finita rispetto alle previsioni progettuali prima di procedere con la posa degli strati successivi. Il rilievo deve misurare una griglia di punti di misura aventi, in direzione longitudinale, un distanziamento massimo di 20 m. La griglia deve, inoltre, permettere la verifica delle pendenze di progetto. Eventuali carenze di quota localizzate, fino a 10 mm, possono essere compensate dallo spessore dello strato superiore senza oneri ulteriori, nel caso di quote superiori a quelle di progetto lo strato, ad insindacabile giudizio della DL, può essere rimosso e risagomato a cura e spese dell'Appaltatore. Il rilevo, ed ogni suo successivo aggiornamento, deve essere trasmesso al Direttore dei Lavori in formato dwg. La Direzione Lavori, in caso di dubbi sulla regolarità superficiale dello strato, può eseguire, ove ritiene opportuno, la verifica della regolarità a mezzo di un regolo di 4 m di lunghezza, disposto secondo due direzioni ortogonali o mediante altra metodologia approvata dalla DL. Sono ammessi scostamenti rispetto ai piani di progetto non superiori a 10 mm.

In aggiunta alle prove di cui sopra, al completamento della posa di tutti gli strati di pavimenazione, potranno essere effettuate, a cura della Committente, dei controlli con apparecchiature ad alto rendimento per la misura del Modulo Elastico dello o degli strati di supporto sopra descritti, con le modalità indicate al § 30.9.

30.7.7 Tolleranze di esecuzione e penali

Per la granulometria della miscela è ammessa una tolleranza con penale per fusi della miscela di ± 5% fino al passante al setaccio UNI con apertura 4 mm e di ± 2% per il passante al setaccio UNI 2 mm ed inferiori, purché non siano superati i limiti del fuso. Questa tolleranza è accettata solo se contenuta nel 10% del totale delle prove eseguite al termine dei lavori sulla singola WBS. La penale per il superamento dei fusi nei limiti indicati è pari al 10% dell'intera lavorazione da applicare alla superficie interessata dalla non conformità.
La quota della superficie finita della sagoma della fondazione non deve scostarsi dalla sagoma di Progetto di oltre ±10 mm. Lo spessore deve essere quello prescritto, con una tolleranza del ± 5% purché questa differenza si presenti solo saltuariamente. In caso contrario l'Appaltatore, a sua cura e spese, dovrà provvedere al raggiungimento dello spessore prescritto.
Per valori medi di portanza, densità, resistenza a compressione e trazione e contenuto di cemento inferiori al 10% rispetto ai valori di Progetto viene applicata una detrazione del 10% del prezzo. Per carenze comprese tra il 10 ed il 20% viene applicata una detrazione del 20% del prezzo, mentre per carenze superiori al 20%, il tratto considerato deve essere demolito e ricostruito.
Per la % di bitume, in caso di non conformità, a giudizio insindacabile della DL, può essere applicata una penale pari al 10% del costo del lotto sottoposto a prova. In caso in cui la non conformità sia tale da pregiudicare la funzionalità dell'opera, a giudizio insindacabile della DL, può essere richiesta la rimozione e ricostruzione a cura e spese dell'Impresa dello strato stesso.

30.8 Miglioramento in sito di strati di fondazione non legati mediante bitume schiumato e cemento

Il miglioramento in sito dello strato di fondazione non legato con bitume schiumato e cemento viene realizzato mediante idonee attrezzature mobili (con miscelatore a volume variabile) che consentono di miscelare in sito la fondazione esistente (o materiale fresato) con aggiunta di bitume schiumato, cemento, acqua e, se necessario, aggregati vergini.
La miscela così ottenuta viene compattata per uno spessore massimo di 30 cm da intendersi come spessore finale della fondazione.
Il bitume schiumato è prodotto dalle reazioni fisico-chimiche del bitume mediante la polverizzazione delle sue molecole con acqua in pressione. Il processo si realizza all'interno di una particolare camera di espansione mediante il contatto con il bitume a circa 180 °C con acqua ad alta pressione. Macchine che non operano nel modo sopraddetto potranno essere allontanate dal cantiere a insindacabile giudizio del DL.

30.8.1 Criteri di accettazione dei materiali costituenti la miscela

30.8.1.1 Aggregati

La preesistente fondazione in misto granulare deve essere priva di frazioni plastiche (limi, argille). In presenza di tali frazioni dovrà essere eseguito un pretrattamento a calce. Qualora le limitazioni operative sconsigliassero l'esecuzione di detto trattamento, sarà inevitabile procedere alla sostituzione del materiale compromesso utilizzando aggregati naturali (aggregato grosso, fine e filler).
Qualora dovesse verificarsi la necessità di effettuare delle correzioni granulometriche durante l'esecuzione dei lavori, il materiale da integrazione dovrà essere approvviginato e dosato considerando che il quantitaivo di materia RRS utilizzato nella miscela non dovrà essere inferiore a quanto previsto in progetto (§ 2.2.8 del DM CAM) e non potrà comunque mai andare sotto al 50% (§2.3.1 DM CAM).

Ogni fornitura di aggregati con provenienza esterna al cantiere, dovrà essere accompagnata dalla marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA della norma europea armonizzata UNI EN 13242 con sistema di attestazione di conformità 2+. Gli aggregati di fornitura esterna al cantiere dovranno soddisfare i requisiti riportati nelle tabelle di cui al § 30.3.1.1 con le seguenti indicazioni aggiuntive:

- Quantità di materiale frantumato (UNI EN 933-5) pari al 100%

30.8.1.2 Cemento

Per la qualifica e le proprietà del legante cementizio si rimanda ai contenuti del § 30.3.1.2.

30.8.1.3 Acqua

Per la qualifica e le proprietà dell'acqua si rimanda ai contenuti del § 30.3.1.3.

30.8.1.4 Calce

La calce aerea, idrata o viva, deve essere qualificata in conformità al Regolamento UE 305/2011 sui prodotti da costruzione. Ogni fornitura deve essere accompagnata dalla dichiarazione di prestazione attestante la conformità all'allegato ZA della norma europea armonizzata UNI EN 459-1. Le calci devono essere del tipo CL 90-S o CL 90-Q.

30.8.1.5 Bitume schiumato

Il bitume deve essere qualificato in conformità al Regolamento UE 305/2011 sui prodotti da costruzione.
Ogni fornitura deve essere accompagnata dalla dichiarazione di prestazione attestante la conformità all'allegato ZA della rispettiva norma europea armonizzata (UNI EN 12591).
Le caratteristiche del legante bituminoso sotto forma di schiuma di bitume sono riportate nel §31.4.2.2.3 (legante "A1").

30.8.2 Criteri di accettazione della miscela

30.8.2.1 Generalità e operazioni preliminari

La lavorazione viene eseguita sui materiali esistenti in sito e pertanto la progettazione viene sviluppata in corso d'opera, al fine di includere al suo interno le varie situazioni che si possono riscontrare in corso di esecuzione.
Prima dell'inizio delle lavorazioni, i parametri operativi vengono definiti sulla base dell'esame da parte della Direzione Lavori dei materiali presenti in situ per la definizione del PUNTO OPERATIVO e corretti in corso d'opera.

30.8.2.2 Determinazione della granulometria

Qualora le limitazioni operative sconsigliassero l'esecuzione di detto trattamento, sarà inevitabile procedere alla sostituzione del materiale compromesso. La granulometria dello strato da riciclare, valutata in volume, deve essere conforme al fuso riportato nella seguente tabella.
Si precisa che la distribuzione granulometrica in volume può essere ottenuta da quella in peso, tenendo conto della massa volumica delle frazioni granulometriche impiegate.

Setacci [mm]	Passante in volume [%]
40	100-100
31,5	85-100
20	70-95
10	50-80
4	30-55
2	20-40
0,5	10-20
0,25	7-15
0.063	5-10

30.8.2.3 Caratteristiche attese della miscela dopo la schiumatura

Dopo le operazioni indicate al successivo § 30.8.4, si devono ottenere le seguenti caratteristiche della miscela da valutare a mezzo di provini preparati in laboratorio (con materiale prelevato in situ, non compattato) che devono essere confezionati utilizzando il metodo volumetrico (pressa giratoria) con le seguenti condizioni di prova:

CONDIZIONI DI PROVA

Angolo di rotazione :	1,25° ± 0,02°
Velocità di rotazione :	30 rotazioni al minuto
Pressione verticale, kPa:	600
Diametro provino, mm:	150
n° giri :	180
Massa campione, g:	4500 comprensivo di bitume, cemento e acqua

I provini confezionati mediante metodo volumetrico devono essere maturati a 40 °C per 72 h e successivamente sottoposti a prova di resistenza a trazione indiretta dopo termostatazione per 4 ore in forno a 25°C (UNI EN 12697-23).

La miscela dovrà rispondere ai seguenti requisiti:

- Resistenza a trazione indiretta ITS a 72 ore di maturazione: > 0,4 MPa
- Coefficiente di trazione indiretta CTI a 72 ore di maturazione: > 50 MPa

Tali valori di Resistenza a trazione, insieme al Coefficiente di trazione indiretta, si riferiscono al materiale confezionato in laboratorio con pressa giratoria e maturato in modo "controllato". Tali valori potranno diminuire, a seguito di immersione in acqua per simulare il confezionamento e la maturazione in sito, fino al 50% del valore minimo sopra dichiarato (può essere fatta una verifica di laboratorio su campioni maturati per 72 ore a 40°C, e successivamente lasciati in imbibizione per 1 ora a 25°C.); pertanto i valori minimi di ITS e CTI riferiti al materiale confezionato e maturato in sito saranno rispettivamente pari a:

- ITS = 0,2 MPa
- CTI = 25 MPa

Per verifiche effettuate tramite prova di trazione indiretta su campioni prelevati in situ mediante carotaggio, si dovrà applicare ai valori di riferimento di cui sopra un coefficiente di riduzione pari a 0,85 per tenere conto del disturbo arrecato al campione dall'operazione di prelievo.

Deve altresì essere determinata la densità geometrica secca a 180 giri, quale riferimento per il grado di addensamento.

Occorre inoltre che la portanza dello strato a schiumatura terminata, misurato con il rilievo della media dei valori E_{LFWD} eseguito con Light Falling Weight Deflectometer PORTATILE (Dynatest 3031 LFWD) secondo le modalità di cui al successivo § 30.8.5.2.1, dev'essere superiore a 100 MPa dopo almeno 3 ore di maturazione.

La Committente potrà altresì misurare il valore del modulo di elasticità E a mezzo di prove di deflessione dinamica con apparecchiatura ad alto rendimento Falling Weight Deflectometer (FWD) nelle modalità indicate al § 30.9, che dovrà risultare, dopo un periodo di tempo variabile tra il 90° e il 200° giorno dalla data di apertura al traffico, compreso tra 2.000 e 8.000 MPa, salvo eventuale diversa prestazione prescritta nei documenti progettuali.

30.8.3 Documenti di prequalifica

L'Appaltatore dovrà sottoporre all'accettazione della Direzione Lavori, almeno 15 giorni prima dell'inizio delle attività, una relazione contenente tutte le informazioni atte a dimostrare il rispetto dei requisiti di accettazione dei singoli materiali e della miscela e nello specifico:

- le caratteristiche degli aggregati di integrazione in riferimento al paragrafo §30.8.1.1;
- le caratteristiche del legante cementizio in riferimento al paragrafo §30.8.1.2 e della calce §30.8.1.4;
- le caratteristiche del legante bituminoso in riferimento al §31.4.2.2.3 (legante "A1");
- la descrizione delle procedure operative di stesa (§30.8.4) (funzionamento, velocità, calibrazioni, tempistiche, tipo di mezzi, numero di passate ecc.) compresa la documentazione fotografica;
- la marcatura CE e le Dichiarazioni di Prestazione (DoP) dei materiali e tutti i certificati emessi da un laboratorio autorizzato attestanti le procedure seguite e i risultati ottenuti.

La mancata presentazione della documentazione preliminare comporta la non autorizzazione all'inizio dell'esecuzione dei lavori, né saranno accettate eventuali lavorazioni svolte prima dell'approvazione delle modalità esecutive.
I requisiti d'accettazione potranno inoltre essere accertati con ulteriori prove a cura della Direzione Lavori sia in fase di prequalifica presso il fornitore (controllo non vincolante per l'autorizzazione), sia in corso d'opera, prelevando il materiale in sito o ancora presso il fornitore, prima e dopo avere effettuato le lavorazioni.

30.8.4 Modalità esecutive

30.8.4.1 Scelta del punto operativo

Il PUNTO OPERATIVO effettivo delle lavorazioni, dipendente da quello che risulta essere il materiale da riciclare in sito, viene determinato, nell'ambito dei range sopra descritti, attraverso una procedura di controlli da eseguirsi, da parte dell'Appaltatore, prima e durante le operazioni di schiumatura.
Tale procedura verrà curata in sito da un tecnico dell'Appaltatore definito "Responsabile della Qualità dello Schiumato" (RQS). Tutti i dati risultanti dai controlli eseguiti dovranno essere annotati a cura del RQS sulle apposite schede fornite:

- una Scheda di Rilevamento Dati riassuntiva in cui dovranno essere annotati tutti i dati raccolti e che a conclusione;
- una Scheda di Intervento in cui dovranno essere trascritti tutti i dati che riguardano il PUNTO OPERATIVO (passante al setaccio 10 mm, passante al setaccio 2 mm, tipo di integrazione, umidità naturale, umidità totale e % di cemento.

Di seguito sono descritti i controlli che l'RQS provvederà ad effettuare ed organizzare ai fini della determinazione del PUNTO OPERATIVO. Tutti gli adattamenti conseguenti ai controlli e attuati in base alla procedura seguente, dovranno essere sottoposti, durante le fasi lavorative, al DL per approvazione.

30.8.4.2 Controlli ad inizio lavori per la scelta del punto operativo

Al fine di effettuare i controlli sottoelencati verrà prelevato un campione del materiale esistente riferito a tutto lo spessore dello strato interessato; pertanto, bisognerà prestare particolare attenzione durante la fase di prelievo e successiva quartatura (UNI EN 932-1):

- Controllo della GRANULOMETRIA del misto granulare in sito da effettuarsi prima dell'inizio della schiumatura.

Il controllo avverrà inizialmente prelevando del materiale sul fondo dei primi metri di cassonetto aperto (prima che le frese si allontanino) in modo da definire l'esigenza di eventuali integrazioni che comportano un diverso approfondimento della fresatura. L'analisi granulometrica verrà effettuata determinando le percentuali di passante ricavate mediante l'impiego di due setacci con apertura della maglia di 10 mm e di 2 mm, in quanto rappresentativi del contenuto di frazione grossa e fine. Tali percentuali verranno utilizzate per la valutazione delle correzioni da apportare secondo il seguente schema:

% passante setaccio 10	% passante setaccio 2	integrazione
> 65%	> 25%	5 cm di spessore inerte 10-40
≤ 65%	≤ 25%	2 cm di spessore sabbia (frantumata di cava)
Casi intermedi		nessuna integrazione

Qualora i valori percentuali di passante per essi determinati, anche dopo l'aggiunta analitica del materiale di integrazione, non dovessero essere ricompresi nei limiti del fuso di cui al paragrafo §30.8.2.2 si dovrà interrompere la lavorazione ed interpellare il DL che definirà le opportune azioni da intraprendere.

- Controllo della UMIDITÀ (UNI EN 1097-5) dello strato di fondazione da trattare, da effettuarsi prima dell'inizio delle operazioni di schiumatura.
  Il valore ottimale dell'umidità totale (umidità naturale + eventuale aggiunta) deve essere circa pari al 6% (a cui corrisponde una percentuale di cemento del 3% ed una percentuale di bitume del 4%). Nel caso in cui con tale controllo si riscontri una % di umidità naturale inferiore si dovrà provvedere ad impostare sulla macchina di schiumatura una integrazione di acqua. Nel caso in cui l'umidità naturale sia uguale o superiore al 6%, non verrà impostata aggiunta di acqua sulla schiumatrice e dovrà essere effettuato un pretrattamento a calce (preferibilmente calce viva).
  Nel caso di eccessiva umidità naturale (oltre il 10%):
  - se dovuta a precipitazioni meteoriche abbondanti, si dovrà interrompere la lavorazione in attesa che la fondazione si asciughi.

- se dovuta a diversa motivazione si dovrà interrompere la lavorazione e si dovrà interpellare la DL per definire le opportune azioni da intraprendere.

In ogni caso, a suo insindacabile giudizio la DL, dopo aver concluso le operazioni di demolizione della lastra/neri e di pulizia e regolarizzazione del cavo, potrà eventualmente disporre l'esecuzione di tutti gli accertamenti ritenuti necessari sul materiale in opera. Nel caso la DL ritenga che tale materiale non sia idoneo alla lavorazione, si dovrà procedere alla bonifica della fondazione con materiale granulometricamente idoneo e, solo a bonifica avvenuta, si potrà procedere alle operazioni di schiumatura.

30.8.4.3 Controlli in corso d'opera per la scelta del punto operativo

Al fine di effettuare i controlli sottoelencati verrà prelevato un campione riferito a tutto lo spessore dello strato interessato; pertanto, bisognerà prestare particolare attenzione durante la fase di rilievo e successiva quartatura (UNI EN 932-1):

- Controllo della UMIDITÀ (UNI EN 1097-5) dello strato di fondazione da trattare, da effettuarsi ogni 500 m di produzione. Nel caso in cui l'umidità naturale sia uguale o superiore al 6% dovrà essere effettuato un pretrattamento a calce (preferibilmente calce viva). Nel caso di eccessiva umidità naturale (oltre il 10%), riconducibile quindi ad eventi non previsti in sede di progettazione di base:
  - se dovuta a precipitazioni meteoriche abbondanti, si dovrà interrompere la lavorazione in attesa che la fondazione si asciughi.
  - se dovuta a diversa motivazione si dovrà interrompere la lavorazione e si dovrà interpellare la DL per definire le opportune azioni da intraprendere.

Qualora il fermo della lavorazione non fosse attuabile per esigenze legate all'Esercizio, l'avanzamento delle stesse dovrà essere esplicitamente ordinato dalla DL, debitamente informata dall'RQS della situazione riscontrata.

- Controllo della GRANULOMETRIA, il controllo in corso d'opera avverrà ogni 1000 m di produzione od ogni qualvolta sia visibile (a giudizio dell'RQS) una modifica evidente delle caratteristiche granulometriche.
  L'analisi granulometrica verrà effettuata utilizzando la stessa metodologia precedentemente descritta e determinando le percentuali di passante ricavate mediante l'impiego di due setacci con apertura della maglia di 10 mm e di 2 mm, in quanto rappresentativi del contenuto di frazione grossa e fine. Tali percentuali verranno utilizzate per la valutazione delle correzioni da apportare secondo il seguente schema:

% passante setaccio 10	% passante setaccio 2	integrazione
> 65%	> 25%	5 cm di spessore inerte 10-40
≤ 65%	≤ 25%	2 cm di spessore sabbia (frantumata di cava)
Casi intermedi		nessuna integrazione

Qualora i valori percentuali di passante per essi determinati, anche dopo l'aggiunta analitica del materiale di integrazione, dovessero non essere ricompresi nei limiti del fuso di cui al paragrafo §30.8.2.2 si dovrà procedere come indicato al paragrafo §30.8.4.2.

30.8.4.4 Posa dello schiumato

La lavorazione in opera della miscela deve essere effettuata, se possibile con una sola passata (con macchine a tutta larghezza), mediante sistemi che consentano di ottenere uno strato perfettamente sagomato, privo di sgranamenti, fessurazioni ed esente da difetti dovuti alla segregazione degli elementi litoidi più grossi; nel caso di uso di miscelatrici più strette della larghezza da trattare, si dovrà operare in due o più passate, curando una sovrapposizione (per qualche decina di centimetri) delle strisciate contigue.
La miscela appena trattata deve essere immediatamente compattata mediante un rullo metallico vibrante mono tamburo con peso statico di almeno 20 t e un rullo gommato di almeno 18 t, operante direttamente a tergo del treno di schiumatura. Il rullo gommato lavora senza interruzioni su tutta la tratta.
Le operazioni di messa in opera e la dimensione della sezione da trattare dovranno tenere in considerazione la capacità dell'autobotte di bitume ottimizzando le tempistiche delle lavorazioni evitando tempi di attesa e residui di produzione.
Al termine del costipamento e di rifinitura, sui bordi e sulle pareti verticali del cassonetto, deve essere eseguita la spruzzatura di un velo protettivo di emulsione bituminosa cationica (§31.4.2.4, legante "C1") in ragione di 0.5 ÷ 1.5 kg/m².
Con temperatura dell'aria inferiore ai 5°C la lavorazione della miscela deve essere sospesa e comunque sempre in caso di pioggia.
La lavorazione consente dopo compattazione una immediata apertura al traffico di cantiere ed in caso di emergenza, per brevissimo tempo sotto stretto controllo, anche al traffico normale.

30.8.5 Controlli in corso d'opera

30.8.5.1 Controlli a carico dell'Appaltatore

L'Appaltatore è tenuto a documentare in apposito report l'esito delle seguenti verifiche da trasmettere alla Direzione Lavori:

- Controllo della qualità del bitume all'arrivo di ogni nuova cisterna con lettura delle bolle di consegna e verifica sull'utilizzo dei soli bitumi schiumati qualificati.
- Controllo della temperatura di impiego del bitume (deve essere compresa tra 165°C e 190°C) da effettuare al pannello del computer di controllo sulla macchina di schiumatura all'arrivo di ogni nuova cisterna dopo il riscaldamento dei condotti di adduzione del bitume agli ugelli di spruzzaggio o altrimenti misurando la temperatura del bitume agli sfiati superiori delle cisterne con pistola all'infrarosso;
- Controllo della % di bitume il cui valore di impiego è pari al 4 %, da controllare al pannello del computer di controllo della schiumatrice: all'inizio e ad ogni ripresa dei lavori ed all'inizio di ogni nuova fornitura;
- Controllo della % di acqua di schiumatura che deve corrispondere a quella prescritta (vedi tabella bitumi schiumati qualificati – sensibilità dei diversi prodotti a tale parametro) da controllare al pannello del computer di controllo della schiumatrice: all'inizio e ad ogni ripresa dei lavori;
- Controllo della % di cemento da controllare davanti alla schiumatrice (ad es. utilizzando una piastra da 1-0,5 mq da mettere a terra davanti la spandi-cemento) effettuando: n.2 controlli ogni giorno di lavorazione e comunque ad ogni variazione di % impostata;
- Controllo della compattazione con verifica della presenza dei mezzi raccomandati: rullo vibrante mono tamburo con peso statico di almeno 20 t e un rullo gommato di almeno 18 t. I tratti in cui al passaggio del rullo la fondazione presenti un comportamento visivamente instabile, oppure si osservi una risalita di umidità in superficie durante la rullatura dello schiumato (confermata dal controllo di umidità totale raggiunta), dovranno essere

immediatamente segnalati al DL per la definizione di soluzioni progettuali alternative. Per esigenze legate all'Esercizio (nel caso di data prevista di riapertura al traffico del tratto da rispettare tassativamente), potranno essere adottate soluzioni di emergenza diverse da quelle ottimali, tali soluzioni saranno decise dal DL per tutti gli aspetti tecnici (solitamente si prevede la bonifica degli strati di fondazione interessati con materiale vergine).

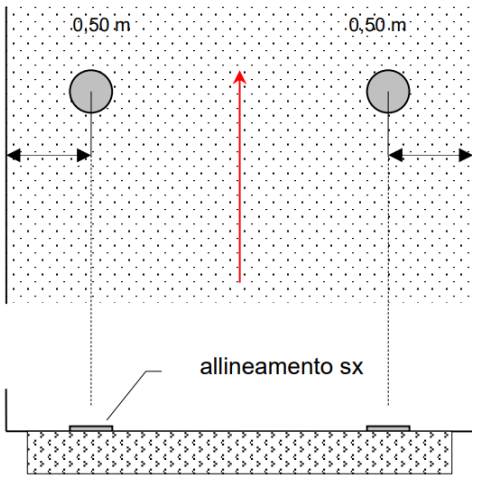
- Controllo dello spessore del cavo risultante dopo la compattazione, con verifica del rispetto della quota prevista dal progetto per il piano di stesa della base in conglomerato ai due lati del cavo e della planarità del piano stesso: ogni 200 m di produzione;

L'Appaltatore dovrà provvedere inoltre alla verifica topografica della sagoma finita e dello spessore di progetto della fondazione finita rispetto alle previsioni progettuali prima di procedere con la posa degli strati successivi. Il rilievo deve misurare una griglia di punti di misura aventi, in direzione longitudinale, un distanziamento massimo di 20 m. La griglia deve, inoltre, permettere la verifica delle pendenze di progetto. Eventuali carenze di quota localizzate, fino a 10 mm, possono essere compensate dallo spessore dello strato superiore senza oneri ulteriori, nel caso di quote superiori a quelle di progetto lo strato, ad insindacabile giudizio della DL, può essere rimosso e risagomato a cura e spese dell'Appaltatore. Il rilevo, ed ogni suo successivo aggiornamento, deve essere trasmesso al Direttore dei Lavori in formato dwg. La Direzione Lavori, in caso di dubbi sulla regolarità superficiale dello strato, può eseguire, ove ritiene opportuno, la verifica della regolarità a mezzo di un regolo di 4 m di lunghezza, disposto secondo due direzioni ortogonali o mediante altra metodologia approvata dalla DL. Sono ammessi scostamenti rispetto ai piani di progetto non superiori a 10 mm.

30.8.5.2 Controlli a carico della Direzione Lavori

30.8.5.2.1 Controlli di portanza a schiumatura terminata

Il controllo puntuale della portanza sulla fondazione schiumata con il rilievo del modulo elastico eseguito con Light Falling Weight Deflectometer PORTATILE (Dynatest 3031 LFWD) che deve essere eseguito con un passo di almeno 20 m di intervento su due allineamenti destra e sinistra posti a 50 cm dal bordo del cavo a 24 h di maturazione (vedi figura sotto).



Come detto, la schiumatura è un'operazione che prevede il riciclaggio completo dello strato trovato in situ, di conseguenza, pur in presenza di una progettazione di base con range ampi di applicabilità e correzioni frequenti del PUNTO OPERATIVO, residuano possibilità di zone singolari.
L'RQS dovrà effettuare delle prove attraverso LFWD per intercettare eventuali casi specifici. Tali prove dovranno essere effettuate in un intervallo di tempo compreso tra 3 e 12 ore dall'operazione

di compattazione dopo schiumatura e fino a tale momento non dovrà essere dato corso alle operazioni successive.
La soglia minima di accettabilità della lavorazione è pari al valore indicato al § 30.8.2.3 dopo almeno 3 ore di maturazione. Nel caso in cui i valori misurati risultino inferiori a detto minimo di riferimento, il RQS dovrà comunicarlo immediatamente al DL.
Il DL deciderà le eventuali operazioni di bonifica da eseguire anche in relazione alle esigenze legate all'Esercizio. L'RQS dovrà espressamente prendere nota di quanto avvenuto sulla scheda. L'RQS è altresì chiamato all'esecuzione di un altro set di misurazioni.
È indispensabile che, insieme alle prove LFWD, venga accuratamente registrato l'esatto tempo di maturazione della fondazione schiumata testata e comunque tutti i dati richiesti come da procedura precedentemente descritta.

30.8.5.2.2 Controlli dei parametri ITS e CTI

Per il controllo delle lavorazioni saranno anche effettuati n. 4 carotaggi distribuiti lungo un tratto elementare di lunghezza pari a 500 m (o pari alla lunghezza dell'intervento investigato se inferiore), per i quali dovrà essere seguita la seguente procedura:

- Carotaggio effettuato in 2 fasi: nella prima fase si procede con l'estrazione dei soli strati di conglomerato bituminoso sovrastanti lo strato stabilizzato con bitume schiumato; nella seconda fase si effettua il carotaggio del solo strato in bitume schiumato.
- Dovranno essere utilizzate esclusivamente carotatrici elettriche, con potenza di targa non inferiore a 2.8 kW e sistema di stabilizzazione idoneo ad evitare eccessive vibrazioni e/o difficile reinserimento della corona nel cavo di carotaggio dopo l'estrazione del prodotto di prima fase.
- Le corone dovranno essere nuove o con diamantatura in piena efficienza e con dentatura per conglomerati bituminosi.
- Il diametro minimo della corona dovrà essere di 150 mm e la stessa sarà accoppiata allo stelo di trasmissione attraverso un sistema attraverso il quale sia possibile, per estrarre la carota, rimuovere il fondo della corona su cui è situato lo stelo di trasmissione.
- Tale caratteristica permette di spingere il campione fuori dal tubo senza danneggiarlo, deve essere assolutamente evitata l'estrazione del campione mediante "battitura" sulle pareti laterali della corona che può facilmente provocare la disgregazione del campione stesso impedendone la corretta "valutazione" e misurazione.
- I carotaggi dovranno essere effettuati ad almeno 1 m di distanza dalla linea bianca continua di margine destro, ciò per evitare di introdurre degli indebolimenti localizzati della struttura in corrispondenza della wheelpath destra dove transitano le ruote dei mezzi pesanti.
- I carotaggi dovranno essere effettuati dopo almeno 90 gg di maturazione dello strato.

Per quanto attiene ai risultati delle operazioni di carotaggio, valgono le seguenti prescrizioni:

- Si assume che, trascorso il tempo di 90 giorni, le carote debbano essere estratte mantenendo nello strato di fondazione schiumata un ragionevole stato di coerenza. E' ammesso che la porzione terminale di tale strato non si distacchi in modo netto dal sottostante, dal momento che la lavorazione di schiumatura non viene effettuata su un appoggio liscio e piano, ed è quindi plausibile lo stabilirsi di una interfaccia incoerente all'interfase. Se si verifica questa ipotesi, la misurazione degli spessori dei vari strati sarà effettuata nel cavo di carotaggio.
- Qualora l'operazione di carotaggio dia ripetuti esiti negativi, il DL prima di definire come non accettabile la lavorazione, potrà (visti i dati relativi alla determinazione del PUNTO OPERATIVO e gli eventuali test effettuati con HWD) richiedere l'ulteriore prova a maglie infittite di portanza con HWD e/o l'effettuazione di carotaggi con corona da 200 mm.

Questo per valutare, a suo giudizio e responsabilità, se la mancata estrazione delle carote può essere dovuta a presenza di aggregati di dimensioni tali da rendere l'estrazione della carota con corona di diametro standard 150 mm difficoltosa a causa delle azioni tangenziali trasmesse dalla stessa allo strato di fondazione.

- Le carote estratte saranno sottoposte a prove di trazione indiretta in laboratorio (se eseguibile) che dovranno rispettare i limiti di seguito elencati per i parametri ITS e CTI (UNI EN 12697-23):
  - ITS = 0,85*0,2 = 0,17 MPa
  - CTI = 0,85*25 = 21 MPa

30.8.5.2.3 Altri controlli

Con frequenza ogni 10.000 m^3 di strato finito compattato sono da verificare all'impianto le seguenti qualità degli aggregati di cui ai requisiti del § 30.8.1.1:

- N. 1 prova della granulometria, % di particelle frantumate, contenuto di fini aggregato grosso e fine, valutazione del fine equivalente in sabbia, valutazione del fine blu di metilene, indice di plasticità. Per gli eventuali aggregati riciclati: contenuto di frammenti di conglomerati cementizi, contenuto di vetro, contenuto di materiale galleggiante, contenuto di terreno vegetale, test di cessione per la conformità ai valori dell'Allegato n. 3 del D.M. 05/02/1998 per il materiale di origine riciclata.

Con frequenza ogni 20.000 m^3 di strato finito compattato sono da verificare all'impianto le seguenti qualità degli aggregati di cui ai requisiti del § 30.8.1.1:

- N. 1 prova del coefficiente di appiattimento, coefficiente di forma, resistenza alla frammentazione, resistenza all'usura, assorbimento d'acqua, solfato solubile in acido, zolfo totale, solfato idrosolubile, stabilità volumetrica, sensibilità al gelo.

Per quanto riguarda ***il legante bituminoso*** è' necessario eseguire un prelievo all'impianto per fornitore e prodotto al primo utilizzo e successivamente con cadenza bisettimanale, per la verifica delle caratteristiche approvate in qualifica nel rispetto dei limiti riportati nei § 31.4.2.2.2 per bitume tipo A, § 31.4.2.2.3 per bitume per schiumatura tipo A1, § 31.4.2.3 per bitume modificato hard con polimeri SBS tipo B, § 31.4.2.4 per emulsioni bituminose cationiche non modificate tipo C, C1 e C2, § 31.4.2.5 per emulsioni bituminose cationiche modificate tipo D1 e D2. Ai predetti limiti si applicano le tolleranze di seguito riportate:

- Punto di Rammollimento: variazione di 5 °C rispetto al limite inferiore e/o superiore.
- Penetrazione a 25°C: variazione di 5 mm rispetto al limite inferiore e/o superiore.
- Viscosità dinamica a 160 °C, $\dot{\gamma}$=100 s^{-1}: variazione di 0,1 Pa*s rispetto al limite inferiore e/o superiore.
- Ritorno elastico a 25 °C, 50 mm/min: variazione di 5 punti percentuali rispetto al limite inferiore e/o superiore.

La mancata rispondenza ad almeno una dei precedenti 4 requisiti può comportare l'applicazione della penale del prezzo dello strato corrispondente al campione contenente la partita di bitume non conforme di cui al § 31.10.2.4.

In aggiunta alle prove di cui sopra, al completamento della posa di tutti gli strati di pavimenazione, potranno essere effettuate, a cura della Committente, dei controlli con apparecchiature ad alto rendimento per la misura del Modulo Elastico dello o degli strati di supporto sopra descritti, con le modalità indicate al § 30.9.

30.9 Controlli con apparecchiature ad alto rendimento sulla pavimentazione finita e penali

Qualora previsto a progetto, richiesto dalla Committente o dalla Direzione Lavori, il controllo della qualità della pavimentazione finita viene eseguito con apparecchiature ad alto rendimento attraverso la verifica della portanza, nel rispetto dei limiti di cui al § 30.3.3, § 30.3.4, §30.3.5, § 30.3.6, §30.3.7 e §30.3.8.

30.9.1 Portanza

Le prove di deflessione dinamica con apparecchiatura Falling Weight Deflectometer (FWD) sono effettuate sulla pavimentazione finita nel caso di nuovi interventi e lavori di risanamento profondo che prevedano il rinnovo dell'intero pacchetto legato a bitume e sottobase legata, I risultati di tali prove devono essere conformi ai § 30.3.2, §30.4.2.4, §30.5.2.4, §30.6.2.4, §30.7.2.4, §30.8.2.3 e riepilogati al successivo § 30.9.2 .

Per quanto riguarda le caratteristiche strutturali degli strati in conglomerato bituminoso messi in opera, il parametro di riferimento è il modulo elastico che viene ricavato interpretando una serie di misure di deflessione dinamica eseguite dal Centro Rilevamento Dati e Prove Materiali o da Laboratori terzi scelti dalla DL.

Per l'interpretazione delle misure di deflessione è necessario conoscere gli spessori degli strati della pavimentazione. La valutazione di tali spessori avviene tramite il rilievo in continuo della stratigrafia della pavimentazione eseguito mediante un'apparecchiatura radar ad alto rendimento eventualmente integrato da una serie di carotaggi pianificata dalla Committente, da eseguirsi in numero sufficiente a correlare il segnale rilevato con gli effettivi spessori. Le prove di deflessione dinamica devono essere eseguite sulla superficie finita della pavimentazione in un periodo di tempo variabile fra il 3° ed il 90° giorno dalla data di apertura al traffico.

Le prove di deflessione dinamica per il calcolo del modulo elastico sono interpretate mediante un idoneo programma di calcolo di Back-Analysis. Il valore ottenuto per gli strati legati a bitume deve essere riportato ad una temperatura di riferimento del conglomerato bituminoso pari a 20 °C.

Le prove dinamiche tipo FWD non devono essere eseguite nel caso di temperature superficiali della pavimentazione superiori a 30 °C, evitando nelle giornate calde (periodo primaverile ed estivo) le ore comprese tra le 10.00 ed il tramonto.

Le misure del bacino di deflessione con apparecchiatura FWD vengono effettuate sulla corsia interessata dal rilievo, con un passo minimo di 50 m per avere a disposizione un campione di dati statisticamente significativo. Eccezionalmente, per motivi operativi o di interferenza con il traffico, l'intervallo tra le prove può essere esteso fino ad un massimo di 100 m.

Per la valutazione delle caratteristiche strutturali si deve fare riferimento al valore medio del modulo espresso in MPa, ricavato dai moduli risultanti dalle misure puntuali di FWD, relativo a ciascuna tratta omogenea in cui è possibile suddividere l'intera lunghezza di stesa.

Per tratte omogenee si intendono quei tratti di pavimentazione nei quali ricadono almeno 4 punti di misura e nei quali i valori dei moduli elastici sono distribuiti statisticamente secondo una distribuzione "normale". Le tratte omogenee sono individuate da idoneo programma di calcolo.

Nel caso di nuovi interventi e lavori di risanamento profondo che prevedano il rinnovo dell'intero pacchetto legato a bitume e della sottobase legata, è possibile prevedere in aggiunta alle misure FWD anche l'esecuzione di prove di deflessione dinamica con apparecchiatura Traffic Speed Deflectometer (TSD).

Il rilievo con il TSD deve essere svolto sulla superficie finita della pavimentazione in un periodo di tempo variabile fra il 3° ed il 90° giorno dalla data di apertura al traffico. Il rilievo deve avvenire nelle prime ore del mattino, e comunque non oltre le ore 11:00. Sono da considerare validi solo i bacini di deflessione ottenuti con temperatura superficiale della pavimentazione inferiore a 30 °C.

I bacini di deflessione ottenuti con il TSD devono essere restituiti con un passo non inferiore a 10 m ed interpretati mediante un idoneo programma di calcolo di Back-Analysis. Poiché i bacini di deflessione misurati dal TSD sono diversi da quelli misurati dal FWD a causa delle diverse condizioni di misura (entità e modalità di applicazione del carico), ai corrispondenti valori dei moduli elastici non saranno applicati i limiti di accettazione e le penali illustrate al paragrafo §30.9.2.

30.9.2 Penali

In funzione del valore medio del modulo del pacchetto di strati soggetto a prova, lo stesso pacchetto interessato viene penalizzato in maniera percentuale rispetto al costo secondo i valori elencati nella seguente tabella (valida nel caso di conglomerati bituminosi).

MISCELA	MODULO DI ELASTICITÀ (E)	PENALITÀ
Misto cementato (§30.3 e §30.4)	4.000 MPa £ E £ 12.000 MPa	Prestazione valida
	E > 12.000 MPa	Detrazione del 10%
	2.000 MPa £ E < 4.000 MPa	Detrazione del 10%
	E < 2.000 MPa	Detrazione del 20%
miscele riciclate a freddo con bitume schiumato oppure emulsione bituminosa e cemento (§30.5, §30.6 e §30.7)	3.000 MPa £ E £ 10.000 MPa	Prestazione valida
	E > 10.000 MPa	Detrazione del 10%
	1.500 MPa £ E < 3.000 MPa	Detrazione del 10%
	E < 1.500 MPa	Detrazione del 20%
miscele riciclate a freddo con bitume schiumato per il miglioramento di strati di fondazione non legati (§30.8)	2.000 MPa £ E £ 8.000 MPa	Prestazione valida
	E > 8.000 MPa	Detrazione del 10%
	1.000 MPa £ E < 2.000 MPa	Detrazione del 10%
	E < 1.000 MPa	Detrazione del 20%

Art. 30 NO CAM - Fondazioni legate e strati di base/sottobase legati a freddo

30.1 Descrizione e campo di applicazione

Il miglioramento delle caratteristiche meccaniche della miscela granulare di fondazione può avvenire attraverso diverse tecniche di stabilizzazione.

La stabilizzazione meccanica della miscela prevede prevalentemente la correzione granulometrica della porzione fine della curva e, in tal caso, il materiale viene considerato un misto granulare stabilizzato.

Sia sul misto granulare stabilizzato, che su altre tipologie di miscele di aggregati, possono essere condotte altre due tipologie di stabilizzazione basate sull'impiego di leganti di natura idraulica (prevalentemente cemento) o idrocarburica (prodotti bituminosi) che possono essere usati anche in maniera combinata. Questo tipo di stabilizzazione modifica in maniera significativa la risposta del materiale rendendolo reagente a trazione e quindi suscettibile a fenomeni fessurativi oltre che deformativi.

Quando la stabilizzazione avviene utilizzando unicamente legante cementizio la miscela per fondazione viene definita *fondazione in misto cementato*. Questo tipo di miscela può essere prodotta interamente o da aggregati di primo impiego (naturali o frantumati), o da aggregati di primo impiego miscelati con una percentuale di materiali riciclati di diversa provenienza, oppure può essere prodotta da aggregati interamente o prevalentemente di origine riciclata che possono essere integrati con una percentuale più o meno ridotta di aggregati di primo impiego. In questo ultimo caso ci si riferisce alla *fondazione riciclata in misto cementato*.

La fondazione in misto cementato viene tipicamente impiegata nelle sovrastrutture di tipo semirigido disposta a diretto contatto con il sottofondo o con uno strato di fondazione stabilizzato granulometricamente. Essa assolve principalmente alla funzione di dissipare i carichi da traffico riducendo lo stato tensionale trasferito agli strati sottostanti e al sottofondo.

Le miscele in misto cementato possono essere prodotte in impianti fissi o mobili localizzati internamente o esternamente all'area di cantiere. In questi impianti possono essere prodotte tutte e tre le tipologie di miscele prima indicate in funzione del bilanciamento tra materia di primo impiego e materia riciclata.

La miscela in misto cementato può altresì essere prodotta direttamente lungo il tracciato della pavimentazione oggetto di intervento (*in situ*) attraverso tecniche di riciclaggio prevedono l'utilizzo di macchinari mobili definito treno di riciclaggio. Questo tipo di lavorazione ha l'obbiettivo di rinnovare la capacità portante della sovrastruttura massimizzando il reimpiego del materiale derivante dalla demolizione della pavimentazione oggetto di intervento. Pertanto, in questo caso ci si riferisce prettamente alla *fondazione in misto cementato riciclata in sito*.

In questo articolo di Capitolato, le lavorazioni relative alla fondazione in misto cementato prodotta in impianto vengono descritte al paragrafo 30.3 mentre quelle relative alla fondazione in misto cementato riciclata in sito vengono descritte al paragrafo 30.4.

La stabilizzazione con leganti di natura idrocarburica avviene mediante l'impiego di leganti bituminosi utilizzati (generalmente) insieme al legante cementizio. I due leganti vengono proporzionati con lo scopo controllare la rigidezza, la suscettività termica e resistenza a fessurazione dello strato. I leganti bituminosi utilizzati per gli strati di fondazione previsti in questo articolo di Capitolato sono il bitume schiumato e l'emulsione bituminosa i cui requisiti vengono riportati nell'articolo 31 di questo Capitolato.

Senza intento di generalizzare, è possibile affermare che questa seconda tecnologia di stabilizzazione si sia sviluppata contestualmente alle tecniche di riciclaggio in sito delle pavimentazioni demolite con l' obiettivo di massimizzare il reimpiego del conglomerato bituminoso risultante dalle demolizioni o comunque di massimizzare il reimpiego del materiale demolito in generale. Pertanto, le miscele per fondazione derivanti da questo tipo di stabilizzazione vengono definite miscele per fondazione (o sottobase) riciclate a freddo. L'ultimo aggettivo fa riferimento alla tecnologia impiegata per l'aggiunta del legante bituminoso.

Anche in questo caso, le miscele per fondazione riciclata con legante idrocarburico e cemento possono essere prodotte in impianti fissi o mobili, oppure attraverso l'impiego dei treni di riciclaggio.

In questo articolo, le fondazioni riciclate legate con legante idrocarburico e cementizio vengono descritte nei paragrafi che vanno dal paragrafo 30.5 al paragrafo 30.8.

Le prescrizioni contenute nel presente articolo capitolato si applicano alle lavorazioni inerenti alla realizzazione dello strato di fondazione in misto cementato per le quali in progetto non è prevista l'applicazione del D.M. 5 agosto 2024 così come modificato dal D.M.11 settembre 2025.

Tali prescrizioni sono da ritenersi valide per tutte le viabilità autostradali e per le viabilità interferite o compensative destinate ad essere consegnate al termine dei lavori alle Amministrazioni Locali.

30.2 Normativa di riferimento

Aggregati riciclati – cessazione della qualifica di rifiuto

- Decreto del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare del 28 marzo 2018, n. 69 Regolamento recante disciplina della cessazione della qualifica di rifiuto di conglomerato bituminoso ai sensi dell'articolo 184-ter, comma 2 del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152. (G.U. Serie Generale n. 139 del 18-06-2018).
- Decreto del Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica n. 127 del 23 maggio 2024 recante "Regolamento concernente la disciplina per la gestione delle terre e rocce da scavo e la cessazione della qualifica di rifiuto per i rifiuti inerti da costruzione e demolizione"

Aggregati

- UNI EN 11531-2: Costruzione e manutenzione delle opere civili delle infrastrutture – Criteri per l'impiego dei materiali – Parte 2: materiali granulari e miscele di aggregati legati con leganti idraulici e aerei.
- UNI EN 13242 - Aggregati per materiali non legati e legati con leganti idraulici per l'impiego in opere di ingegneria civile e nella costruzione di strade
- UNI/TS 11688 – Criteri di qualificazione e impiego del conglomerato bituminoso di recupero proveniente dalla rimozione di pavimentazioni esistenti

Legante cementizio

- UNI EN 197-1: Cemento - Parte 1: Composizione, specificazioni e criteri di conformità per cementi comuni
- UNI EN 13282-1: Leganti idraulici per impieghi stradali - Parte 1: Leganti idraulici per impieghi stradali a indurimento rapido - Composizione, specifiche e criteri di conformità.
- UNI EN 13282-2: Leganti idraulici per impieghi stradali - Parte 2: Leganti idraulici per impieghi stradali a normale indurimento - Composizione, specificazioni e criteri di conformità.

Miscele

- UNI EN 14227-1-1: Miscele legate con leganti idraulici. Specifiche – Parte 1: Miscele granulari legate per fondi e sottofondi stradali.
- UNI EN 13286-41: Miscele legate con leganti idraulici. Specifiche – Parte 42: Metodo di prova per la determinazione della resistenza a compressione di miscele legate con leganti idraulici.
- UNI EN 13286-42: Miscele legate con leganti idraulici. Specifiche – Parte 42: Metodo di prova per la determinazione della resistenza a trazione indiretta di miscele legate con leganti idraulici

Prove in sito

- CNR BU 146/1992 – Determinazione del Modulo di deformazione Md e Md' mediante prova di carico a doppio ciclo con piastra circolare.
- UNI EN 11272: Qualità del suolo – Determinazione della densità apparente a secco.

30.3 Fondazione in misto cementato prodotto in impianto

Lo strato di fondazione in misto cementato prodotto in impianto è costituito da una miscela granulare stabilizzata con legante idraulico che ne modifica, migliorandone a valle di un periodo di maturazione, le caratteristiche meccaniche.

Nel caso di miscele prodotte in impianto, la composizione granulometrica, il dosaggio di legante idraulico, il dosaggio di acqua ed eventuali additivi avvengono tramite dosatori automatici tarati in peso o in volume. Tali impianti possono essere fissi o mobili e possono trovarsi sia internamente che esternamente dall'area di cantiere.

Una volta confezionata e trasportata in cantiere (o comunque presso il sito di posa in opera), la miscela dovrà essere stesa e compattata con idonee attrezzature in un unico strato di spessore massimo pari a 30 cm.

30.3.1 Criteri di accettazione della miscela e dei suoi materiali costituenti

In linea generale, i materiali di provenienza esterna dal cantiere o che l'Appaltatore approvvigionerà da terzi dovranno essere qualificati in conformità al Regolamento UE n°305/2011 sui prodotti da costruzione.

30.3.1.1 Aggregati

Indipendentemente dalla provenienza e dalla percentuale di impiego, ogni fornitura di aggregati che l'Appaltatore approvvigiona da terzi o che deriva unicamente da una campagna di recupero da lui stesso condotta dovrà essere corredata da marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA della UNI EN 13242 con sistema di attestazione di conformità 2+ inclusa di Dichiarazione di Prestazione (DoP). La certificazione CE e la DoP dovranno essere consegnati alla Direzione Lavori prima dell'inizio dei lavori e ad ogni cambio di lotto di aggregato.

Ad ogni modo, la Direzione Lavori ha la facoltà di richiedere tale documentazione in ogni fase delle lavorazioni.

I requisiti di idoneità tecnica degli impiegati utilizzabili sono riportati al § 30.3.2.1.

30.3.1.2 Cemento

Ogni fornitura di cemento dovrà essere accompagnata dalla marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA della norma europea armonizzata UNI EN 197-1 con sistema di attestazione di conformità 1+. La certificazione CE e la DOP del cemento utilizzato dovranno essere consegnati alla Direzione Lavori all'inizio dei lavori o comunque ad ogni rinnovamento o cambio di fornitura. Ad ogni modo, la Direzione Lavori ha la facoltà di richiedere tale documentazione in ogni fase delle attività.

30.3.1.3 Miscela confezionata in impianto esterno all'area di cantiere

Ogni fornitura di miscela in ingresso al cantiere dovrà essere accompagnata da Documento di Trasporto corredato da rapporto di carico. Quest'ultimo dovrà essere compilato includendo i riferimenti agli aggregati utilizzati (che dovranno essere marcati CE secondo quanto riportato al paragrafo 30.3.1.1), al loro proporzionamento, e alle caratteristiche compositive attestanti la conformità all'ultima miscela prequalificata secondo quanto riportato in questo articolo di Capitolato.

A suo onere, l'Appaltatore ha la facoltà fornire la certificazione volontaria della miscela prodotta ai sensi della UNI EN 14227-1.

30.3.1.4 Miscela confezionata in impianto interno all'area di cantiere

Ogni fornitura di aggregati di provenienza esterna al cantiere dovrà essere accompagnata da marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA della UNI EN 13242 con sistema di attestazione di conformità 2+ inclusa di Dichiarazione di Prestazione (DOP).

Per quanto riguarda gli aspetti ambientali degli aggregati – da impiegare nelle miscele previste in progetto – provenienti da terre e rocce da scavo interne al cantiere, si rimanda a quanto previsto all'interno del Capitolato Ambientale e al Piano di Gestione Terre. Per ciò che concerne la loro idoneità tecnica, l'Appaltatore dovrà produrre, a suo onere, una relazione tecnica conforme alla UNI EN 13242 corredata da prove di laboratorio nella quale venga documentato il rispetto dei requisiti di questo articolo di Capitolato.

Per quanto riguarda gli aggregati – da impiegare nelle miscele previste in progetto – derivanti da attività di recupero attivate internamente al cantiere, l'Appaltatore dovrà produrre a suo onere idonea documentazione che ne attesti la conformità ambientale e l'idoneità tecnica ai sensi di quanto previsto in questo articolo di Capitolato (in conformità alla UNI EN 13242 e corredata da prove di laboratorio).

Per quanto concerne alla produzione della miscela, in caso di impianto interno, l'Appaltatore (o comunque il diretto produttore della miscela) dovrà provvedere a redigere una relazione inerente alla produzione giornaliera nella quale riporterà i dati relativi agli impasti prodotti indicando quanto previsto per il rapporto di carico indicato al § 29.3.2. La Direzione Lavori potrà richiedere l'elaborazione di tale relazione con una frequenza diversa in funzione della quantità di miscela prodotta.

A suo onere, l'Appaltatore ha la facoltà fornire la certificazione volontaria della miscela prodotta ai sensi della UNI EN 14227-1.

30.3.2 Materiali ammessi nel confezionamento della miscela

A meno di specifiche indicazioni previste in progetto esecutivo, le miscele per fondazione in misto cementato dovranno essere confezionate utilizzando materiali di primo impiego oppure una

combinazione di questi con materiali recuperati, riciclati e sottoprodotti (RRS), rispettando i requisiti e le modalità di impiego previste in questo articolo di Capitolato.

30.3.2.1 Materiali RRS ammessi

I materiali di tipo RRS ammessi nella produzione delle miscele per strato di fondazione in misto cementato sono gli aggregati riciclati derivanti da attività di costruzione e demolizione (C&D), il conglomerato bituminoso di recupero (o fresato) e le scorie nere da acciaieria a forno elettrico (di seguito indicate come scorie da acciaieria).

Secondo quanto riportato nell'art.183 del D.lgs.152/2006, gli aggregati derivanti dalle attività di costruzione e demolizione vengono classificati, a valle della cessazione della qualifica di rifiuto ai sensi dell'art. 184-ter e del DM 127/2024, come aggregati riciclati. Stessa definizione viene adottata in via tecnica dalla UNI EN 13242. Come già previsto nel DM 127/2024 (secondo cui viene determinata la cessazione della qualifica di rifiuto), l'idoneità tecnica dovrà essere determinata secondo i requisiti della UNI 11531-2 Prospetti 8 e 9 per strato di fondazione legata con legante idraulico.

Per quanto riguarda il *conglomerato bituminoso di recupero*, la cessazione della qualifica di rifiuto - con obiettivo di successivo reimpiego in strati di fondazione stabilizzati con legante idraulico - può avvenire sia attraverso l'applicazione del DM 69/2018 che del DM 127/2024. In entrambi i casi, a valle dell'avvenuta cessazione della qualifica di rifiuto, l'aggregato derivante viene classificato come riciclato (tale definizione viene mantenuta anche in via tecnica dalla UNI 13242). Qualora la cessazione della qualifica di rifiuto dovesse avvenire ai sensi del DM 69/2018 il reimpiego del CB di recupero dovrà comunque avvenire in conformità tecnica con i requisiti della UNI 11531-2 Prospetti 8 e 9 per strato di fondazione legata con legante idraulico. Le prove di caratterizzazione condotte sull'aggregato grosso e fine del conglomerato bituminoso di recupero dovranno essere effettuate sulla miscela inalterata, ossia senza effettuare alcuna estrazione di bitume (sulla "curva nera"). Si precisa che, quando viene sottoposto alle prove di qualifica previste all'interno di tale norma, l'aggregato derivante dal riciclo di conglomerati bituminoso non deve essere riscaldato oltre 50 °C. Ciò comporta un prolungamento dei tempi di essicazione previsti dalle norme per il raggiungimento della massa costante.

A valle della comprovata idoneità al recupero ambientale, il conglomerato bituminoso reimpiegato negli strati di fondazione in misto cementato potrà provenire sia da viabilità autostradali che da altre viabilità senza distinzioni di strato di provenienza. Le modalità di gestione dei cumuli di conglomerato bituminoso vengono indicate al § 31.4.1.2 del presente Capitolato.

Tutte le operazioni/lavorazioni, gli atti amministrativi, le autorizzazioni necessarie per la cessazione di stato di rifiuto e successivo riutilizzo, dell'aggregato derivante da operazioni di costruzione e demolizione e del conglomerato bituminoso di recupero sono ad onere esclusivo dell'Appaltatore.

Previo utilizzo, sia il CB di recupero che l'aggregato da C&D dovranno essere soggette a operazioni meccaniche di frantumazione, granulazione e vagliatura. In entrambi i casi, è ammesso l'impiego di materiale interamente passante al setaccio 31,5 mm (U 31,5).

Le scorie da acciaieria sono classificabili sia come sottoprodotto (artt. 183 e 184-bis del D.lgs. 152/2006) che come materiale recuperato (art. 184-ter del D.lgs. 52/2006). Esse sono identificabili come aggregato artificiale ai sensi della UNI EN 13242 rispetto alla quale devono essere certificate. Il loro impiego è ammesso unicamente a valle di comprovata idoneità ambientale. Per tali scorie è ammesso unicamente l'impiego di materiale di classe granulometrica con dimensione (d/D) avente d maggiore o uguale a 4 mm.

I prospetti 6 e 7 della UNI 11531-2 vengono presi come riferimento per la conformità tecnica degli aggregati di origine naturale e artificiale da impiegare nello strato di fondazione legata con legante idraulico.

L'Appaltatore, a suo onere, avrà la facoltà di proporre alla Direzione Lavori l'utilizzo di ulteriori tipologie di materiale di tipo RRS di comprovata idoneità ambientale e tecnica secondo i requisiti riportati in questo articolo di Capitolato. L'idoneità tecnica dovrà essere comprovata da un campo prova eseguito a onere e spese dell'Appaltatore.

La Direzione Lavori a suo insindacabile giudizio potrà approvare o meno l'utilizzo del materiale.

30.3.2.2 Quantitativi di materiali ammessi

Stabiliti i materiali ammessi, la tabella successiva riporta i quantitativi minimi e massimi consentiti per ciascun materiale RRS all'interno della miscela per fondazione.

Miscela	Materiale ammesso	Quantitativo ammesso [% in peso]
Fondazione in misto cementato	Aggregato naturale di primo impiego	0-100%
	Aggregato riciclato da C&D	0-100%
	CB di recupero	0-30%
	Scorie da acciaieria	0-40%

L'Appaltatore ha la possibilità di combinare una o più tipologie di materiali previsti nella tabella sopra nel rispetto delle percentuali ivi indicate, di quanto eventualmente previsto in progetto e nel rispetto degli altri requisiti di questo articolo di Capitolato. Il quantitativo complessivo di CB di recupero non potrà in alcun caso superare il 30% in peso della miscela.

L'Appaltatore avrà la facoltà di proporre alla Direzione Lavori - senza richiedere alcun onere aggiuntivo - una o più tipologie di miscela, comunque conformi a questo articolo di Capitolato, con materiali differenti da quelli previsti sopra. La proposta alternativa non potrà prevedere quantitativi di conglomerato bituminoso di recupero superiori a quelli previsti in questo articolo di CSA. Formulando tale proposta, l'Appaltatore dovrà dimostrare il raggiungimento dei requisiti previsti in questo Capitolato tramite un campo prova eseguito a suo onere e spese.

La Direzione Lavori, a suo insindacabile giudizio e sentito eventualmente anche il parere del progettista potrà accettare o meno la proposta presentata.

30.3.2.3 Controlli di accettazione materiali

L'Appaltatore dovrà sottoporre alla Direzione Lavori l'intera documentazione attestante le caratteristiche del materiale che intende utilizzare almeno 15 giorni prima dell'avvio dei lavori.
Durante i lavori, dovranno essere emessi nuovi certificati di prequalifica dei materiali costituenti la miscela e della miscela stessa ad ogni cambio di lotto di approvvigionamento o comunque secondo le frequenze riportate in tabella al § 30.3.6. Viene lasciata la facoltà alla Direzione Lavori di richiedere la modifica delle frequenze di campionamento e dei limiti di utilizzo oltre i quali ripetere la prequalifica dei materiali.

Qualora la Direzione Lavori accerti la non corrispondenza anche di una singola caratteristica richiesta, la DL stessa potrà non consentire l'impiego del materiale setto o potrà richiedere la predisposizione di correttivi, a cura e onere dell'Appaltatore, tali da rendere il materiale idoneo all'utilizzo.

30.3.3 Prequalifica e studio preliminare della miscela

Una volta stabiliti i materiali ammessi all'impiego, la miscela dovrà essere confezionata in impianti fissi o mobili in grado di poter raggiungere i requsiti costitutivi, granulometrici, volumetrici e meccanici previsti in questo articolo di Capitolato.

30.3.3.1 Curva granulometrica

L'assortimento granulometrico del materiale - determinato in volume ai sensi della norma UNI EN 933-1 – dovrà essere compreso nel seguente fuso e dovrà presentare andamento continuo e uniforme in maniera concorde con quello delle curve che delimitano il fuso.

Setacci [mm]	Passante in volume [%]
40	100
31,5	85-100
20	65-85
16	58-77
10	44-60
6.3	35-50
4	26-40
2	18-30
0,5	8-20
0,25	6-15
0,063	3-10

In caso di utilizzo di conglomerato bituminoso di recupero, poiché il bitume presente nell'aggregato RA è parte solida integrante dei granuli, si deve fare riferimento alla distribuzione granulometrica dell'aggregato RA ante estrazione ("curva nera").

30.3.3.2 Cemento

Si raccomanda l'uso di cementi a presa lenta e classe di resistenza 32,5N. Solo in condizioni di bassa temperatura o in presenza di giustificati vincoli temporali e operativi, può essere impiegato cemento della classe 32,5R o 42,5N pur nel rispetto dei requisiti prestazionali.
Laddove siano rispettati tutti i requisiti prestazionali del presente articolo di capitolato, può essere utilizzato un legante idraulico per strade della classe E4 o superiore con marcatura CE conforme alla UNI EN 13282-1 con sistema di attestazione di conformità 2+.
A titolo indicativo la percentuale di cemento deve essere compresa tra il 2,5% e il 4% sul peso degli inerti asciutti e deve essere determinato mediante uno studio di formulazione, effettuato in laboratorio, ai sensi della norma B.U. C.N.R. n. 29. Per applicazioni in cui vi sia l'esigenza di utilizzare miscele altamente performanti, il dosaggio di cemento può essere incrementato oltre il 4%, ma in tal caso, in sede di progetto, di costruzione e di utilizzo si deve tener conto che l'elevata rigidezza possa

portare a fenomeni di prematura rottura fragile, senza dimenticare le potenziali conseguenze su presa e maturazione dello strato.

30.3.3.3 Acqua

Per la produzione delle miscele dovranno essere impiegate i seguenti tipi di acqua conformi alla Norma UNI EN 1008.

Quando si combinano più tipi di acqua, i requisiti si applicano all'acqua combinata. Non sono ammesse acque marine o salmastre né acque nere.

La quantità di acqua nella miscela deve essere quella corrispondente all'umidità ottima di costipamento con una variazione compresa entro ± 2% del peso della miscela per consentire il raggiungimento delle resistenze appresso indicate.

Il contenuto d'acqua è da determinarsi mediante prova Proctor modificata tenendo conto di quanto necessario per fornire un intervallo lavorabile di umidità compatibile con il costipamento e le prestaizoni meccaniche desiderate per la miscela. Nelle usuali condizioni climatiche applicative, le miscele legate devono presentare un tempo di lavorabilità non inferiore a 8 ore.

30.3.3.4 Additivi

La miscela può essere integrata mediante additivi quali, a titolo indicativo ma non esaustivo, ritardanti, attivatori, miglioranti di presa e indurimento ecc.., necessari per ottenere tempi di lavorabilità compatibili con le esigenze della posa in opera delle miscele e con le condizioni metereologiche. Gli additivi devono essere marcati CE conformemente alla UNI EN 934-2 con sistema di attestazione della conformità di tipo 2+.

Il loro tipo e dosaggio dovrà essere definito in fase di qualifica anche tenendo conto della stagione d'impiego, la quantità totale dovrà rispettare le indicazioni riportate nella documentazione tecnica del fornitore e non deve eccedere il dosaggio massimo raccomandato.

Gli additivi dovranno essere aggiunti alla miscela con modalità idonea ad assicurare la sua uniforme distribuzione durante il periodo di miscelazione.

In generale, a parità di caratteristiche tecniche, si dovrà preferire prodotti più sostenibili dal punto di vista ambientale.

30.3.3.5 Criteri di accettazione della miscela

I requisiti di accettazione della miscela vengono riportati nel prospetto che segue.

Caratteristica	Norma di prova	Requisito
Compattezza miscela alla massa volumica secca massima (Prova Proctor modificata)	UNI EN 14227-1	≥80%
Categoria dell'Indice di Portanza Immediata (IPI)	UNI EN 13286-47	IP_{I40}
Resistenza a compressione a 7 giorni (MPa)(*)	UNI EN 13286-41	3,0 – 5,0
Resistenza a trazione indiretta a 7 giorni (MPa)(*)	UNI EN 13286-42	≥ 0,30
Resistenza a trazione indiretta dopo 4 giorni di imbibizione, rispetto al valore iniziale (%)	UNI EN 13286-42	≥ 80
Categoria per etichettatura (**)	UNI EN 14227-1 e 5 punto 7.3	Min T0
(*) Qualora i valori a 7 giorni non siano rispettati, dovrà essere ripetuta una verifica a 28 giorni assumendo limiti di accettazione incrementati del 25%; (**) Nel rispetto dei valori minimi del grafico della norma: Rt = 0,1 MPa e E = 1.000 MPa		

In caso di applicazioni per le quali siano richiesti, ad esempio in progetto, livelli prestazionali dello strato superiori, in fase di progetto della miscela è possibile mettere a punto miscele con

caratteristiche meccaniche superiori incrementando la resistenza a compressione a 7 giorni fino a 7,5 MPa e contestualmente controllando gli impatti sulle modalità e i tempi di presa, indurimento e maturazione.

Le caratteristiche prestazionali dello strato vengono espresse in funzione del modulo di deformazione misurato con piastra statica di diametro pari a 30 cm (Md) ai sensi del B.U. CNR 1496/92. uiscono il dato prestazionale.

Indipendentemente dallo spessore finito dello strato, il valore del modulo di deformazione Md al 1º ciclo di carico e nell'intervallo compreso tra 0,15 e 0,25 MPa, rilevato in un tempo compreso fra 3 e 12 h dalla compattazione, non deve mai essere inferiore a 150 MPa.

La Committente potrà altresì misurare il valore del modulo di elasticità E, dopo 60 giorni dalla stesa a mezzo di prove di deflessione dinamica con apparecchiatura ad alto rendimento Falling Weight Deflectometer (FWD),nelle modalità indicate al § 30.9, che dovrà risultare ≥ 3.000 MPa, mentre dopo un periodo di tempo variabile tra il 90° e il 200° giorno dalla data di apertura al traffico detto modulo di elasticità E dovrà essere compreso tra 4.000 e 12.000 MPa, salvo eventuale diversa prestazione prescritta nei documenti progettuali.

30.3.4 Controlli di accettazione della miscela

L'Appaltatore dovrà sottoporre all'accettazione della Direzione Lavori, almeno 15 giorni prima dell'inizio delle attività, una relazione contenente tutte le informazioni atte a dimostrare il rispetto dei requisiti di accettazione dei singolo materiali e della miscela. Nello specifico è richiesto che tale relazione contenga:

- Descrizione del sistema di controllo di produzione della in impianto
- La marcatura CE e DoP dei materiali costituenti la miscela
- La documentazione e i risultati di laboratorio che attestano il recupero ambientale dei materiali di origine riciclata
- Quantitativo e tipologia di materia RRS presente nella miscela
- Determinazione della distribuzione granulometrica degli aggregati (UNI EN 933-1)
- Contenuto di cemento di progetto
- Compattezza della miscela alla massima massa volumica a secco Proctor modificata e determinazione della umidità ottimale per la costipazione (Appendice A della UNI EN 14227-1)
- Indice di portanza immediata (IPI), determinata in conformità alla UNI EN 13286-47 utilizzando il costipamento Proctor modificato
- Resistenza a compressione a 7 giorni (UNI EN 13286-41)
- Resistenza a trazione indiretta a 7 giorni (UNI EN 13286-42)
- Resistenza a trazione indiretta dopo 4 giorni di imbibizione rispetto al valore iniziale (UNI EN 13286-42)
- Categoria per etichettatura (UNI EN 14227-1 e 5 punto 7.3)
- Determinazione del periodo di lavorabilità delle miscele (UNI EN 13286-45) alla temperatura massima a cui l'Appaltatore prevede di stendere e compattare (non superiore a 35°);
- Verifica della compatibilità del tempo intercorrente tra la fine della miscelazione in impianto, trasporto al cantiere e completamento delle lavorazioni di stesa e compattazione della miscela in conformità con il periodo di lavorabilità della stessa
- L'indicazione del tipo di mezzi utilizzati per la stesa e la compattazione della miscela

Le caratteristiche di accettazione della miscela di cui sopra sono da aggiornare ogni qualvolta cambino le fonti di approvigionamento dei materiali e gli impianti di produzione. Le prove sperimentali

devono essere eseguite presso Laboratori Ufficiali o Autorizzati,e non deve precedere di oltre tre mesi la data di utilizzo del materiale. A tale studio l'Appaltatore è tenuto ad attenersi durante la realizzazione della stesa.
I requisiti d'accettazione saranno inoltre accertati con controlli della Direzione Lavori sia in cava o impianto, sia in corso d'opera prelevando il materiale in sito già miscelato, prima e dopo avere effettuato il costipamento.
La mancata presentazione della documentazione preliminare comporta la non autorizzazione all'inizio della esecuzione dei lavori, né saranno accettate eventuali lavorazioni svolte prima dell'approvazione delle documentazione di qualifica.

30.3.5 Modalità esecutive

30.3.5.1 Formazione e confezione delle miscele

Le miscele saranno confezionate in impianti fissi automatizzati, di idonee caratteristiche, mantenuti sempre perfettamente funzionanti in ogni loro parte e dotati di produzione dotati di un sistema di controllo di produzione.

Gli impianti devono comunque garantire uniformità di produzione ed essere in grado di realizzare miscele del tutto rispondenti a quelle di Progetto. Detti impianti devono essere autorizzati rispetto alla legislazione vigente nel caso di trattamenti che utilizzano rifiuti per la produzione di aggregati artificiali e/o riciclati.

30.3.5.2 Posa in opera

Ogni consegna di materiale in cantiere deve essere accompagnata dai documenti di trasporto (DDT) indicanti la composizione del mix che devono essere trasmessi settimanalmente alla Direzione Lavori.
La miscela sarà stesa sul piano finito dello strato precedente dopo che sia stata accettata dalla Direzione Lavori la rispondenza di quest'ultimo ai requisiti di quota, sagoma e compattezza prescritti. Preventivamente alla stesa, deve essere appurato che il piano di posa sia sufficientemente umido. In caso contrario si prevede una bagnatura, evitando erosioni, dilavamenti e ristagni di acqua e fango.
La miscela va stesa per singoli strati, di spessore finito non inferiore a 15 cm fino a un massimo di 30 cm. Per spessori fino a 20 cm la stesa è effettuata con vibro-finitrice. Per spessori superiori, può essere utilizzata la livellatrice munita di palpatori o altri dispositivi che consentono il rispetto dei requisiti profilometrici e di sagoma previsti in progetto. L'utilizzo della livellatrice deve essere indicato in fase di qualifica unitamente a tutte le informazioni tecniche necessarie a dimostrazione dell'idoneità all'uso della macchina ed approvato dal Direttore dei Lavori.

Non sono ammesse spessori complessivi dello strato superiori a 30 cm.

Le operazioni di compattazione dello strato devono riprodurre le caratteristicne fisico-meccaniche della miscela, come individuate nello studio preliminare. Le operazioni di addensamento dello strato devono essere realizzate in ordine con le seguenti attrezzature:

- Rullo a due ruote vibranti da 100 kN per ruota o rullo con una sola ruota vibrante di peso non inferiore a 180 kN.
- Rullo gommato con pressione di gonfiaggio superiore a 5 atm e carico di almeno 180 kN.

Potranno essere impiegati in alternativa rulli misti, vibranti-gommati comunque tutti approvati dalla Direzione Lavori, delle stesse caratteristiche sopra riportate.

La posa in opera del materiale richiede una corretta gestione dell'umidità della miscela (al fine del soddisfacimento del requisito di umudità minimo), miscelazione, costipamento e stagionatura. Essa deve avvenire a temperatura ambiente non inferiore a 5°C e in assenza di pioggia continua o venute d'acqua che possano saturare di umidità il materiale.

Sono altresì da evitare temperature elevate specialmente se associate a vento, per la possibilità che l'acqua superficiale possa evaporare o disperdersi. Per le stese con temperature superiori a 25°C ma comunque sempre inferiori a 35°C, è necessario proteggere da evaporazione la miscela durante il trasporto dall'impianto di confezione al luogo di impiego (ad esempio con teloni); deve essere inoltre necessario provvedere ad un'abbondante bagnatura del piano di posa del misto cementato.

Strati eventualmente compromessi dalle condizioni meteorologiche o da altre cause dovranno essere rimossi e sostituiti a totale cura e spese dell'Appaltatore.
Il tempo intercorrente tra la stesa di due strisce affiancate o sovrapposte non dovrà superare di norma le due ore per garantire la continuità della struttura. Particolari accorgimenti dovranno adottarsi nella formazione dei giunti longitudinali che andranno protetti con fogli di polietilene o materiale similare.
Il giunto di ripresa sarà ottenuto terminando la stesa dello strato a ridosso di una tavola e togliendo la tavola al momento della ripresa della stesa; se non si fa uso della tavola deve essere necessario, prima della ripresa della stesa, provvedere a tagliare l'ultima parte dello strato precedente, in modo che si ottenga una parete perfettamente verticale. Non devono essere eseguiti altri giunti all'infuori di quelli di ripresa.
Subito dopo il completamento delle opere di costipamento e di rifinitura dello strato, dovrà essere eseguita la spruzzatura di un velo protettivo di emulsione bituminosa cationica non modificata (§31.4.2.4, legante "C1") in ragione di 1,0 kg/m², in relazione al tempo ed alla intensità del traffico di cantiere cui potrà venire sottoposta la fondazione e successivo spargimento di sabbia.

Il transito di cantiere potrà essere ammesso sullo strato a partire dal terzo giorno dopo quello in cui è stata effettuata la stesa e limitatamente ai mezzi gommati. Aperture anticipate vanno correlate alle resistenze raggiunte dal misto e previa verifica che il transito non danneggi lo strato. Comunque il tempo di maturazione non potrà essere mai inferiore a 48 h.

In tutte le fasi esecutive, comprese le fasi di preparazione e di sistemazione finale delle aree, per gli aspetti e le problematiche relative a temi ambientali, quali impatti acustici e vibrazionali, emissioni in atmosfera, impatto sulle acque superficiali, sotterranee e sul suolo, impatti sulla componente fauna e vegetazione, si rimanda integralmente a quanto prescritto dalla Normativa Nazionale e Regionale vigente, alle prescrizioni degli Enti preposti alla tutela ambientale, nonché alle condizioni ambientali contenute nelle autorizzazioni ed alle disposizioni del Capitolato Ambientale allegato al progetto esecutivo.

30.3.6 Controlli in corso d'opera

Al fine di garantire il raggiungimento ed il mantenimento durante la produzione sia dei requisiti previsti in questo articolo di capitolato che delle prestazioni dello strato assunte in progettazione, sono previsti i seguenti controlli in corso d'opera.

6. Esecuzione delle prove di carico con piastra per verificare i requisiti di portanza definiti al paragrafo 30.3.3.5.
7. Misura della densità apparente a secco in sito per valutare il grado di addensamento (UNI EN 11272) (da eseguire sulla singola stesa). Il 95% dei valori di apparente a secco in sito dovranno corrispondere almeno al 98% della massa volumica massima asciutta (prova Proctor standard) della miscela prequalificata più di recente.
8. Misura della resistenza a compressione a 7 giorni secondo la UNI EN 13286-41.

9. Misura della resistenza a trazione indiretta a 7 giorni secondo al UNI EN 13286-42.
10. Determinazione della curva granulometrica ai sensi della UNI EN 933-1.

La frequenza di prova e i criteri di verifica per i singoli controlli sono riportati nella seguente tabella.

Tabella: Controlli in corso d'opera lo strato di fondazione in misto cementato prodotto in impianto

Prova	Riferimento	Posizione	Frequenza	Criterio di verifica
Prove di carico con piastra	CNR BU 146/92	Sullo strato finito	Ogni giornata di produzione, almeno ogni 500 mc di miscela prodotta	§ 30.3.3.5
Densità apparente a secco	UNI EN 11272	Sullo strato finito		≥98% $\gamma_{rd,max}$
Resistenza a compressione a 7 gg	UNI EN 13286-41	Prelievo in impianto all'uscita del mescolatore		§ 30.3.3.5
Resistenza a trazione indiretta a 7 gg	UNI EN 13286-42	Prelievo in impianto all'uscita del mescolatore		§ 30.3.3.5
Curva granulometrica	UNI EN 933-1	Prelievo in impianto		§ 30.3.3.1
Requisiti aggregato naturale o artificiale	UNI EN 11531-2 UNI EN 13242	Prelievo in impianto	Ogni 10.000 mc oppure ad ogni cambio di fornitura	UNI EN 11531-2 (Prospetto 6 e 7)
Requisiti aggregato riciclato	UNI EN 11531-2 UNI EN 13242	Prelievo in impianto	Ogni 3.000 mc max (oppure ad ogni cambio di fornitura se Quantità<3000 mc)	UNI EN 11531-2 (Prospetto 6 e 7)

I prelivi e le prove dovranno essere condotte in contraddittorio tra l'Appaltatore e la Direzione Lavori.

L'Appaltatore dovrà provvedere alla verifica topografica della sagoma e dello spessore di progetto della fondazione finita rispetto alle previsioni progettuali prima di procedere con la posa degli strati successivi. Il rilievo deve misurare una griglia di punti di misura aventi, in direzione longitudinale, un distanziamento massimo di 20 m. La griglia deve, inoltre, permettere la verifica delle pendenze di progetto. Eventuali carenze di quota localizzate, fino a 10 mm, possono essere compensate dallo spessore dello strato superiore senza oneri ulteriori, nel caso di quote superiori a quelle di progetto lo strato, ad insindacabile giudizio della DL, può essere rimosso e risagomato a cura e spese dell'Appaltatore. Il rilevo, ed ogni suo successivo aggiornamento, deve essere trasmesso al Direttore dei Lavori in formato dwg. La Direzione Lavori, in caso di dubbi sulla regolarità superficiale dello strato, può eseguire, ove ritiene opportuno, la verifica della regolarità a mezzo di un regolo di 4 m di lunghezza, disposto secondo due direzioni ortogonali o mediante altra metodologia approvata dalla DL. Sono ammessi scostamenti rispetto ai piani di progetto non superiori a 10 mm.

In aggiunta alle prove di cui sopra, al completamento della posa di tutti gli strati di pavimentazione, potranno essere effettuate, a cura della Committente, dei controlli con apparecchiature ad alto rendimento per la misura del Modulo Elastico dello o degli strati di supporto sopra descritti, con le modalità indicate al § 30.9.

30.3.7 Tolleranze di esecuzione e penali

È ammessa una tolleranza con penale per fusi della miscela di ± 5% fino al passante al setaccio UNI con apertura 4 mm e di ± 2% per il passante al setaccio UNI 2 mm ed inferiori, purché non siano superati i limiti del fuso. Questa tolleranza è accettata solo se contenuta nel 10% del totale delle prove eseguite al termine dei lavori sulla singola WBS. La penale per il superamento dei fusi nei limiti indicati è pari al 10% dell'intera lavorazione da applicare alla superficie interessata dalla non conformità.
La quota della superficie finita della sagoma della fondazione non deve scostarsi dalla sagoma di Progetto di oltre ± 10 mm. Lo spessore deve essere quello prescritto, con una tolleranza del ± 5% purché questa differenza si presenti solo saltuariamente. In caso contrario l'Appaltatore, a sua cura e spese, dovrà provvedere al raggiungimento dello spessore prescritto.
Per valori medi di portanza, densità, resistenza a compressione e trazione e contenuto di cemento inferiori al 10% rispetto ai valori di Progetto viene applicata una detrazione del 10% del prezzo. Per carenze comprese tra il 10 ed il 20% viene applicata una detrazione del 20% del prezzo, mentre per carenze superiori al 20%, il tratto considerato deve essere demolito e ricostruito.

30.4 Fondazione in misto cementato riciclata in sito

Lo strato di fondazione o sottobase in misto cementato viene essere prodotto in sito mediante un treno di riciclaggio. Questo tipo di lavorazione viene effettuata quando l'intervento prevede la demolizione completa del pacchetto degli strati in conglomerato bituminoso e almeno dello strato di fondazione che si trova sotto l'ultimo degli strati in CB. Il riciclaggio in sito della pavimentazione demolita può potenzialmente determinare una modifica della stratigrafia della sovrastruttura e può essere realizzato nei casi in cui si renda necessario aumentarne le caratteristiche di portanza.

Gli aggregati provenienti dagli strati di pavimentazione preesistenti (misto granulare non legato, misto cementato, conglomerato bituminoso) sono fresati e stabilizzati mediante l'apporto di legante cementizio, costipati con rulli, in conformità con le presenti specifiche, con lo spessore e la sagoma indicate nel progetto.

30.4.1 Criteri di accettazione dei materiali costituenti la miscela

30.4.1.1 Aggregati

Per la produzione del misto cementato riciclato in sito per strati di fondazione o sottobase, sono generalmente utilizzati gli aggregati ottenuti dalla fresatura (disgregazione) sul posto degli strati di pavimentazione preesistenti (misto granulare non legato, misto cementato, conglomerato bituminoso) mediante una macchina riciclatrice.

Ogni fornitura di aggregati con provenienza esterna rispetto al cantiere, dovrà essere accompagnata dalla marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA della norma europea armonizzata UNI EN 13242 con sistema di attestazione di conformità 2+.

Per quanto riguarda le prescrizioni degli aggregati di integrazione di tipo naturale, artificiale e riciclato, vale quanto previsto per il confezionamento della fondazione in misto cementato prodotta in impianto (§30.3). In aggiunta, gli aggregati di provenienza esterna dovranno presentare un indice di portanza CBR ≥ 50 (UNI EN13286-47) dopo maturazione in acqua per 96 ore. Il valore di rigonfiamento deve essere nullo.

30.4.1.2 Legante idraulico (cemento)

Per la qualifica e le proprietà del legante cementizio si rimanda ai contenuti del § **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**

30.4.1.3 Acqua

Per la qualifica e le proprietà dell'Acqua si rimanda ai contenuti del § 30.3.3.3

30.4.1.4 Calce

La calce aerea idrata o viva deve essere qualificata in conformità al Regolamento UE 305/2011 sui prodotti da costruzione. Ogni fornitura deve essere accompagnata dalla dichiarazione di prestazione attestante la conformità all'allegato ZA della norma europea armonizzata UNI EN 459-1. Le calci devono essere del tipo CL 90-S o CL 90-Q.

30.4.2 Criteri di accettazione della miscela

30.4.2.1 Generalità e operazioni preliminari

In caso di interventi di limitata estensione, lo studio del misto cementato in sito a carico dell'Appaltatore, deve essere svolto con il supporto di una serie di indagini (saggi) con prelievo di adeguato quantitativo di materiale componente la esistente fondazione che permetta di definirne la composizione e le prestazioni.
In caso di interventi di particolare rilevanza per estensione e tipologia di cantierizzazione è raccomandato prevedere l'allestimento di un campo prova, che permetta di definirne la composizione e le prestazioni, nonché le procedure costruttive di dettaglio.
Il campo prova deve essere pianificato dalla DL e inserito in un tratto all'interno del cantiere ritenuto rappresentativo per la lavorazione da svolgere. Per scegliere la posizione del campo prova devono essere preliminarmente eseguiti, almeno ogni 500 m, dei prelievi del materiale coinvolto nel processo di riciclo per identificare eventuali disomogeneità in termini di stratigrafia e caratteristiche fisiche (dimensione massima degli aggregati e plasticità). Nel caso in cui la DL riscontri sostanziali disomogeneità deve essere pianificato un campo prova per ogni caso caratterizzante. Il campo prova deve avere larghezza e profondità conformi alle indicazioni progettuali o del Direttore progettuali. Durante i lavori, se richiesto dalla DL, deve essere presente un laboratorio mobile in grado di effettuare sul posto tutte le prove di laboratorio e in sito indicate di seguito. Tale laboratorio deve essere gestito da un laboratorio ufficiale o autorizzato ai sensi dell'art. 59 del DPR n. 380 o da un laboratorio accreditato ai sensi della norma UNI ISO 17025.

30.4.2.2 Curva granulometrica

Nel campo prova gli strati da riciclare devono essere fresati (disgregati) sul posto, tramite uno o più passaggi di macchina riciclatrice o fresa, così da sminuzzare il materiale e possibilmente renderne la granulometria "in volume" conforme al fuso riportato nella seguente tabella:

Setacci [mm]	Passante in volume [%]
40	100-100
31.5	85-100
25	75-100
20	65-94
10	44-78
4	26-61
2	18-50

0.5	8-30
0,25	6-22
0.063	3-11

Si precisa che la distribuzione granulometrica in volume può essere ottenuta da quella in peso, tenendo conto della massa volumica delle frazioni granulometriche impiegate. Inoltre, poiché il bitume eventualmente presente nell'aggregato riciclato RA è parte integrante dei granuli, si deve fare riferimento alla distribuzione granulometrica dell'aggregato RA ante estrazione ("curva nera"). Per consentire il controllo in fase di esecuzione del rispetto dei passanti in volume, lo studio di formulazione dovrà evidenziare, per ogni setaccio, sia la percentuale in volume che quella in peso. Se il materiale granulare presenta più del 15% di passante al setaccio 0,5 mm e un indice di plasticità superiore a 10, deve essere sottoposto a pretrattamento con calce fino a rendere nullo l'indice di plasticità. In questo caso, la miscela granulare di riferimento deve includere il dosaggio identificato di calce.
Nel caso in cui l'operazione di fresatura dello strato, anche con passate multiple, non permetta la produzione di una granulometria conforme al fuso riportato nella precedente tabella, è necessario prevedere un'integrazione con aggregati naturali, riciclati o aggregato RA.
Più in generale, l'integrazione con aggregati naturali o con conglomerato bituminoso di recupero è consentita quando permette di migliorare le caratteristiche fisico-meccaniche della miscela. Gli aggregati per la correzione granulometrica devono essere stesi con il giusto proporzionamento sullo strato reso granulare e pronto da riciclare. La verifica della correzione granulometrica deve essere eseguita su un prelievo effettuato dopo il passaggio della macchina riciclatrice o fresatrice senza l'aggiunta del legante cementizio.

30.4.2.3 Determinazione del contenuto di acqua

La miscela granulare resa conforme al fuso granulometrico deve essere prelevata e integrata in laboratorio con il dosaggio atteso di legante cementizio (per esempio 4% sul peso degli aggregati), per poi procedere alla determinazione della curva di costipamento con energia Proctor Modificata (UNI EN 13286-2) al fine di individuare il valore dell'umidità ottimale di costipamento e il corrispondente valore della massima densità del secco. Sul campione prelevato deve essere determinato anche il contenuto di acqua naturale. Prima delle operazioni di riciclaggio, la miscela granulare presente in sito nel campo prova deve avere un contenuto di acqua prossimo (±2%) al valore ottimo definito dallo studio di laboratorio almeno 12 ore prima dell'aggiunta dei leganti.

30.4.2.4 Determinazione del dosaggio di legante cementizio

Il dosaggio di progetto di legante cementizio è definito come il dosaggio minimo tra quelli indagati che permetta di ottenere una miscela con prestazioni conformi ai requisiti specificati, sia nelle prove in laboratorio che in quelle in sito.
Nel campo prova devono essere preparate almeno tre aree da riciclare (nel seguito indicate come "strisciate") con lunghezza tale da consentire la stabilità di dosaggio del legante cementizio da parte della macchina spanditrice volumetrica (generalmente superiore a 20 m). La DL deve stabilire il miglior posizionamento delle strisciate affinché la spanditrice volumetrica possa distribuire con precisione e regolarità il dosaggio di legante cementizio desiderato. Sulle strisciate sono dosati diversi quantitativi di legante cementizio. Usualmente i dosaggi di legante cementizio da investigare sono pari a 3, 4 e 5% sul peso secco della miscela, calcolato utilizzando il valore della massima densità del secco definito al §30.4.2.3. Il peso del legante cementizio lasciato su un metro quadrato dalla spanditrice in movimento deve essere calibrato e verificato sul posto.

Dopo il passaggio della macchina riciclatrice su ciascuna strisciata deve essere effettuato un prelievo della miscela cementizia sciolta.
Per ogni miscela cementizia devono essere confezionati con metodo Proctor, energia Modificata (UNI EN 13286-2):

- 3 provini aventi altezza di 120 mm (compattati in 5 strati con 56 colpi per strato) da sottoporre a prova di resistenza a trazione indiretta Rt (UNI EN 13286-42) con gradiente di carico di 0,05 MPa/s;
- 3 provini aventi altezza di 180 mm (compattati in 5 strati con 85 colpi per strato) da sottoporre a prova di resistenza a compressione non confinata Rc (UNI EN 13286- 41) con gradiente di carico di 0,1 MPa/s.

Per tutti i provini deve essere, inoltre, determinata la massa volumica del secco (UNI EN 13286-2).
Dopo la compattazione, i provini devono essere conservati nelle fustelle sigillate (o in ambiente con umidità relativa non inferiore al 90%) per 1 giorno, poi estratti e stagionati in condizione sigillata (o in ambiente con umidità relativa non inferiore al 90%) per ulteriori 6 giorni a 20°C.
Ai fini della scelta del contenuto ottimo di legante cementizio, devono essere calcolati i valori medi delle grandezze misurate, che devono soddisfare i seguenti requisiti:

- Resistenza media a trazione Rt,media ³ 0,30 MPa;
- Resistenza media a compressione non confinata Rc,media compresa nell'intervallo 3,0 - 5,0 MPa.

Dopo la compattazione, su ogni strisciata, devono essere eseguite le seguenti prove in sito:

- 3 prove di massa volumica del secco in sito con volumometro a sabbia (CNR B.U. n. 22) in cui la misura del contenuto d'acqua del materiale è effettuata utilizzando sia il metodo tradizionale (UNI EN 1097-05) che il metodo con forno a microonde (ASTM D4643);
- 3 prove di carico su piastra di tipo statico a doppio ciclo (CNR B.U. n. 146) per la misura del modulo di deformazione al primo ciclo M_{d1} e al secondo ciclo M_{d2}, da eseguire sia entro due ore dalla compattazione che entro 24 ore;
- 18 prove di carico (6 in prossimità di ogni prova di modulo di deformazione) mediante piastra dinamica leggera (ASTM E2583) per la misura del modulo dinamico E_{LFWD}, da eseguire sia entro due ore dalla compattazione che entro 24 ore.

Ai fini della scelta del contenuto ottimo di legante cementizio, devono essere calcolati i valori medi delle grandezze misurate, che devono soddisfare i seguenti requisiti:

- massa volumica del secco in sito maggiore o uguale della massa volumica del secco dei provini compattati in laboratorio per le prove meccaniche;
- $M_{d1,medio} \geq 80$ MPa, rilevato entro 2 h dalla compattazione e 120 MPa entro 24 ore;
- $(M_{d2}/M_{d1})_{medio}$ £ 2,15 entro due ore dalla compattazione.

Al termine del campo prova, nel caso in cui una o più strisciate non verifichino i valori medi di $M_{d1,medio}$ e $(M_{d2}/M_{d1})_{medio}$ devono essere sottoposte ad ulteriore lavorazione fino al rispetto dei suddetti valori minimi.
La media e la deviazione standard dei valori E_{LFWD}, sulla strisciata costruita con il dosaggio di progetto del legante, possono essere utilizzate come riferimento per l'accettazione del lotto al termine della compattazione (§30.9).

La Committente potrà altresì misurare il valore del modulo di elasticità dopo 60 giorni dalla stesa a mezzo di prove di deflessione dinamica con apparecchiatura ad alto rendimento Falling Weight Deflectometer (FWD) nelle modalità indicate al § 30.9, che dovrà risultare ≥ 3.000 MPa, mentre dopo un periodo di tempo variabile tra il 90° e il 200° giorno dalla data di apertura al traffico detto modulo di elasticità E dovrà essere compreso tra 4.000 e 12.000 MPa, salvo eventuale diversa prestazione prescritta nei documenti progettuali.

Al termine del campo prova, l'Appaltatore deve predisporre una relazione che riporti:

- le caratteristiche degli aggregati importati in riferimento al § 30.4.1.1;
- la composizione e la granulometria della miscela granulare di qualifica in riferimento al paragrafo § **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** e alla tabella ivi presente;
- le caratteristiche del legante cementizio in riferimento al paragrafo § 30.4.1.2 e dell'eventuale calce in riferimento al paragrafo § 30.4.1.4;
- il contenuto di progetto della miscela di legante cementizio e di acqua della miscela di progetto in riferimento al paragrafo § 30.4.2.4 e al paragrafo § 30.4.2.3, rispettivamente;
- la massa volumica del secco in laboratorio, la resistenza a trazione indiretta, la resistenza a compressione della miscela di progetto in riferimento al presente paragrafo;
- la massa volumica del secco in sito, il modulo di deformazione, il modulo di rigidezza E_{LWD} e la deviazione standard dei valori E_{LWD} della miscela di progetto in riferimento al presente paragrafo;
- la descrizione delle procedure operative adottate in campo prova per la miscela di progetto (lavorazioni, tipo di mezzi, tempistiche, numero di passate ecc.) compresa la documentazione fotografica;
- la marcatura CE e le Dichiarazioni di Prestazione (DoP) dei materiali e tutti i certificati emessi da un laboratorio autorizzato attestanti le procedure seguite e i risultati di riciclaggio ottenuti.

30.4.3 Prequalifica e studio preliminare della miscela

L'Appaltatore dovrà sottoporre all'accettazione della Direzione Lavori, almeno 15 giorni prima dell'inizio delle attività, una relazione contenente tutte le informazioni atte a dimostrare il rispetto dei requisiti di accettazione dei singoli materiali, della miscela e del quantitativo di materia RRS previsto in progetto in applicazione del DM CAM. I contenuti della relazione dovranno essere elaborati in maniera conforme a quanto previsto al § 30.4.2.4.

La mancata presentazione della documentazione preliminare comporta la non autorizzazione all'inizio dell'esecuzione dei lavori, né saranno accettate eventuali lavorazioni svolte prima dell'approvazione delle modalità esecutive.

I requisiti d'accettazione potranno inoltre essere accertati con ulteriori prove a cura della Direzione Lavori sia in fase di prequalifica presso il fornitore (controllo non vincolante per l'autorizzazione), sia in corso d'opera, prelevando il materiale in sito o ancora presso il fornitore, prima e dopo avere effettuato le lavorazioni.

30.4.4 Modalità esecutive

La costruzione dello strato in misto cementato riciclato in sito deve essere realizzata per mezzo di un treno di riciclaggio composto da una spanditrice volumetrica per il legante cementizio, un'autobotte per l'acqua, una macchina riciclatrice, un rullo monocilindro vibrante, un rullo gommato e una livellatrice. Nel seguito sono indicate le procedure operative generali, che sono integrate dalle procedure operative di dettaglio definite nell'ambito del campo prova.
Lo strato esistente deve essere fresato (disgregato) sul posto con una o più passate di macchina riciclatrice o fresa fino alla profondità di progetto, come definito nel campo prova. Tale operazione deve avvenire con congruo anticipo rispetto alla stabilizzazione (aggiunta del legante e compattazione), ciò per permettere il prelievo della miscela granulare sul quale verificare il contenuto d'acqua naturale e la granulometria.

Qualora sia necessaria una correzione granulometrica, una integrazione della miscela granulare oppure non sia a disposizione sul posto il materiale per la realizzazione dello strato, potranno essere importati e miscelati in sito aggregati vergini, riciclati e conglomerato bituminoso di recupero.
I materiali di integrazione devono essere scaricati sul piano di posa e livellati alla quota opportuna (di strato non compattato). Occorre precisare che deve essere previsto il pretrattamento a calce nel caso in cui il materiale da riciclare contenga più del 15% di passante al setaccio 0,5 mm e un indice di plasticità superiore a 10.
Prima dell'aggiunta del legante, il contenuto di acqua naturale del materiale reso granulare deve essere prossimo (±2 %) al valore ottimo definito nel progetto della miscela. L'eventuale aggiunta di acqua è da effettuarsi in modo omogeneo mediante dispositivi spruzzatori. Nel caso di contenuto d'acqua troppo elevato è necessario lavorare ulteriormente il materiale granulare in modo da permetterne l'asciugatura per evaporazione. È inoltre consentito l'impego di quantità limitate di calce viva (< 2 %). In nessun caso è consentito aggiungere legante cementizio per compensare l'eccesso di umidità.
A seguito della verifica della rispondenza al progetto del contenuto di acqua, della composizione e della granulometria, il dosaggio ottimo di legante cementizio definito nello studio della miscela deve essere steso sullo strato reso granulare. Quindi la macchina riciclatrice opera fino alla profondità stabilita da progetto per miscelare omogeneamente il materiale granulare con il legante cementizio. La compattazione è immediatamente eseguita con un rullo monocilindro vibrante da almeno 140 kN e un rullo gommato da almeno 180 kN.
L'estradosso dello strato deve essere sagomato nel rispetto delle quote e delle pendenze di progetto tramite una livellatrice.
A termine della lavorazione è raccomandato inumidire in modo omogeneo mediante dispositivi spruzzatori.
Dopo la compattazione lo strato deve essere protetto con la spruzzatura di emulsione bituminosa cationica (§31.4.2.4, legante "C1") in ragione di 1 kg/m² di bitume residuo, successivamente saturata con lo spargimento di sabbia. A insindacabile giudizio della DL, la lavorazione può essere sospesa con temperatura dell'aria inferiore a 10 °C, superiore a 35 °C oppure in caso di pioggia. La macchina riciclatrice deve eseguire una fresatura sul posto dello strato sulla tratta in programma per permettere il campionamento della miscela granulare sul quale verificare la correttezza del contenuto d'acqua e della granulometria. Solo nell'area destinata al prelievo, per simulare la granulometria finale, va seguita un passaggio aggiuntivo di fresa. Nel caso in cui il contenuto d'acqua e la granulometria non risultino verificati, la DL deve richiedere le opportune correzioni alla miscela granulare. Deve essere garantito un tempo di maturazione protetta almeno pari a 48 ore. Il transito di cantiere può essere ammesso sullo strato a partire dal terzo giorno dopo quello in cui è stata effettuata la stesa e limitatamente ai mezzi gommati. Aperture anticipate sono consentite compatibilmente con il raggiungimento di adeguate resistenze meccaniche da parte del misto cementato. Strati eventualmente compromessi dalle condizioni meteorologiche, dalla circolazione dei mezzi di cantiere o da altre cause devono essere rimossi e ricostituiti a totale cura e spese dell'Appaltatore.

30.4.5 Controlli in corso d'opera

Al fine di garantire il raggiungimento ed il mantenimento durante la produzione sia dei requisiti previsti in questo articolo di capitolato che delle prestazioni dello strato assunte in progettazione, sono previsti i seguenti controlli in corso d'opera.

6. Esecuzione delle prove di carico con piastra per verificare i requisiti di portanza definiti al paragrafo 30.3.3.5.

7. Misura della densità apparente a secco in sito per valutare il grado di addensamento (UNI EN 11272) (da eseguire sulla singola stesa). Il 95% dei valori di apparente a secco in sito dovranno corrispondere almeno al 98% della massa volumica massima asciutta (prova Proctor standard) della miscela prequalificata più di recente.
8. Misura della resistenza a compressione a 7 giorni secondo la UNI EN 13286-41.
9. Misura della resistenza a trazione indiretta a 7 giorni secondo al UNI EN 13286-42.
10. Determinazione della curva granulometrica ai sensi della UNI EN 933-1.

La frequenza di prova e i criteri di verifica per i singoli controlli sono riportati nella seguente tabella.

Tabella: Controlli in corso d'opera lo strato di fondazione in misto cementato riciclato in sito

Prova	Riferimento	Posizione	Frequenza	Criterio di verifica
Prove di carico con piastra	CNR BU 146/92	Sullo strato finito	Ogni giornata di produzione, almeno ogni 500 mc di miscela prodotta	§ 30.4.2.4
Densità apparente a secco	UNI EN 11272	Sullo strato compattato		≥98% $\gamma_{rd,max}$
Resistenza a compressione a 7 gg	UNI EN 13286-41	Al treno di riciclaggio		§ 30.4.2.4
Resistenza a trazione indiretta a 7 gg	UNI EN 13286-42	Al treno di riciclaggio		§ 30.4.2.4
Curva granulometrica	UNI EN 933-1	**Al treno di riciclaggio** Prelievo di miscela di aggregati prima dell'aggiunta di legante cementizio e acqua. Solo nell'area destinata al prelievo, per simulare la granulometria finale, va seguita un passaggio aggiuntivo di fresa.		§ 30.4.2.2
Requisiti aggregato naturale o artificiale (per eventuale integrazione)	UNI EN 11531-2	Prelievo al cumulo	Ogni 10.000 mc oppure ad ogni cambio di fornitura	UNI EN 11531-2 (Prospetto 6 e 7)
Requisiti aggregato riciclato (per eventuale integrazione)	UNI EN 11531-2	Prelievo al cumulo	Ogni 3.000 mc max (oppure ad ogni cambio di fornitura se Quantità<3000 mc)	UNI EN 11531-2 (Prospetto 6 e 7)

I prelivi e le prove dovranno essere condotte in contraddittorio tra l'Appaltatore e la Direzione Lavori.

L'Appaltatore dovrà provvedere alla verifica topografica della sagoma e dello spessore di progetto della fondazione finita rispetto alle previsioni progettuali prima di procedere con la posa degli strati successivi. Il rilievo deve misurare una griglia di punti di misura aventi, in direzione longitudinale, un distanziamento massimo di 20 m. La griglia deve, inoltre, permettere la verifica delle pendenze di progetto. Eventuali carenze di quota localizzate, fino a 10 mm, possono essere compensate dallo spessore dello strato superiore senza oneri ulteriori, nel caso di quote superiori a quelle di progetto lo strato, ad insindacabile giudizio della DL, può essere rimosso e risagomato a cura e spese dell'Appaltatore. Il rilevo, ed ogni suo successivo aggiornamento, deve essere trasmesso al Direttore dei Lavori in formato dwg. La Direzione Lavori, in caso di dubbi sulla regolarità superficiale dello strato, può eseguire, ove ritiene opportuno, la verifica della regolarità a mezzo di un regolo di 4 m di lunghezza, disposto secondo due direzioni ortogonali o mediante altra metodologia approvata dalla DL. Sono ammessi scostamenti rispetto ai piani di progetto non superiori a 10 mm.

In aggiunta alle prove di cui sopra, al completamento della posa di tutti gli strati di pavimenazione, potranno essere effettuate, a cura della Committente, dei controlli con apparecchiature ad alto rendimento per la misura del Modulo Elastico dello o degli strati di supporto sopra descritti, con le modalità indicate al § 30.9.

30.4.6 Tolleranze di esecuzione e penali

Per la granulometria della miscela è ammessa una tolleranza con penale per fusi della miscela di ± 7% fino al passante al setaccio UNI con apertura 4 mm e di ± 5% per il passante al setaccio UNI 2 mm ed inferiori, purché non siano superati i limiti del fuso. Questa tolleranza è accettata solo se contenuta nel 10% del totale delle prove eseguite al termine dei lavori sulla singola WBS. La penale per il superamento dei fusi nei limiti indicati è pari al 10% dell'intera lavorazione da applicare alla superficie interessata dalla non conformità.
La quota della superficie finita della sagoma della fondazione non deve scostarsi dalla sagoma di Progetto di oltre ±10 mm. Lo spessore deve essere quello prescritto, con una tolleranza del ± 5% purché questa differenza si presenti solo saltuariamente. In caso contrario l'Appaltatore, a sua cura e spese, dovrà provvedere al raggiungimento dello spessore prescritto.
Per valori medi di portanza, densità, resistenza a compressione e trazione e contenuto di cemento inferiori al 10% rispetto ai valori di Progetto viene applicata una detrazione del 10% del prezzo. Per carenze comprese tra il 10 ed il 20% viene applicata una detrazione del 20% del prezzo, mentre per carenze superiori al 20%, il tratto considerato deve essere demolito e ricostruito.

30.5 Fondazione o sottobase riciclata a freddo in sito con bitume e cemento

Lo strato di fondazione o sottobase riciclato a freddo prodotto in sito con legante bituminoso e cemento deve essere realizzato mediante un treno di treno di riciclaggio. Gli aggregati provenienti dagli strati di pavimentazione preesistenti (misto granulare non legato, misto cementato, conglomerato bituminoso) sono fresati e stabilizzati mediante l'apporto di un legante bituminoso, sotto forma di emulsione o di schiuma, e di un legante cementizio, costipati con rulli in conformità con le presenti specifiche, con lo spessore e la sagoma indicate nel progetto.
È possibile sia la correzione granulometrica mediante aggregati di integrazione sia il riciclaggio in sito di una miscela costituita prevalentemente da aggregati di integrazione. Questa tipologia di intervento determina una modifica della stratigrafia della sovrastruttura e può essere realizzato nei casi in cui si renda necessario aumentarne le caratteristiche di portanza.

30.5.1 Criteri di accettazione dei materiali costituenti la miscela

30.5.1.1 Aggregati

Per la produzione di fondazione o sottobase riciclati a freddo in sito con emulsione o bitume schiumato, sono generalmente utilizzati gli aggregati ottenuti dalla fresatura (disgregazione) sul posto degli strati di pavimentazione preesistenti (misto granulare non legato, misto cementato, conglomerato bituminoso) mediante una macchina riciclatrice. Si precisa che il bitume presente nel conglomerato bituminoso demolito è da considerare inattivo e pertanto non costituisce un legante ma bensì è da considerarsi come parte solida..

Ogni fornitura di aggregati con provenienza esterna rispetto al cantiere, dovrà essere accompagnata dalla marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA della norma europea armonizzata UNI EN 13242 con sistema di attestazione di conformità 2+.

Per quanto riguarda le prescrizioni degli aggregati di integrazione di tipo naturale, artificiale e riciclato, vale quanto previsto per il confezionamento della fondazione in misto cementato prodotta in impianto (§30.3). In aggiunta, gli aggregati di provenienza esterna dovranno presentare un indice di portanza CBR ≥ 50 (UNI EN13286-47) dopo maturazione in acqua per 96 ore. Il valore di rigonfiamento deve essere nullo.

30.5.1.2 Legante cementizio

Per la qualifica e le proprietà del legante cementizio si rimanda ai contenuti del § **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**.

30.5.1.3 Acqua

Per la qualifica e le proprietà dell'acqua si rimanda ai contenuti del § 30.3.3.3.

30.5.1.4 Calce

La calce aerea idrata o viva deve essere qualificata in conformità al Regolamento UE 305/2011 sui prodotti da costruzione. Ogni fornitura deve essere accompagnata dalla dichiarazione di prestazione attestante la conformità all'allegato ZA della norma europea armonizzata UNI EN 459-1. Le calci devono essere del tipo CL 90-S o CL 90-Q.

30.5.1.5 Legante bituminoso

Il bitume (nel caso si utilizzi il processo di schiumatura) o l'emulsione bituminosa devono essere qualificati in conformità al Regolamento UE 305/2011 sui prodotti da costruzione.

Ogni fornitura deve essere accompagnata dalla dichiarazione di prestazione attestante la conformità all'allegato ZA della rispettiva norma europea armonizzata (UNI EN 12591 per il bitume e UNI EN 13808 per l'emulsione bituminosa).
Le caratteristiche del legante bituminoso sotto forma di schiuma di bitume o di emulsione bituminosa sono riportate rispettivamente nel §31.4.2.2.3 (legante "A1") e nel §31.4.2.4 (legante "C2").

30.5.2 Criteri di accettazione della miscela

30.5.2.1 Generalità e operazioni preliminari

In caso di interventi di limitata estensione, lo studio della miscela riciclata a freddo in sito con emulsione bituminosa o bitume schiumato e cemento a carico dell'Appaltatore, deve essere svolto con il supporto di una serie di indagini (saggi) con prelievo di adeguato quantitativo di materiale componente la esistente fondazione che permetta di definirne la composizione e le prestazioni.

In caso di interventi di particolare rilevanza per estensione e tipologia di cantierizzazione è raccomandato prevedere l'allestimento di un campo prova, che permetta di definirne la composizione e le prestazioni, nonché le procedure costruttive di dettaglio.

Il campo prova deve essere pianificato dalla DL e inserito in un tratto all'interno del cantiere ritenuto rappresentativo per la lavorazione da svolgere. Per scegliere la posizione del campo prova devono essere preliminarmente eseguiti, almeno ogni 500 m, dei prelievi del materiale coinvolto nel processo di riciclaggio per identificare eventuali disomogeneità in termini di stratigrafia e caratteristiche fisiche (dimensione massima degli aggregati e plasticità). Nel caso in cui la DL riscontri sostanziali disomogeneità deve essere pianificato un campo prova per ogni caso caratterizzante.
Il campo prova deve avere larghezza e profondità conformi alle indicazioni progettuali o del Direttore progettuali. Durante i lavori, se richiesto dalla DL, deve essere presente un laboratorio mobile in grado di effettuare sul posto tutte le prove di laboratorio e in sito indicate di seguito. Tale programma di prove deve essere gestito da un laboratorio ufficiale o autorizzato ai sensi dell'art. 59 del DPR n. 380 o da un laboratorio accreditato ai sensi della norma UNI ISO 17025.

30.5.2.2 Determinazione della granulometria

Nel campo prova gli strati da riciclare devono essere fresati (disgregati) sul posto, tramite uno o più passaggi di macchina riciclatrice o fresa, così da sminuzzare il materiale e possibilmente renderne la granulometria "in volume" conforme al fuso riportato nella seguente tabella:

Setacci [mm]	Passante in volume [%]
40	100-100
31,5	85-100
20	70-95
10	50-80
4	30-55
2	20-40
0,5	10-20
0,25	7-15
0.063	5-10

Si precisa che la distribuzione granulometrica in volume può essere ottenuta da quella in peso, tenendo conto della massa volumica delle frazioni granulometriche impiegate. Inoltre, poiché il bitume eventualmente presente nell'aggregato riciclato RA è parte integrante dei granuli, si deve fare riferimento alla distribuzione granulometrica dell'aggregato RA ante estrazione ("curva nera"). Per consentire il controllo in fase di esecuzione del rispetto dei passanti in volume, lo studio di formulazione dovrà evidenziare, per ogni setaccio, sia la percentuale in volume che quella in peso. Se il materiale granulare presenta più del 15% di passante al setaccio 0,5 mm e un indice di plasticità superiore a 10, deve essere sottoposto a pretrattamento con calce fino a rendere nullo l'indice di plasticità. In questo caso, la miscela granulare di riferimento deve includere il dosaggio identificato di calce.
Nel caso in cui l'operazione di fresatura dello strato, anche con passate multiple, non permetta la produzione di una granulometria conforme al fuso riportato nella precedente tabella, oppure per migliorare le caratteristiche fisico-meccaniche della miscela, è necessario prevedere un'integrazione con aggregati naturali, riciclati o aggregato RA.

Gli aggregati per la correzione granulometrica devono essere stesi con il giusto proporzionamento sullo strato reso granulare e pronto da riciclare. La verifica della correzione granulometrica deve essere eseguita su un prelievo effettuato dopo il passaggio della macchina riciclatrice o fresatrice senza l'aggiunta del legante cementizio.
La granulometria di progetto della miscela di aggregati deve ricadere nel fuso riportato nella tabella sopra. Si precisa che, poiché il bitume presente nell'aggregato RA è parte integrante dei granuli, si deve fare riferimento alla distribuzione granulometrica dell'aggregato RA ante estrazione ("curva nera").

30.5.2.3 Determinazione del contenuto di acqua

Sulla miscela di aggregati di progetto deve essere determinato il valore di progetto del contenuto di acqua riferito al peso degli aggregati asciutti e il corrispondente valore della massa volumica del secco. La procedura da seguire è illustrata nel seguito:

- La miscela granulare deve essere essiccata fino a massa costante e se ne deve determinare il contenuto d'acqua (UNI EN 1097-5). Vista la presenza di aggregato RA, la temperatura di essiccazione non deve essere superiore a 50 °C;
- Dopo l'essiccazione, il materiale deve essere suddiviso in almeno tre campioni mediante quartatura (UNI EN 932-2) e ciascun campione deve essere umidificato aggiungendo un diverso contenuto d'acqua (ad esempio 3, 4 e 5 % sul peso degli aggregati asciutti) e deve quindi essere mantenuto sigillato per almeno 12 ore al fine di permettere un'omogenea distribuzione dell'umidità;
- Subito prima della miscelazione, a ciascun campione umidificato deve essere aggiunto il dosaggio atteso di legante cementizio (ad esempio 2% sul peso degli aggregati);
- Per ogni campione devono essere compattati almeno 3 provini utilizzando un compattare giratorio (UNI EN 12697-31). Il protocollo per la compattazione prevede l'utilizzo di una fustella non drenata di diametro 150 mm, una pressione di 600 ± 18 kPa, un angolo interno di rotazione di 1,16 ± 0,02°, una velocità di rotazione di 30 rpm e numero di rotazioni pari a 100;
- La massa del campione da compattare deve essere di 2800 ± 10 g e deve essere registrata prima dell'inizio della compattazione. Dopo la compattazione ciascun provino deve essere estratto dalla fustella e pesato per determinarne l'eventuale perdita rispetto al materiale inserito in fustella, normalmente riconducibile ad acqua espulsa durante la compattazione;
- Se la perdita media dei tre provini supera lo 0,3% del peso iniziale, il contenuto d'acqua è da ritenere eccessivo e deve quindi essere scartato.
- Il dosaggio d'acqua di progetto è il valore massimo tra quelli testati e per cui la perdita in peso media dei tre provini è inferiore allo 0,3%.
- Per tale valore deve essere determinata la massa volumica secca, utilizzando, per ciascun provino: il volume geometrico (determinato dell'altezza finale a 100 giri e del diametro della fustella), la massa umida e il contento d'acqua iniziali del provino.

30.5.2.4 Determinazione del dosaggio dei leganti

Nel campo prova devono essere preparate almeno tre aree da riciclare (nel seguito indicate come "strisciate") con lunghezza tale da consentire la stabilità del dosaggio dei leganti da parte delle relative macchine operatrici (generalmente superiore a 20 m).

La DL deve stabilire il miglior posizionamento delle strisciate affinché la spanditrice volumetrica e la macchina riciclatrice possano distribuire con precisione e regolarità il dosaggio dei rispettivi leganti. La miscela granulare presente in sito deve avere un contenuto di acqua prossimo (±2%) al valore di

qualifica definito dallo studio di laboratorio (§30.5.2.3), almeno 12 ore prima dell'aggiunta dei leganti. Nel caso si utilizzi emulsione bituminosa, tale contenuto di acqua deve risultare dalla somma dell'acqua contenuta nell'emulsione e di acqua aggiunta per umidificare gli aggregati. Per determinare il dosaggio di progetto dei leganti, sulle strisciate devono essere dosati diversi quantitativi di legante cementizio e di legante bituminoso che danno origine a diverse combinazioni. I dosaggi da investigare, riferiti al peso secco degli aggregati, dovranno essere:

- bitume (bitume residuo nel caso di emulsione bituminosa) compreso tra l'1,5% e il 3,0%;
- cemento compreso tra 1,5% e 2,5%;
- inoltre, il dosaggio di bitume dovrà essere maggiore o uguale al dosaggio di cemento.

Le quantità di leganti da stendere devono essere calcolate utilizzando il valore della massima densità del secco definito dallo studio di laboratorio. Il peso del legante bituminoso e del legante cementizio lasciato dai mezzi in movimento su un metro quadrato deve essere calibrato e verificato sul posto. A tal fine, dopo il passaggio della macchina riciclatrice su ciascuna strisciata deve essere effettuato un prelievo della miscela riciclata (con i leganti) in stato sciolto.
Per ogni miscela riciclata deve essere verificato il contenuto di acqua e deve essere determinato il contenuto di legante bituminoso (media di due prove effettuate secondo UNI EN 12697-1 o secondo la UNI EN 12697-39 opportunamente calibrata).
Quest'ultimo valore deve corrispondere alla somma del contenuto di bitume della miscela granulare prima del riciclaggio e del dosaggio di bitume aggiunto (schiumato o residuo dell'emulsione), con una tolleranza dello 0,6% (rispetto al peso degli aggregati).
Per ogni miscela riciclata devono essere confezionati 4 provini con compattatore giratorio secondo la procedura esposta al presente paragrafo. Per ciascun provino deve essere determinata la massa volumica secca, utilizzando: il volume geometrico (determinato dell'altezza finale a 100 giri e del diametro della fustella), la massa umida e il contento d'acqua iniziali del provino.
I provini devono essere maturati in stufa in condizione non sigillata a 40 °C per 72 ore, successivamente condizionati per almeno 4 ore in camera climatica a 25 °C e infine sottoposti a prova per la determinazione del modulo di rigidezza in configurazione di trazione indiretta (IT-CY) secondo la norma UNI EN 12697-26 (Appendice C). La deformazione orizzontale imposta deve essere pari a 5 ±0.2 µm. A seguito della prova di modulo di rigidezza i provini devono risultare non danneggiati. Gli stessi provini devono essere ulteriormente condizionati per almeno 1 ore a 25 °C e sottoposti a prova di resistenza a trazione indiretta (UNI EN 12697-23).
Ai fini della scelta della combinazione di qualifica dei leganti, devono essere calcolati i valori medi delle grandezze misurate, che devono soddisfare i seguenti requisiti:

- Resistenza media a trazione indiretta a 25 °C, $R_{t,m}$ ³ 0,40 MPa;
- Modulo di rigidezza medio a 25 °C, 3000 MPa £ E_m £ 6000 MPa.

La miscela di progetto è scelta tra quelle che soddisfano tali requisiti, privilegiando le miscele con resistenza elevata e rigidezza contenuta. Dopo la compattazione su ogni strisciata devono essere eseguite le seguenti prove in sito:

- 3 prove di massa volumica del secco con volumometro a sabbia (CNR B.U. n. 22);
- 18 prove di carico (6 in prossimità di ogni prova di densità) mediante piastra dinamica leggera (ASTM E2583) per la misura del modulo dinamico E_{LFWD}, da eseguire sia entro due ore dalla compattazione che entro 24 ore. La temperatura della pavimentazione deve essere misurata e registrata insieme ai risultati.

Ai fini della scelta della procedura di compattazione, tutti i valori di massa volumica del secco in sito devono essere maggiori del 95% della massa volumica del secco dei rispettivi provini compattati in laboratorio.

La media dei valori E_{LFWD}, sulla strisciata costruita con il dosaggio di progetto dei leganti, dev'essere superiore a 100 MPa e può essere utilizzata, insieme alla deviazione standard, come riferimento per l'accettazione del lotto al termine della compattazione (paragrafo §30.5.5).
Al termine del campo prova, nel caso in cui una o più strisciate non verifichino le prestazioni richieste, esse devono essere sottoposte ad ulteriore lavorazione fino all'ottenimento dei suddetti valori minimi.

La Committente potrà altresì misurare il valore del modulo di elasticità E a mezzo di prove di deflessione dinamica con apparecchiatura ad alto rendimento Falling Weight Deflectometer (FWD) nelle modalità indicate al § 30.9, che dovrà risultare, dopo un periodo di tempo variabile tra il 90° e il 200° giorno dalla data di apertura al traffico, compreso tra 3.000 e 10.000 MPa, salvo eventuale diversa prestazione prescritta nei documenti progettuali.

Al termine del campo prova, l'Appaltatore deve predisporre una relazione che riporti:

- le caratteristiche degli aggregati di integrazione in riferimento al paragrafo §30.5.1.1;
- la composizione, la granulometria e il contenuto di bitume della miscela granulare di qualifica in riferimento al paragrafo §30.5.2.2 e alla tabella ivi presente;
- le caratteristiche del legante cementizio in riferimento al paragrafo §30.5.1.2 e dell'eventuale calce in riferimento al paragrafo §30.5.1.4;
- le caratteristiche del legante bituminoso in riferimento al §31.4.2.2.3 (legante "A1") e al §31.4.2.4 (legante "C2");
- il dosaggio di legante cementizio, legante bituminoso e acqua della miscela di qualifica in riferimento al presente paragrafo;
- la massa volumica del secco in laboratorio, la resistenza a trazione indiretta, il modulo di rigidezza della miscela di progetto in riferimento al presente paragrafo;
- la massa volumica del secco in sito, il modulo di rigidezza E_{LWD} e la deviazione standard dei valori E_{LWD} della miscela di progetto in riferimento al presente paragrafo;
- la descrizione delle procedure operative adottate in campo prova per la miscela di progetto (lavorazioni, tipo di mezzi, tempistiche, numero di passate ecc.) compresa la documentazione fotografica;
- la marcatura CE e le Dichiarazioni di Prestazione (DoP) dei materiali e tutti i certificati emessi da un laboratorio autorizzato attestanti le procedure seguite e i risultati ottenuti.

30.5.3 Prequalifica e studio preliminare della miscela

L'Appaltatore dovrà sottoporre all'accettazione della Direzione Lavori, almeno 15 giorni prima dell'inizio delle attività, una relazione contenente tutte le informazioni atte a dimostrare il rispetto dei requisiti di accettazione dei singoli materiali, della miscela e del quantitativo di materia RRS previsto in progetto in applicazione del DM CAM. I contenuti della relazione dovranno essere elaborati in maniera conforme a quanto previsto al § 30.5.2.4.

La mancata presentazione della documentazione preliminare comporta la non autorizzazione all'inizio dell'esecuzione dei lavori, né saranno accettate eventuali lavorazioni svolte prima dell'approvazione delle modalità esecutive.

I requisiti d'accettazione potranno inoltre essere accertati con ulteriori prove a cura della Direzione Lavori sia in fase di prequalifica presso il fornitore (controllo non vincolante per l'autorizzazione), sia in corso d'opera, prelevando il materiale in sito o ancora presso il fornitore, prima e dopo avere effettuato le lavorazioni.

30.5.4 Modalità esecutive

La costruzione dello strato riciclato a freddo in sito con bitume e cemento deve essere realizzata per mezzo di un treno di riciclaggio composto da una spanditrice volumetrica per il legante cementizio, un'autobotte per l'acqua, un'autobotte per il legante bituminoso (bitume schiumato o emulsione bituminosa), una macchina riciclatrice (dotata di sistema per la schiumatura nel caso di impiego di bitume schiumato), un rullo monocilindro vibrante, un rullo gommato e una livellatrice. Nel seguito sono indicate le procedure operative generali, che devono essere integrate dalle procedure operative di dettaglio definite nell'ambito del campo prova.

Lo strato esistente deve essere fresato (disgregato) sul posto con una o più passate di macchina riciclatrice o fresa, fino alla profondità di progetto. Tale operazione deve avvenire con almeno un giorno di anticipo rispetto all'aggiunta dei leganti e alla compattazione, ciò per consentire il prelievo della miscela granulare sul quale verificare il contenuto d'acqua naturale, il contenuto di bitume e la granulometria.

Qualora sia necessaria una correzione granulometrica, un'integrazione della miscela granulare oppure non sia a disposizione sul posto il materiale per la realizzazione dello strato, potranno essere importati e miscelati in sito aggregati naturali e conglomerato bituminoso di recupero (aggregato RA). I materiali di integrazione devono essere scaricati sul piano di posa e livellati alla quota opportuna (di strato non compattato).

Occorre precisare che deve essere previsto il pretrattamento a calce nel caso in cui il materiale da riciclare contenga più del 15% di passante al setaccio 0,5 mm e un indice di plasticità superiore a 10.

La miscela granulare presente in sito deve avere un contenuto di acqua prossimo (±2%) al valore di progetto definito dallo studio di laboratorio, almeno 12 ore prima dell'aggiunta dei leganti. Nel caso di impiego di emulsione bituminosa, nel calcolo del contenuto di acqua si deve includere anche l'acqua apportata dall'emulsione. L'eventuale aggiunta di acqua è da effettuarsi in modo omogeneo mediante dispositivi spruzzatori. Nel caso di contenuto d'acqua troppo elevato è necessario rilavorare il materiale granulare in modo da permetterne l'asciugatura per evaporazione. È inoltre consentito l'impego di quantità limitate di calce viva (< 2%). In nessun caso è consentito aggiungere legante cementizio per compensare l'eccesso di umidità.

A seguito della verifica della rispondenza al progetto del contenuto di acqua, della composizione e della granulometria, la quantità di progetto del legante cementizio deve essere stesa sullo strato reso granulare. Quindi la macchina riciclatrice opera iniettando il dosaggio di progetto di legante bituminoso e mescolando omogeneamente fino alla profondità stabilita.

La compattazione è immediatamente eseguita con un rullo monocilindro vibrante da almeno 140 kN e un rullo gommato da almeno 180 kN. L'estradosso dello strato deve essere sagomato nel rispetto delle quote e delle pendenze di progetto tramite una livellatrice.

Dopo 24 ore dalla realizzazione, lo strato deve essere protetto con la spruzzatura di emulsione bituminosa cationica (§31.4.2.4, legante "C1") in ragione di 1 kg/m² di bitume residuo, successivamente saturata con lo spargimento di sabbia. Nel caso di traffico da cantiere o di condizioni meteo avverse, tale operazione deve essere svolta subito dopo la compattazione.

A insindacabile giudizio della DL, la lavorazione può essere sospesa con temperatura dell'aria inferiore a 10 °C, superiore a 35 °C oppure in caso di pioggia. La macchina riciclatrice o fresa deve eseguire la fresatura sul posto dello strato da riciclare sulla tratta successiva in programma per il riciclaggio. Solo nell'area destinata al prelievo della miscela granulare, sul quale verificare la correttezza del contenuto d'acqua e della granulometria e misurare il contenuto di bitume, deve prova di massa volumica del secco in sito con volumometro a sabbia (CNR B.U. n. 22) essere eseguito un passaggio aggiuntivo di fresa per simulare la granulometria finale.

Le lavorazioni successive e l'apertura al traffico di cantiere dipendono dalle resistenze raggiunte, e comunque saranno decise di volta in volta dalla DL.

30.5.5 Controlli in corso d'opera

Con frequenza ogni 500 m^3 o giornaliera verranno eseguiti, a cura della Direzione Lavori in contraddittorio e con l'assistenza dell'Appaltatore, i seguenti controlli:

- N. 1 in cui la misura del contenuto d'acqua del materiale è effettuata utilizzando il metodo tradizionale (UNI EN 1097-05) o il metodo con forno a microonde (ASTM D4643) nel rispetto dei limiti di cui al § 30.5.2.4.
- In alternativa alla precedente prova di massa volumica del secco, N. 1 verifica dinamica di portanza effettuata mediante n. 20 battute LFWD da eseguire entro 24 ore dalla posa in opera su due allineamenti posti a 50 cm dal bordo della strisciata. La media E_{LFWD} di queste battute deve essere superiore a 100 MPa.
- N. 1 prova della distribuzione granulometrica degli aggregati secondo la UNI EN 933-1 nei limiti di cui al § 30.5.2.2. Il controllo della granulometria in sito e del contenuto naturale di acqua deve essere effettuato prelevando il materiale ottenuto dalla fresatura della pavimentazione esistente, eventualmente corretto con gli aggregati di integrazione, prima dell'aggiunta del legante cementizio. Solo nell'area destinata al prelievo, per simulare la granulometria finale, va seguita un passaggio aggiuntivo di fresa.
- N. 1 prova del contenuto di cemento secondo B.U. C.N.R. n. 29 nei limiti di cui al § 30.5.2.2
- N. 1 prova del contenuto di bitume secondo UNI EN 12697-1 o secondo la UNI EN 12697-39 opportunamente calibrata). Tale valore deve corrispondere alla somma del contenuto di bitume della miscela granulare prelevata prima dell'aggiunta dei leganti e del dosaggio di bitume aggiunto (schiumato o residuo dell'emulsione), con una tolleranza dello 0,6% (rispetto al peso degli aggregati).
- N. 1 prova per la determinazione del modulo di rigidezza in configurazione di trazione indiretta (IT-CY) secondo la norma UNI EN 12697-26 (Appendice C). I provini devono essere maturati in stufa in condizione non sigillata a 40°C per 72 ore, successivamente condizionati per almeno 4 ore 50 in camera climatica a 25 °C e infine sottoposti a prova. La deformazione orizzontale imposta deve essere pari a 5 ± 0.2 µm. I limiti di accettazione sono indicati al § 30.5.2.4.
- N. 1 prova per la determinazione della resistenza a trazione indiretta (UNI EN 12697-23). I limiti di accettazione sono indicati al § 30.5.2.4.

Con frequenza ogni 10.000 m^3 di strato finito compattato sono da verificare all'impianto le seguenti qualità degli aggregati di cui ai requisiti del § 30.5.1.1:

- N. 1 prova della granulometria, % di particelle frantumate, contenuto di fini aggregato grosso e fine, valutazione del fine equivalente in sabbia, valutazione del fine blu di metilene, indice di plasticità. Per gli eventuali aggregati riciclati: contenuto di frammenti di conglomerati cementizi, contenuto di vetro, contenuto di materiale galleggiante, contenuto di terreno vegetale, test di cessione per la conformità ai valori dell'Allegato n. 3 del D.M. 05/02/1998 per il materiale di origine riciclata.

Con frequenza ogni 20.000 m^3 di strato finito compattato sono da verificare all'impianto le seguenti qualità degli aggregati di cui ai requisiti del § 30.5.1.1:

- N. 1 prova del coefficiente di appiattimento, coefficiente di forma, resistenza alla frammentazione, resistenza all'usura, assorbimento d'acqua, solfato solubile in acido, zolfo totale, solfato idrosolubile, stabilità volumetrica, sensibilità al gelo.

Per quanto riguarda ***il legante bituminoso*** è' necessario eseguire un prelievo all'impianto per fornitore e prodotto al primo utilizzo e successivamente con cadenza bisettimanale, per la verifica delle caratteristiche approvate in qualifica nel rispetto dei limiti riportati nei § 31.4.2.2.2 per bitume tipo A, § 31.4.2.2.3 per bitume per schiumatura tipo A1, § 31.4.2.3 per bitume modificato hard con polimeri SBS tipo B, § 31.4.2.4 per emulsioni bituminose cationiche non modificate tipo C, C1 e C2, § 31.4.2.5 per emulsioni bituminose cationiche modificate tipo D1 e D2. Ai predetti limiti si applicano le tolleranze di seguito riportate:

- Punto di Rammollimento: variazione di 5 °C rispetto al limite inferiore e/o superiore.
- Penetrazione a 25°C: variazione di 5 mm rispetto al limite inferiore e/o superiore.
- Viscosità dinamica a 160 °C, $\dot{\gamma}$=100 s^{-1}: variazione di 0,1 Pa*s rispetto al limite inferiore e/o superiore.
- Ritorno elastico a 25 °C, 50 mm/min: variazione di 5 punti percentuali rispetto al limite inferiore e/o superiore.

La mancata rispondenza ad almeno una dei precedenti 4 requisiti può comportare l'applicazione della penale del prezzo dello strato corrispondente al campione contenente la partita di bitume non conforme di cui al § 31.10.2.4.
L'Appaltatore dovrà provvedere alla verifica topografica della sagoma e dello spessore di progetto della fondazione finita rispetto alle previsioni progettuali prima di procedere con la posa degli strati successivi. Il rilievo deve misurare una griglia di punti di misura aventi, in direzione longitudinale, un distanziamento massimo di 20 m. La griglia deve, inoltre, permettere la verifica delle pendenze di progetto. Eventuali carenze di quota localizzate, fino a 10 mm, possono essere compensate dallo spessore dello strato superiore senza oneri ulteriori, nel caso di quote superiori a quelle di progetto lo strato, ad insindacabile giudizio della DL, può essere rimosso e risagomato a cura e spese dell'Appaltatore. Il rilevo, ed ogni suo successivo aggiornamento, deve essere trasmesso al Direttore dei Lavori in formato dwg. La Direzione Lavori, in caso di dubbi sulla regolarità superficiale dello strato, può eseguire, ove ritiene opportuno, la verifica della regolarità a mezzo di un regolo di 4 m di lunghezza, disposto secondo due direzioni ortogonali o mediante altra metodologia approvata dalla DL. Sono ammessi scostamenti rispetto ai piani di progetto non superiori a 10 mm.

In aggiunta alle prove di cui sopra, al completamento della posa di tutti gli strati di pavimenazione, potranno essere effettuate, a cura della Committente, dei controlli con apparecchiature ad alto rendimento per la misura del Modulo Elastico dello o degli strati di supporto sopra descritti, con le modalità indicate al § 30.9.

30.5.6 Tolleranze di esecuzione e penali

Per la granulometria della miscela è ammessa una tolleranza con penale per fusi della miscela di ± 7% fino al passante al setaccio UNI con apertura 4 mm e di ± 5% per il passante al setaccio UNI 2 mm ed inferiori, purché non siano superati i limiti del fuso. Questa tolleranza è accettata solo se contenuta nel 10% del totale delle prove eseguite al termine dei lavori sulla singola WBS. La penale per il superamento dei fusi nei limiti indicati è pari al 10% dell'intera lavorazione da applicare alla superficie interessata dalla non conformità.
La quota della superficie finita della sagoma della fondazione non deve scostarsi dalla sagoma di Progetto di oltre ±10 mm. Lo spessore deve essere quello prescritto, con una tolleranza del ± 5% purché questa differenza si presenti solo saltuariamente. In caso contrario l'Appaltatore, a sua cura e spese, dovrà provvedere al raggiungimento dello spessore prescritto.
Per valori medi di portanza, densità, resistenza a compressione e trazione e contenuto di cemento inferiori al 10% rispetto ai valori di Progetto viene applicata una detrazione del 10% del prezzo. Per

carenze comprese tra il 10 ed il 20% viene applicata una detrazione del 20% del prezzo, mentre per carenze superiori al 20%, il tratto considerato deve essere demolito e ricostruito.
Per la % di bitume, in caso di non conformità, a giudizio insindacabile della DL, può essere applicata una penale pari al 10% del costo del lotto sottoposto a prova. In caso in cui la non conformità sia tale da pregiudicare la funzionalità dell'opera, a giudizio insindacabile della DL, può essere richiesta la rimozione e ricostruzione a cura e spese dell'Impresa dello strato stesso.

30.6 Fondazione o sottobase riciclata a freddo in impianto con bitume e cemento

La miscela per strato di fondazione o sottobase riciclato a freddo è costituita da una miscela granulare legata tipicamente con legante cementizio e bituminoso. Quest'ultimo è tipicamente rappresentato da emulsione bituminosa o da bitume schiumato. Nel caso di produzione in impianto, Il confezionamento della miscela avviene in impianti fissi o mobili o mobili localizzati internamente o esternamente dall'area di cantiere.

La miscela granulare è principalmente composta da aggregato riciclato derivante dalla demolizione e recupero di conglomerati bituminosi che vengono processati in impianto. La miscela granulare, composta con l'obiettivo di massimizzare il reimpiego di materia riciclata, può essere comunque soggetta a integrazione con aggregati naturali o frantumati di primo impiego o con sottoprodotti.

30.6.1 Criteri di accettazione dei materiali costituenti la miscela e della miscela stessa

In linea generale, i materiali di provenienza esterna dal cantiere o che l'Appaltatore approvvigionerà da terzi dovranno essere qualificati in conformità al Regolamento UE n°305/2011 sui prodotti da costruzione.

30.6.1.1 Aggregati

Il riciclaggio a freddo con cemento e legante bituminoso prevede prettamente il reimpiego di conglomerato bituminoso derivante dalla demolizione di pavimentazioni esistenti. In via preferenziale l'aggregato riciclato dovrà provenire da pavimentazioni autostradali della rete di ASPI.

In tutti i casi in cui il conglomerato bituminoso demolito (o fresato d'asfalto) venga inizialmente classificato come rifiuto, il suo riutilizzo potrà avvenire unicamente a valle della cessazione di tale qualifica ai sensi del DM 69/2018. Nelle condizioni in cui il fresato d'asfalto non dovesse essere classificato come rifiuto - ai sensi della normativa ambientale vigente - il suo reimpiego potrà comunque avvenire unicamente a valle di comprovata idoneità ambientale (e tecnica). Successivamente all'avvenuto recupero ambientale il materiale dovrà essere processato, vagliato e stoccato in cumuli come previsto al § 31.4.1.2 di questo Capitolato. Si precisa che il bitume presente nell'aggregato del conglomerato bituminoso recuperato è da considerare inattivo e pertanto non costituisce un legante. Unitamente alla componente minerale esso è invece da considerare come componente solida (o litica) della miscela.

Indipendentemente dalla provenienza e dalla percentuale di impiego, ogni fornitura di aggregati che l'Appaltatore approvvigiona da terzi dovrà essere corredata da marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA della UNI EN 13242 con sistema di attestazione di conformità 2+ inclusa di Dichiarazione di Prestazione (DoP). La certificazione CE e la DoP dovranno essere consegnati alla Direzione Lavori prima dell'inizio all'inizio dei lavori e ad ogni cambio di lotto di aggregato. Ad ogni modo, la Direzione Lavori ha la facoltà di richiedere tale documentazione in ogni fase delle lavorazioni.

Indipendentemente dalla provenienza e dalla percentuale di impiego, ogni fornitura di aggregati che l'Appaltatore approvvigiona da terzi o che deriva unicamente da una campagna di recupero da lui

stesso condotta dovrà essere corredata da marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA della UNI EN 13242 con sistema di attestazione di conformità 2+ inclusa di Dichiarazione di Prestazione (DoP). La certificazione CE e la DoP dovranno essere consegnati alla Direzione Lavori prima dell'inizio dei lavori e ad ogni cambio di lotto di aggregato.

I requisiti di idoneità tecnica degli impiegati utilizzabili sono riportati al § 30.3.2.1 a cui bisogna aggiungere il requisito dell'indice di portanza CBR che dovrà essere ≥ 50 con rigonfiamento nullo dopo 96 ore di immersione.

30.6.1.2 Cemento

Per la qualifica e le proprietà del legante cementizio si rimanda ai contenuti del § 30.3.1.2 e del § 30.3.3.2.

30.6.1.3 Acqua

Per la qualifica e le proprietà dell'acqua si rimanda ai contenuti del § 30.3.3.3.

30.6.1.4 Legante bituminoso

Il bitume (nel caso si utilizzi il processo di schiumatura) o l'emulsione bituminosa devono essere qualificati in conformità al Regolamento UE 305/2011 sui prodotti da costruzione.
Ogni fornitura deve essere accompagnata dalla dichiarazione di prestazione attestante la conformità all'allegato ZA della rispettiva norma europea armonizzata (UNI EN 12591 per il bitume impiegato nell schiumatura o UNI EN 13808 per l'emulsione bituminosa).
Le caratteristiche del legante bituminoso sotto forma di schiuma di bitume o di emulsione bituminosa sono riportate rispettivamente nel §31.4.2.2.3 (legante "A1") e nel §31.4.2.4 (legante "C2").

30.6.1.5 Miscela confezionata in impianto esterno all'area di cantiere

Ogni fornitura di miscela in ingresso al cantiere dovrà essere accompagnata da Documento di Trasporto corredato da rapporto di carico. Quest'ultimo dovrà essere compilato includendo i riferimenti ai materiali utilizzati (certificato CE o relazione tecnica, entrambi in corso di validità), al loro proporzionamento, e alle caratteristiche compositive attestanti la conformità all'ultima miscela prequalificata secondo quanto riportato in questo articolo di Capitolato.

30.6.1.6 Miscela confezionata in impianto interno all'area di cantiere

Indipendentemente da quanto previsto al § 30.6.1.1, ogni fornitura di aggregati di provenienza esterna al cantiere dovrà essere accompagnata da marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA della UNI EN 13242 con sistema di attestazione di conformità 2+ inclusa di Dichiarazione di Prestazione (DOP).

Nel caso in cui si intenda impiegare, in frazione unica o miscelati, aggregati provenienti dall'area interna al cantiere, il loro utilizzo sarà ammesso unicamente previa attestazione di conformità sia ambientale, ai sensi della normativa ambientale vigente, che tecnica, ai sensi di quanto previsto in questo articolo di Capitolato. Tale attestazione dovrà essere definita a mezzo di una relazione tecnica corredata da certificati di laboratorio redatta interamente ad onere dell'Appaltatore, che verrà consegnata alla Direzione Lavori in anticipo rispetto ai lavori che prevedono l'impiego di tali aggregati. In generale, il reimpiego di aggregati derivanti da lavorazioni condotte internamente al

cantiere dovrà comunque essere gestito in progetto secondo quanto considerato nei piani di utilizzo e nel capitolato ambientale.

Per quanto concerne alla produzione della miscela, in caso di impianto interno, l'Appaltatore dovrà provvedere a redigere una relazione inerente alla produzione giornaliera nella quale riporterà i dati relativi agli impasti prodotti indicando quanto previsto per il rapporto di carico indicato al § 30.6.1.5. La Direzione Lavori ha la facoltà di richiedere l'elaborazione di tale relazione con una frequenza diversa in funzione della quantità di miscela prodotta.

30.6.1.7 Controlli di accettazione materiali

L'Appaltatore dovrà sottoporre alla Direzione Lavori l'intera documentazione attestante le caratteristiche del materiale che intende utilizzare almeno 15 giorni prima dell'avvio dei lavori.
Durante i lavori, dovranno essere emessi nuovi certificati di prequalifica dei materiali costituenti la miscela e della miscela stessa ad ogni cambio di lotto di approvvigionamento o comunque secondo quanto previsto al § 30.6.6. Viene lasciata la facoltà alla Direzione Lavori di richiedere la modifica delle frequenze di campionamento e dei limiti di utilizzo oltre i quali ripetere la prequalifica dei materiali.
Qualora la Direzione Lavori accerti la non corrispondenza anche di una singola caratteristica richiesta, la DL stessa potrà non consentire l'impiego del materiale setto o potrà richiedere la predisposizione di correttivi, a cura e onere dell'Appaltatore, tali da rendere il materiale idoneo all'utilizzo.

30.6.2 Prequalifica e studio preliminare della miscela

I valori di qualifica della granulometria, del contenuto d'acqua, del dosaggio di legante bituminoso (sotto forma di bitume schiumato o emulsione bituminosa) e del dosaggio di legante cementizio (e delle eventuali aggiunte), sono stabiliti in base ad uno studio di laboratorio certificato.

30.6.2.1 Determinazione della granulometria

La miscela granulare da impiegare per il riciclaggio a freddo in impianto con emulsione bituminosa o bitume schiumato e cemento può essere ottenuta adottando aggregato RA in frazione unica o mediante combinazione di più classi dimensionali. Per migliorare le caratteristiche fisico-meccaniche della miscela oppure nel caso in cui l'aggregato RA a disposizione non permetta la produzione di una granulometria conforme al fuso riportato nella seguente tabella, è necessario prevedere un'integrazione con aggregati naturali.

Setacci [mm]	Passante in volume [%]
40	100-100
31,5	85-100
20	70-95
10	50-80
4	30-55
2	20-40
0,5	10-20
0,25	7-15

0.063	5-10

La granulometria di qualifica "in volume" della miscela di aggregati deve ricadere nel fuso riportato in tabella precedente. Si precisa che la distribuzione granulometrica in volume può essere ottenuta da quella in peso, tenendo conto della massa volumica delle frazioni granulometriche impiegate. Inoltre, poiché il bitume presente nell'aggregato RA è parte integrante dei granuli, si deve fare riferimento alla distribuzione granulometrica dell'aggregato RA ante estrazione ("curva nera"). Per consentire il controllo in fase di esecuzione del rispetto dei passanti in volume, il progetto della miscela dovrà evidenziare, per ogni setaccio, sia la percentuale in volume che quella in peso.

30.6.2.2 Determinazione del contenuto di acqua

Sulla miscela di aggregati di progetto deve essere determinato il valore di progetto del contenuto di acqua riferito al peso degli aggregati asciutti e il corrispondente valore della massa volumica del secco. La procedura da seguire è illustrata nel seguito:

- la miscela granulare deve essere essiccata fino a massa costante e se ne deve determinare il contenuto d'acqua (UNI EN 1097-5). Vista la presenza di aggregato RA, la temperatura di essiccazione non dev'essere superiore a 50 °C;
- Dopo l'essiccazione, la miscela granulare deve essere suddivisa in almeno tre campioni mediante quartatura (UNI EN 932-2), e ciascun campione deve essere umidificato aggiungendo un diverso dosaggio d'acqua (ad esempio 3, 4 e 5% sul peso degli aggregati asciutti) e deve quindi essere mantenuto sigillato per almeno 12 ore al fine di permettere un'omogenea distribuzione dell'umidità;
- Subito prima della miscelazione a ciascun campione umidificato deve essere aggiunto il dosaggio atteso di legante cementizio (ad esempio 2% sul peso degli aggregati);
- Per ogni campione devono essere compattati almeno 3 provini utilizzando un compattare giratorio (UNI EN 12697-31). Il protocollo per la compattazione prevede l'utilizzo di una fustella non drenata di diametro 150 mm, una pressione di 600 ± 18 kPa, un angolo interno di rotazione di 1,16 ± 0,02°, una velocità di rotazione di 30 rpm, e numero di rotazioni pari a 100;
- La massa del campione da compattare dev'essere di 2800 ± 10 g e deve essere registrata prima dell'inizio della compattazione. Dopo la compattazione ciascun provino deve essere estratto dalla fustella e pesato per determinarne l'eventuale perdita rispetto al materiale inserito in fustella, normalmente riconducibile ad acqua espulsa durante la compattazione;
- Se la perdita media dei tre provini supera lo 0,3% del peso iniziale, il contenuto d'acqua è da ritenere eccessivo e deve quindi essere scartato;
- Il dosaggio d'acqua di progetto è il valore massimo tra quelli testati e per cui la perdita in peso media dei tre provini è inferiore allo 0,3%;
- Per tale valore deve essere determinata la massa volumica secca, utilizzando, per ciascun provino: il volume geometrico (determinato dell'altezza finale a 100 giri e del diametro della fustella), la massa umida e il contento d'acqua iniziali del provino.

30.6.2.3 Determinazione del dosaggio dei leganti

Per determinare il dosaggio di qualifica dei leganti devono essere prodotte in laboratorio almeno 4 miscele con diversi quantitativi di legante bituminoso e di legante cementizio. I dosaggi da investigare, riferiti al peso secco degli aggregati, dovranno essere:

- bitume (bitume residuo nel caso di emulsione bituminosa) compreso tra l'1,5% e il 3,0%;
- cemento compreso tra 1,5% e 2,5%;

- inoltre, il dosaggio di bitume dovrà essere maggiore o uguale al dosaggio di cemento.

Tutte le miscele dovranno avere il contenuto di acqua di progetto determinato nello studio di laboratorio al paragrafo §30.6.2.3. Nel caso si utilizzi emulsione bituminosa, tale contenuto d'acqua deve risultare dalla somma dell'acqua contenuta nell'emulsione e di acqua aggiunta per umidificare gli aggregati.

Per la miscelazione e la compattazione deve essere seguita la procedura descritta al paragrafo §30.6.2.3, con le seguenti modifiche:

- per l'umidificazione iniziale del campione si deve utilizzare il dosaggio di acqua di progetto (nel caso si utilizzi bitume schiumato), a cui va sottratta l'acqua eventualmente apportata dall'emulsione bituminosa;
- dopo l'aggiunta del cemento si effettua una prima miscelazione, si aggiunge quindi il legante bituminoso (emulsione o bitume schiumato) e quindi si effettua la miscelazione finale, prima di procedere alla compattazione.

Per la produzione in laboratorio del bitume schiumato deve essere utilizzata una macchina schiumatrice opportunamente calibrata. In particolare, il laboratorio incaricato del progetto deve verificare la quantità di bitume effettivamente aggiunta alla miscela confrontando il contenuto di bitume prima e dopo l'aggiunta della schiuma di bitume. Per ogni miscela riciclata devono essere confezionati 4 provini con compattatore giratorio secondo la procedura esposta al paragrafo §30.6.2.3. Per ciascun provino deve essere determinata la massa volumica secca, utilizzando: il volume geometrico (determinato dell'altezza finale a 100 giri e del diametro della fustella), la massa umida e il contenuto d'acqua iniziali del provino.

I provini devono essere maturati in stufa in condizione non sigillata a 40 °C per 72 ore, successivamente condizionati per almeno 4 ore in camera climatica a 25 °C e infine sottoposti a prova per la determinazione del modulo di rigidezza in configurazione di trazione indiretta (IT-CY) secondo la norma UNI EN 12697-26 (Appendice C). La deformazione orizzontale imposta deve essere pari a 5 ± 0.2 µm. A seguito della prova di modulo di rigidezza i provini devono risultare intatti. Gli stessi provini devono essere ulteriormente condizionati per almeno 1 ora a 25 °C e sottoposti a prova di resistenza a trazione indiretta (UNI EN 12697-23).

Ai fini della scelta della combinazione di progetto dei leganti, devono essere calcolati i valori medi delle grandezze misurate, che devono soddisfare i seguenti requisiti:

- Resistenza media a trazione indiretta a 25 °C, Rt,m ³ 0,40 MPa;
- Modulo di rigidezza medio a 25 °C, 3000 MPa £ Em £ 6000 MPa.

La miscela di progetto è scelta tra quelle che soddisfano tali requisiti, privilegiando miscele con resistenza elevata e rigidezza contenuta.

Per calibrare il processo di posa in opera della miscela di progetto prodotta in impianto, la DL può richiedere la realizzazione di una stesa di prova in vera grandezza, a totale carico dell'Appaltatore. La stesa sarà realizzata in un tratto individuato dalla DL rappresentativo per la lavorazione da svolgere. La stesa deve avere lunghezza tale da consentire la stabilità di produzione in impianto e di realizzazione, nonché larghezza e profondità conformi al progetto. La compattazione deve essere eseguita immediatamente dopo la stesa prevedendo l'impiego di un rullo monocilindro vibrante da almeno 140 kN e un rullo gommato da almeno 180 kN.

La miscela prodotta in impianto deve essere campionata per permettere la verifica del contenuto di acqua, del contenuto di legante bituminoso, della massa volumica secca, del modulo di rigidezza e della resistenza a trazione indiretta secondo le stesse procedure sopraesposte.

Dopo la compattazione della stesa di prova devono essere eseguite 3 prove di massa volumica del secco con volumometro a sabbia (CNR B.U. n. 22). Ai fini della conferma della procedura di compattazione, tutti i valori di massa volumica del secco in sito devono essere maggiori del 95% della massa volumica del secco dei provini della miscela di progetto compattati in laboratorio.

Se la stesa di prova è eseguita all'interno del cantiere, nel caso in cui le prestazioni richieste non siano verificate, essa deve essere rimossa e la procedura rieseguita.

La Committente potrà altresì misurare il valore del modulo di elasticità E a mezzo di prove di deflessione dinamica con apparecchiatura ad alto rendimento Falling Weight Deflectometer (FWD) nelle modalità indicate al § 30.9, che dovrà risultare, dopo un periodo di tempo variabile tra il 90° e il 200° giorno dalla data di apertura al traffico, compreso tra 3.000 e 10.000 MPa, salvo eventuale diversa prestazione prescritta nei documenti progettuali.

Al termine della stesa di prova, l'Impresa deve predisporre una relazione che riporti:

- le caratteristiche degli aggregati di integrazione in riferimento al paragrafo §30.6.1.1;
- la composizione, la granulometria e il contenuto di bitume della miscela granulare di progetto in riferimento in riferimento al paragrafo §30.6.2.2 e alla tabella ivi contenuta;
- le caratteristiche del legante cementizio in riferimento al paragrafo §30.6.1.2;
- le caratteristiche del legante bituminoso in riferimento al §31.4.2.2.3 (legante "A1") e al §31.4.2.4 (legante "C2");
- il dosaggio di legante cementizio, legante bituminoso e acqua della miscela di progetto in riferimento al presente paragrafo;
- la massa volumica del secco in laboratorio, la resistenza a trazione indiretta e il modulo di rigidezza della miscela di progetto in riferimento al presente paragrafo;
- la descrizione delle procedure operative in impianto (conformemente a §30.6.3) e di stesa (conformemente a §30.6.5) per la miscela di qualifica (funzionamento, velocità, calibrazioni, tempistiche, tipo di mezzi, numero di passate ecc.) compresa la documentazione fotografica;
- la marcatura CE e le Dichiarazioni di Prestazione (DoP) dei materiali e tutti i certificati emessi da un laboratorio autorizzato attestanti le procedure seguite e i risultati ottenuti.

30.6.3 Confezionamento delle miscele

La miscela riciclata a freddo in impianto con bitume (bitume schiumato oppure emulsione bituminosa) e cemento deve essere confezionata in impianti fissi o mobili, di idonee caratteristiche, mantenuti sempre perfettamente funzionanti in ogni loro parte.
L'impianto deve permettere inserimento di bitume e il processo di schiumatura o l'iniezione di emulsione bituminosa nel corretto dosaggio e il controllo delle temperature di impiego. Simultaneamente all'inserimento del legante bituminoso, l'impianto deve poter dosare con precisione il legante cementizio. L'impianto deve garantire uniformità di produzione ed essere in grado di realizzare miscele del tutto rispondenti a quelle di progetto indicate nella documentazione presentata per l'approvazione.
La zona destinata allo stoccaggio degli aggregati, incluso l'aggregato RA, deve essere preventivamente e convenientemente sistemata per evitare la presenza di sostanze argillose e ristagni di acqua che possono contaminare gli aggregati. I cumuli delle diverse pezzature di aggregato devono essere separati tra di loro per evitare la mescolanza tra aggregati differenti e si raccomanda che il cumulo dell'aggregato RA sia riparato dall'acqua piovana mediante specifiche coperture. L'operazione di rifornimento attraverso i predosatori delle tramogge deve essere eseguita con la massima cura per regolare il deflusso degli aggregati secondo le specifiche di progetto. Per ciascuna delle classi di aggregati impiegate dovrà essere utilizzato un pre-dosatore dedicato.
Lo stoccaggio del cemento deve essere effettuato garantendo la protezione dall'umidità atmosferica e da impurità.

30.6.4 Controlli di accettazione della miscela

L'Appaltatore dovrà sottoporre all'accettazione della Direzione Lavori, almeno 15 giorni prima dell'inizio delle attività, una relazione contenente tutte le informazioni atte a dimostrare il rispetto dei requisiti di accettazione dei singoli materiali e della miscela. Nello specifico è richiesto che tale relazione sia conforme ai contenuti del paragrafo 30.6.2 e che richiami quanto previsto al 30.6.1.7.
La mancata presentazione della documentazione preliminare comporta la non autorizzazione all'inizio dell'esecuzione dei lavori, né saranno accettate eventuali lavorazioni svolte prima dell'approvazione delle modalità esecutive.
I requisiti d'accettazione potranno inoltre essere accertati con ulteriori prove a cura della Direzione Lavori sia in fase di prequalifica presso il fornitore (controllo non vincolante per l'autorizzazione), sia in corso d'opera, prelevando il materiale in sito o ancora presso il fornitore, prima e dopo avere effettuato le lavorazioni.

30.6.5 Modalità esecutive

La miscela riciclata a freddo in impianto con emulsione bituminosa o bitume schiumato e cemento deve essere stesa sul piano finito dello strato sottostante dopo che sia stata accettata dalla DL la rispondenza di quest'ultimo ai requisiti di quota, sagoma e capacità portante prescritti. Prima di effettuare la stesa è necessario correggere ogni eventuale depressione o avvallamento riscontrati sul piano di posa.
La miscela deve essere stesa in strati di spessore non superiore a 25 cm mediante l'impiego di vibrofinitrici. Il tempo massimo intercorrente tra la miscelazione e l'inizio delle operazioni di compattazione non deve superare i 60 minuti o, comunque, essere compatibile con il tempo di inizio presa del legante idraulico utilizzato per non pregiudicare la lavorabilità della miscela.
È necessario proteggere la miscela durante il trasporto dall'impianto di produzione al luogo di impiego per evitare un'eccessiva perdita di umidità.
Il tempo intercorrente tra la stesa di due strisce affiancate non deve superare di norma le due ore per garantire la continuità della struttura. Particolari accorgimenti devono adottarsi nella formazione dei giunti longitudinali che andranno protetti con fogli di polietilene o materiale similare. Ogni giunto trasversale deve essere rettificato con il taglio (fresatura) dell'ultima parte dello strato precedentemente realizzato, in modo da ottenere una parete verticale.
La compattazione è eseguita immediatamente dopo la stesa con un rullo monocilindro vibrante da almeno 140 kN e un rullo gommato da almeno 180 kN. L'estradosso dello strato deve essere sagomato nel rispetto delle quote e delle pendenze di progetto. Dopo 24 ore dalla realizzazione lo strato deve essere protetto con la spruzzatura di emulsione bituminosa cationica (§31.4.2.4, legante "C1") in ragione di 1 kg/m² di bitume residuo, successivamente saturata con lo spargimento di sabbia. Nel caso di traffico da cantiere o di condizioni meteo avverse, tale operazione deve essere svolta subito dopo la compattazione.
A insindacabile giudizio della DL, la lavorazione può essere sospesa con temperatura dell'aria inferiore a 10 °C, superiore a 35 °C oppure in caso di pioggia. Strati eventualmente compromessi dalle condizioni meteorologiche, dalla circolazione dei mezzi di cantiere o da altre cause devono essere rimossi e ricostituiti a totale cura e spese dell'Appaltatore.

30.6.6 Controlli in corso d'opera

Con frequenza ogni 500 m^3 o giornaliera verranno eseguiti, a cura della Direzione Lavori in contraddittorio e con l'assistenza dell'Appaltatore, i seguenti controlli:

- N. 1 prova di massa volumica del secco in sito con volumometro a sabbia (CNR B.U. n. 22) in cui la misura del contenuto d'acqua del materiale è effettuata utilizzando il metodo tradizionale (UNI EN 1097-05) o il metodo con forno a microonde (ASTM D4643) nel rispetto dei limiti di cui al § 30.6.2.4.

- In alternativa alla precedente prova di massa volumica del secco, N. 1 verifica dinamica di portanza effettuata mediante n. 20 battute LFWD da eseguire entro 24 ore dalla posa in opera su due allineamenti posti a 50 cm dal bordo della strisciata. La media E_{LFWD} di queste battute deve essere superiore a 100 MPa.
- N. 1 prova della distribuzione granulometrica degli aggregati secondo la UNI EN 933-1 nei limiti di cui al § 30.6.2.2. Il controllo della granulometria in sito e del contenuto naturale di acqua deve essere effettuato prelevando il materiale ottenuto dalla fresatura della pavimentazione esistente, eventualmente corretto con gli aggregati di integrazione, prima dell'aggiunta del legante cementizio. Solo nell'area destinata al prelievo, per simulare la granulometria finale, va seguita un passaggio aggiuntivo di fresa.
- N. 1 prova del contenuto di cemento secondo B.U. C.N.R. n. 29 nei limiti di cui al § 30.6.2.2
- N. 1 prova del contenuto di bitume secondo UNI EN 12697-1 o secondo la UNI EN 12697-39 opportunamente calibrata). Tale valore deve corrispondere alla somma del contenuto di bitume della miscela granulare prelevata prima dell'aggiunta dei leganti e del dosaggio di bitume aggiunto (schiumato o residuo dell'emulsione), con una tolleranza dello 0,6% (rispetto al peso degli aggregati).
- N. 1 prova per la determinazione del modulo di rigidezza in configurazione di trazione indiretta (IT-CY) secondo la norma UNI EN 12697-26 (Appendice C). I provini devono essere maturati in stufa in condizione non sigillata a 40°C per 72 ore, successivamente condizionati per almeno 4 ore 50 in camera climatica a 25 °C e infine sottoposti a prova. La deformazione orizzontale imposta deve essere pari a 5 ± 0.2 µm. I limiti di accettazione sono indicati al § 30.6.2.4.
- N. 1 prova per la determinazione della resistenza a trazione indiretta (UNI EN 12697-23). I limiti di accettazione sono indicati al § 30.6.2.4.

Con frequenza ogni 10.000 m^3 di strato finito compattato sono da verificare all'impianto le seguenti qualità degli aggregati di cui ai requisiti del § 30.6.1.1:

- N. 1 prova della granulometria, % di particelle frantumate, contenuto di fini aggregato grosso e fine, valutazione del fine equivalente in sabbia, valutazione del fine blu di metilene, indice di plasticità. Per gli eventuali aggregati riciclati: contenuto di frammenti di conglomerati cementizi, contenuto di vetro, contenuto di materiale galleggiante, contenuto di terreno vegetale, test di cessione per la conformità ai valori dell'Allegato n. 3 del D.M. 05/02/1998 per il materiale di origine riciclata.

Con frequenza ogni 20.000 m^3 di strato finito compattato sono da verificare all'impianto le seguenti qualità degli aggregati di cui ai requisiti del § 30.6.1.1:

- N. 1 prova del coefficiente di appiattimento, coefficiente di forma, resistenza alla frammentazione, resistenza all'usura, assorbimento d'acqua, solfato solubile in acido, zolfo totale, solfato idrosolubile, stabilità volumetrica, sensibilità al gelo.

Per quanto riguarda ***il legante bituminoso*** è' necessario eseguire un prelievo all'impianto per fornitore e prodotto al primo utilizzo e successivamente con cadenza bisettimanale, per la verifica delle caratteristiche approvate in qualifica nel rispetto dei limiti riportati nei § 31.4.2.2.2 per bitume tipo A, § 31.4.2.2.3 per bitume per schiumatura tipo A1, § 31.4.2.3 per bitume modificato hard con polimeri SBS tipo B, § 31.4.2.4 per emulsioni bituminose cationiche non modificate tipo C, C1 e C2, § 31.4.2.5 per emulsioni bituminose cationiche modificate tipo D1 e D2. Ai predetti limiti si applicano le tolleranze di seguito riportate:

- Punto di Rammollimento: variazione di 5 °C rispetto al limite inferiore e/o superiore.
- Penetrazione a 25°C: variazione di 5 mm rispetto al limite inferiore e/o superiore.

- Viscosità dinamica a 160 °C, $\dot{\gamma}$=100 s^{-1}: variazione di 0,1 Pa*s rispetto al limite inferiore e/o superiore.
- Ritorno elastico a 25 °C, 50 mm/min: variazione di 5 punti percentuali rispetto al limite inferiore e/o superiore.

La mancata rispondenza ad almeno una dei precedenti 4 requisiti può comportare l'applicazione della penale del prezzo dello strato corrispondente al campione contenente la partita di bitume non conforme di cui al § 31.10.2.4.

L'Appaltatore dovrà provvedere alla verifica topografica della sagoma e dello spessore di progetto della fondazione finita rispetto alle previsioni progettuali prima di procedere con la posa degli strati successivi. Il rilievo deve misurare una griglia di punti di misura aventi, in direzione longitudinale, un distanziamento massimo di 20 m. La griglia deve, inoltre, permettere la verifica delle pendenze di progetto. Eventuali carenze di quota localizzate, fino a 10 mm, possono essere compensate dallo spessore dello strato superiore senza oneri ulteriori, nel caso di quote superiori a quelle di progetto lo strato, ad insindacabile giudizio della DL, può essere rimosso e risagomato a cura e spese dell'Appaltatore. Il rilevo, ed ogni suo successivo aggiornamento, deve essere trasmesso al Direttore dei Lavori in formato dwg. La Direzione Lavori, in caso di dubbi sulla regolarità superficiale dello strato, può eseguire, ove ritiene opportuno, la verifica della regolarità a mezzo di un regolo di 4 m di lunghezza, disposto secondo due direzioni ortogonali o mediante altra metodologia approvata dalla DL. Sono ammessi scostamenti rispetto ai piani di progetto non superiori a 10 mm.
In aggiunta alle prove di cui sopra, al completamento della posa di tutti gli strati di pavimenazione, potranno essere effettuate, a cura della Committente, dei controlli con apparecchiature ad alto rendimento per la misura del Modulo Elastico dello o degli strati di supporto sopra descritti, con le modalità indicate al § 30.9.

30.6.7 Tolleranze di esecuzione e penali

Per la granulometria della miscela è ammessa una tolleranza con penale per fusi della miscela di ± 5% fino al passante al setaccio UNI con apertura 4 mm e di ± 2% per il passante al setaccio UNI 2 mm ed inferiori, purché non siano superati i limiti del fuso. Questa tolleranza è accettata solo se contenuta nel 10% del totale delle prove eseguite al termine dei lavori sulla singola WBS. La penale per il superamento dei fusi nei limiti indicati è pari al 10% dell'intera lavorazione da applicare alla superficie interessata dalla non conformità.
La quota della superficie finita della sagoma della fondazione non deve scostarsi dalla sagoma di Progetto di oltre ±10 mm. Lo spessore deve essere quello prescritto, con una tolleranza del ± 5% purché questa differenza si presenti solo saltuariamente. In caso contrario l'Appaltatore, a sua cura e spese, dovrà provvedere al raggiungimento dello spessore prescritto.
Per valori medi di portanza, densità, resistenza a compressione e trazione e contenuto di cemento inferiori al 10% rispetto ai valori di Progetto viene applicata una detrazione del 10% del prezzo. Per carenze comprese tra il 10 ed il 20% viene applicata una detrazione del 20% del prezzo, mentre per carenze superiori al 20%, il tratto considerato deve essere demolito e ricostruito.
Per la % di bitume, in caso di non conformità, a giudizio insindacabile della DL, può essere applicata una penale pari al 10% del costo del lotto sottoposto a prova. In caso in cui la non conformità sia tale da pregiudicare la funzionalità dell'opera, a giudizio insindacabile della DL, può essere richiesta la rimozione e ricostruzione a cura e spese dell'Impresa dello strato stesso.

30.7 Sottobase o base riciclata a freddo in impianto con emulsione bituminosa modificata e cemento

Lo strato di sottobase o base riciclato a freddo può essere prodotto in impianto fisso o mobile, installato anche nell'area di impiego, con emulsione bituminosa modificata e cemento. La miscela granulare è principalmente composta da aggregato RA processato e selezionato in impianto. La posa in opera avviene per mezzo di vibrofinitrice e costipazione con rulli in conformità con le presenti specifiche, con lo spessore e la sagoma indicate nel progetto. È possibile la correzione granulometrica con aggregati vergini di integrazione.

30.7.1 Criteri di accettazione dei materiali costituenti la miscela e della miscela stessa

In linea generale, i materiali di provenienza esterna dal cantiere o che l'Appaltatore approvvigionerà da terzi dovranno essere qualificati in conformità al Regolamento UE n°305/2011 sui prodotti da costruzione.

30.7.1.1 Aggregati

Il riciclaggio a freddo con cemento e legante bituminoso prevede prettamente il reimpiego di conglomerato bituminoso derivante dalla demolizione di pavimentazioni esistenti. In via preferenziale l'aggregato riciclato dovrà provenire da pavimentazioni autostradali della rete di ASPI.

In tutti i casi in cui il conglomerato bituminoso demolito (o fresato d'asfalto) venga inizialmente classificato come rifiuto, il suo riutilizzo potrà avvenire unicamente a valle della cessazione di tale qualifica ai sensi del DM 69/2018. Nelle condizioni in cui il fresato d'asfalto non dovesse essere classificato come rifiuto - ai sensi della normativa ambientale vigente - il suo reimpiego potrà comunque avvenire unicamente a valle di comprovata idoneità ambientale (e tecnica). Successivamente all'avvenuto recupero ambientale il materiale dovrà essere processato, vagliato e stoccato in cumuli come previsto al § 31.4.1.2 di questo Capitolato. Si precisa che il bitume presente nell'aggregato del conglomerato bituminoso recuperato è da considerare inattivo e pertanto non costituisce un legante. Unitamente alla componente minerale esso è invece da considerare come componente solida (o litica) della miscela.

Indipendentemente dalla provenienza e dalla percentuale di impiego, ogni fornitura di aggregati che l'Appaltatore approvvigiona da terzi dovrà essere corredata da marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA della UNI EN 13242 con sistema di attestazione di conformità 2+ inclusa di Dichiarazione di Prestazione (DoP). La certificazione CE e la DoP dovranno essere consegnati alla Direzione Lavori prima dell'inizio all'inizio dei lavori e ad ogni cambio di lotto di aggregato. Ad ogni modo, la Direzione Lavori ha la facoltà di richiedere tale documentazione in ogni fase delle lavorazioni.

Qualora l'Appaltatore utilizzi, in frazione unica o miscelati, aggregati non approvvigionati da terzi (es. da campagna di recupero da lui stesso condotta), la fornitura dovrà essere corredata da relazione tecnica comprensiva di certificati di laboratorio, redatta interamente ad onere dell'Appaltatore, nella quale venga attestato sia l'avvenuto recupero ambientale (ai sensi della normativa ambientale vigente) che la conformità tecnica rispetto a quanto previsto in questo articolo di Capitolato. Tale documentazione dovrà essere consegnata alla Direzione Lavori prima dell'inizio dei lavori e ad ogni cambio di lotto di aggregato. Ad ogni modo, la Direzione Lavori ha la facoltà di richiedere tale documentazione in ogni fase delle lavorazioni.

I requisiti di idoneità tecnica degli impiegati utilizzabili sono riportati al § 30.3.2.1 a cui bisogna aggiungere il requisito dell'indice di portanza CBR che dovrà essere ≥ 50 con rigonfiamento nullo dopo 96 ore di immersione.

Qualora dovesse verificarsi la necessità di effettuare delle correzioni granulometriche durante l'esecuzione dei lavori, il materiale da integrazione dovrà essere approvviginato e dosato considerando che il quantitaivo di materia RRS utilizzato nella miscela non dovrà essere inferiore a quanto previsto in progetto (§ 2.2.8 del DM CAM) e non potrà comunque mai andare sotto al 50% (§2.3.1 DM CAM).

30.7.1.2 Cemento

Per la qualifica e le proprietà del legante cementizio si rimanda ai contenuti del § 30.3.1.2 e del § 30.3.3.2.

30.7.1.3 Acqua

Per la qualifica e le proprietà dell'acqua si rimanda ai contenuti del § 30.3.3.3.

30.7.1.4 Legante bituminoso

L'emulsione bituminosa deve essere qualificata in conformità al Regolamento UE 305/2011 sui prodotti da costruzione. Ogni fornitura deve essere accompagnata dalla dichiarazione di prestazione attestante la conformità all'allegato ZA della rispettiva norma europea armonizzata (UNI EN 13808 per l'emulsione bituminosa).
Le caratteristiche del legante bituminoso sotto forma di schiuma di bitume o di emulsione bituminosa sono riportate rispettivamente nel §31.4.2.5 (legante "D2").

30.7.1.5 Miscela confezionata in impianto esterno all'area di cantiere

Ogni fornitura di miscela in ingresso al cantiere dovrà essere accompagnata da Documento di Trasporto corredato da rapporto di carico. Quest'ultimo dovrà essere compilato includendo i riferimenti ai materiali utilizzati (certificato CE o relazione tecnica, entrambi in corso di validità), al loro proporzionamento, e alle caratteristiche compositive attestanti la conformità all'ultima miscela prequalificata secondo quanto riportato in questo articolo di Capitolato.

30.7.1.6 Miscela confezionata in impianto interno all'area di cantiere

Indipendentemente da quanto previsto al § 30.6.1.1, ogni fornitura di aggregati di provenienza esterna al cantiere dovrà essere accompagnata da marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA della UNI EN 13242 con sistema di attestazione di conformità 2+ inclusa di Dichiarazione di Prestazione (DOP).

Nel caso in cui si intenda impiegare, in frazione unica o miscelati, aggregati provenienti dall'area interna al cantiere, il loro utilizzo sarà ammesso unicamente previa attestazione di conformità sia ambientale, ai sensi della normativa ambientale vigente, che tecnica, ai sensi di quanto previsto in questo articolo di Capitolato. Tale attestazione dovrà essere definita a mezzo di una relazione tecnica corredata da certificati di laboratorio redatta interamente ad onere dell'Appaltatore, che verrà consegnata alla Direzione Lavori in anticipo rispetto ai lavori che prevedono l'impiego di tali aggregati. In generale, il reimpiego di aggregati derivanti da lavorazioni condotte internamente al cantiere dovrà comunque essere gestito in progetto secondo quanto considerato nei piani di utilizzo e nel capitolato ambientale.

30.7.1.7 Controlli di accettazione materiali

L'Appaltatore dovrà sottoporre alla Direzione Lavori l'intera documentazione attestante le caratteristiche del materiale che intende utilizzare almeno 15 giorni prima dell'avvio dei lavori.
Durante i lavori, dovranno essere emessi nuovi certificati di prequalifica dei materiali costituenti la miscela e della miscela stessa ad ogni cambio di lotto di approvvigionamento o comunque secondo quanto previsto al § 30.7.6. Viene lasciata la facoltà alla Direzione Lavori di richiedere la modifica delle frequenze di campionamento e dei limiti di utilizzo oltre i quali ripetere la prequalifica dei materiali.
Qualora la Direzione Lavori accerti la non corrispondenza anche di una singola caratteristica richiesta, la DL stessa potrà non consentire l'impiego del materiale setto o potrà richiedere la predisposizione di correttivi, a cura e onere dell'Appaltatore, tali da rendere il materiale idoneo all'utilizzo.

30.7.2 Prequalifica e studio preliminare della miscela

I valori di qualifica della granulometria, del contenuto d'acqua, del dosaggio di legante bituminoso (sotto forma di bitume schiumato o emulsione bituminosa) e del dosaggio di legante cementizio (e delle eventuali aggiunte), sono stabiliti in base ad uno studio di laboratorio certificato.

30.7.2.1 Determinazione della granulometria

La miscela granulare da impiegare per il riciclaggio a freddo in impianto con emulsione bituminosa modificata e cemento può essere ottenuta adottando aggregato RA in frazione unica o mediante combinazione di più classi dimensionali. Per migliorare le caratteristiche fisico-meccaniche della miscela, oppure nel caso in cui l'aggregato RA a disposizione non permetta la produzione di una granulometria conforme al fuso riportato nella seguente tabella, è necessario prevedere un'integrazione con aggregati naturali.

Setacci [mm]	Passante in volume [%]
31,5	100-100
20	71-91
10	38-64
8	34-59
4	24-49
2	17-37
0,5	7-21
0,25	5-16
0.063	5-8

La granulometria di progetto "in volume" della miscela di aggregati deve ricadere nel fuso riportato nella precedente tabella. Si precisa che la distribuzione granulometrica in volume può essere ottenuta da quella in peso, tenendo conto della massa volumica delle frazioni granulometriche impiegate. Inoltre, poiché il bitume presente nell'aggregato RA è parte integrante dei granuli, si deve fare riferimento alla distribuzione granulometrica dell'aggregato RA ante estrazione ("curva nera").
Per consentire il controllo in fase di esecuzione del rispetto dei passanti in volume, lo studio di formulazione dovrà evidenziare, per ogni setaccio, sia la percentuale in volume che quella in peso.

30.7.2.2 Determinazione del contenuto di acqua

Sulla miscela di aggregati di progetto deve essere determinato il valore di progetto del contenuto di acqua riferito al peso degli aggregati asciutti e il corrispondente valore della massa volumica del secco. La procedura da seguire è illustrata nel seguito:

- la miscela granulare deve essere essiccata fino a massa costante e se ne deve determinare il contenuto d'acqua (UNI EN 1097-5). Vista la presenza di aggregato RA, la temperatura di essiccazione non dev'essere superiore a 50 °C;
- Dopo l'essiccazione, la miscela granulare deve essere suddivisa in almeno tre campioni mediante quartatura (UNI EN 932-2), e ciascun campione deve essere umidificato aggiungendo un diverso dosaggio d'acqua (ad esempio 3, 4 e 5% sul peso degli aggregati asciutti) e deve quindi essere mantenuto sigillato per almeno 12 ore al fine di permettere un'omogenea distribuzione dell'umidità;
- Subito prima della miscelazione a ciascun campione umidificato deve essere aggiunto il dosaggio atteso di legante cementizio (ad esempio 2% sul peso degli aggregati);
- Per ogni campione devono essere compattati almeno 3 provini utilizzando un compattare giratorio (UNI EN 12697-31). Il protocollo per la compattazione prevede l'utilizzo di una fustella non drenata di diametro 150 mm, una pressione di 600 ± 18 kPa, un angolo interno di rotazione di 1,16 ± 0,02°, una velocità di rotazione di 30 rpm, e numero di rotazioni pari a 100;
- La massa del campione da compattare dev'essere di 2800 ± 10 g e deve essere registrata prima dell'inizio della compattazione. Dopo la compattazione ciascun provino deve essere estratto dalla fustella e pesato per determinarne l'eventuale perdita rispetto al materiale inserito in fustella, normalmente riconducibile ad acqua espulsa durante la compattazione;
- Se la perdita media dei tre provini supera lo 0,3% del peso iniziale, il contenuto d'acqua è da ritenere eccessivo e deve quindi essere scartato;
- Il dosaggio d'acqua di progetto è il valore massimo tra quelli testati e per cui la perdita in peso media dei tre provini è inferiore allo 0,3%;
- Per tale valore deve essere determinata la massa volumica secca, utilizzando, per ciascun provino: il volume geometrico (determinato dell'altezza finale a 100 giri e del diametro della fustella), la massa umida e il contento d'acqua iniziali del provino.

30.7.2.3 Determinazione del dosaggio dei leganti

Per determinare il dosaggio di qualifica dei leganti devono essere prodotte in laboratorio almeno 4 miscele con diversi quantitativi di emulsione modificata e di legante cementizio. I dosaggi da investigare, riferiti al peso secco degli aggregati, dovranno essere:

- emulsione bituminosa modificata (paragrafo §31.4.2.5, legante "D2") compresa tra 4,0% e il 5,0%;
- cemento compreso tra 1,5% e 2,5%;
- inoltre, il dosaggio di bitume residuo dovrà essere maggiore o uguale al dosaggio di cemento.

Tutte le miscele dovranno avere il contenuto di acqua di progetto determinato nello studio di laboratorio al §30.7.2.3. Tale contenuto d'acqua deve risultare dalla somma dell'acqua contenuta nell'emulsione e di acqua aggiunta per umidificare gli aggregati. Per la miscelazione e la compattazione deve essere seguita la procedura descritta al §30.7.2.3, con le seguenti modifiche:

- per l'umidificazione iniziale del campione si deve utilizzare un dosaggio d'acqua ottenuto come differenza tra il contenuto di progetto e il dosaggio d'acqua apportato dall'emulsione;
- dopo l'aggiunta del cemento si effettua una prima miscelazione, si aggiunge quindi l'emulsione bituminosa modificata e quindi si effettua la miscelazione finale, prima di procedere alla compattazione.

Per ogni miscela riciclata devono essere confezionati 4 provini con compattatore giratorio secondo la procedura esposta al paragrafo §30.7.2.3. Per ciascun provino deve essere determinata la massa volumica secca, utilizzando: il volume geometrico (determinato dell'altezza finale a 100 giri e del diametro della fustella), la massa umida e il contento d'acqua iniziali del provino.
I provini devono essere maturati in stufa in condizione non sigillata a 40 °C per 72 ore, successivamente condizionati per almeno 4 ore in camera climatica a 25 °C e infine sottoposti a prova per la determinazione del modulo di rigidezza in configurazione di trazione indiretta (IT-CY) secondo la norma UNI EN 12697-26 (Appendice C). La deformazione orizzontale imposta deve essere pari a 5 ± 0.2 µm. A seguito della prova di modulo di rigidezza i provini devono risultare intatti. Gli stessi provini devono essere ulteriormente condizionati per almeno 1 ora a 25 °C e sottoposti a prova di resistenza a trazione indiretta (UNI EN 12697-23).
Ai fini della scelta della combinazione di progetto dei leganti, devono essere calcolati i valori medi delle grandezze misurate, che devono soddisfare i seguenti requisiti:

- Resistenza media a trazione indiretta a 25 °C, Rt,m ³ 0,45 MPa;
- Modulo di rigidezza medio a 25 °C, 3000 MPa £ Em £ 6000 MPa.

La miscela di qualifica è scelta tra quelle che soddisfano tali requisiti, privilegiando miscele con resistenza elevata e rigidezza contenuta.
Per calibrare il processo di posa in opera della miscela di progetto prodotta in impianto, la DL può richiedere la realizzazione di una stesa di prova in vera grandezza, a totale carico dell'Impresa. La stesa sarà realizzata in un tratto ritenuto dalla DL rappresentativo per la lavorazione da svolgere. La stesa deve avere lunghezza tale da consentire la stabilità di produzione in impianto e di realizzazione, nonché larghezza e profondità conformi al progetto. La compattazione deve essere eseguita immediatamente dopo la stesa prevedendo l'impiego di un rullo monocilindro vibrante da almeno 140 kN e un rullo gommato da almeno 180 kN.
La miscela prodotta in impianto deve essere campionata per permettere la verifica del contenuto di acqua, del contenuto di legante bituminoso, della massa volumica secca, del modulo di rigidezza e della resistenza a trazione indiretta secondo le stesse procedure sopraesposte.
Dopo la compattazione della stesa di prova devono essere eseguite 3 prove di massa volumica del secco con volumometro a sabbia (CNR B.U. n. 22). Ai fini della conferma della procedura di compattazione, tutti i valori di massa volumica del secco in sito devono essere maggiori del 95% della massa volumica del secco dei provini della miscela di progetto compattati in laboratorio.
Se la stesa di prova è eseguita all'interno del cantiere, nel caso in cui le prestazioni richieste non siano verificate, essa deve essere rimossa e la procedura rieseguita.

La Committente potrà altresì misurare il valore del modulo di elasticità E a mezzo di prove di deflessione dinamica con apparecchiatura ad alto rendimento Falling Weight Deflectometer (FWD) nelle modalità indicate al § 30.9, che dovrà risultare, dopo un periodo di tempo variabile tra il 90° e il 200° giorno dalla data di apertura al traffico, compreso tra 3.000 e 10.000 MPa, salvo eventuale diversa prestazione prescritta nei documenti progettuali.

Al termine della stesa di prova, l'Appaltatore deve predisporre una relazione che riporti:

- le caratteristiche degli aggregati di integrazione in riferimento al paragrafo §30.7.1.1;
- la composizione, la granulometria e il contenuto di bitume della miscela granulare di progetto in riferimento al paragrafo §30.7.2.2 e alla tabella ivi contenuta;
- le caratteristiche del legante cementizio in riferimento al paragrafo §30.7.1.2;
- le caratteristiche del legante bituminoso in riferimento al §31.4.2.5 (legante "D2");
- il dosaggio di legante cementizio, legante bituminoso e acqua della miscela di progetto in riferimento al presente paragrafo;

- la massa volumica del secco in laboratorio, la resistenza a trazione indiretta e il modulo di rigidezza della miscela di progetto in riferimento al presente paragrafo;
- la descrizione delle procedure operative in impianto (§30.7.3) e di stesa (§30.7.4) per la miscela di qualifica (funzionamento, velocità, calibrazioni, tempistiche, tipo di mezzi, numero di passate ecc.) compresa la documentazione fotografica;
- la marcatura CE e le Dichiarazioni di Prestazione (DoP) dei materiali e tutti i certificati emessi da un laboratorio autorizzato attestanti le procedure seguite e i risultati ottenuti.

30.7.3 Confezionamento delle miscele

La miscela riciclata a freddo in impianto con emulsione bituminosa modificata e cemento deve essere confezionata in impianti fissi o mobili, di idonee caratteristiche, mantenuti sempre perfettamente funzionanti in ogni loro parte. L'impianto deve permettere l'iniezione di emulsione bituminosa nel corretto dosaggio e il controllo delle temperature di impiego. Simultaneamente all'inserimento del legante bituminoso, l'impianto deve poter dosare con precisione il legante cementizio. L'impianto deve garantire uniformità di produzione ed essere in grado di realizzare miscele del tutto rispondenti a quelle di progetto indicate nella documentazione presentata per l'approvazione.
La zona destinata allo stoccaggio degli aggregati, incluso l'aggregato RA, deve essere preventivamente e convenientemente sistemata per evitare la presenza di sostanze argillose e ristagni di acqua che possono contaminare gli aggregati. I cumuli delle diverse pezzature di aggregato devono essere separati tra di loro per evitare la mescolanza tra aggregati differenti e si raccomanda che il cumulo dell'aggregato RA sia riparato dall'acqua piovana mediante specifiche coperture.
L'operazione di rifornimento attraverso i pre-dosatori delle tramogge deve essere eseguita con la massima cura per regolare il deflusso degli aggregati secondo le specifiche di progetto. Per ciascuna delle classi di aggregati impiegate dovrà essere utilizzato un predosatore dedicato.
Lo stoccaggio del cemento deve essere effettuato garantendo la protezione dall'umidità atmosferica e da impurità.

30.7.4 Controlli di accettazione della miscela

L'Appaltatore dovrà sottoporre all'accettazione della Direzione Lavori, almeno 15 giorni prima dell'inizio delle attività, una relazione contenente tutte le informazioni atte a dimostrare il rispetto dei requisiti di accettazione dei singoli materiali e della miscela. Nello specifico è richiesto che tale relazione sia conforme ai contenuti del paragrafo 30.7.2 e che richiami quanto previsto al § 30.7.1.
La mancata presentazione della documentazione preliminare comporta la non autorizzazione all'inizio dell'esecuzione dei lavori, né saranno accettate eventuali lavorazioni svolte prima dell'approvazione delle modalità esecutive.
I requisiti d'accettazione potranno inoltre essere accertati con ulteriori prove a cura della Direzione Lavori sia in fase di prequalifica presso il fornitore (controllo non vincolante per l'autorizzazione), sia in corso d'opera, prelevando il materiale in sito o ancora presso il fornitore, prima e dopo avere effettuato le lavorazioni.

30.7.5 Modalità esecutive

La miscela riciclata a freddo in impianto con emulsione bituminosa e cemento deve essere stesa sul piano finito dello strato sottostante dopo che sia stata accettata dalla DL la rispondenza di quest'ultimo ai requisiti di quota, sagoma e capacità portante prescritti. Prima di effettuare la stesa è necessario correggere ogni eventuale depressione o avvallamento riscontrati sul piano di posa.

La miscela deve essere stesa in strati di spessore non superiore a 25 cm mediante l'impiego di vibrofinitrici. Il tempo massimo intercorrente tra la miscelazione e l'inizio delle operazioni di compattazione non deve superare i 60 minuti o, comunque, essere compatibile con il tempo di inizio presa del legante idraulico utilizzato per non pregiudicare la lavorabilità della miscela.
È necessario proteggere la miscela durante il trasporto dall'impianto di produzione al luogo di impiego per evitare un'eccessiva perdita di umidità.
Il tempo intercorrente tra la stesa di due strisce affiancate non deve superare di norma le due ore per garantire la continuità della struttura. Particolari accorgimenti devono adottarsi nella formazione dei giunti longitudinali che andranno protetti con fogli di polietilene o materiale similare. Ogni giunto trasversale deve essere rettificato con il taglio (fresatura) dell'ultima parte dello strato precedentemente realizzato, in modo da ottenere una parete verticale.
La compattazione è eseguita immediatamente dopo la stesa con un rullo monocilindro vibrante da almeno 140 kN e un rullo gommato da almeno 180 kN. L'estradosso dello strato deve essere sagomato nel rispetto delle quote e delle pendenze di progetto.
Dopo 24 ore dalla realizzazione lo strato deve essere protetto con la spruzzatura di emulsione bituminosa cationica (§31.4.2.4, legante "C1") in ragione di 1 kg/m² di bitume residuo, successivamente saturata con lo spargimento di sabbia. Nel caso di traffico da cantiere o di condizioni meteo avverse, tale operazione deve essere svolta subito dopo la compattazione. A insindacabile giudizio della DL, la lavorazione può essere sospesa con temperatura dell'aria inferiore a 10 °C, superiore a 35 °C oppure in caso di pioggia.
Strati eventualmente compromessi dalle condizioni meteorologiche, dalla circolazione dei mezzi di cantiere o da altre cause devono essere rimossi e ricostituiti a totale cura e spese dell'Appaltatore.

30.7.6 Controlli in corso d'opera

Con frequenza ogni 500 m^3 o giornaliera verranno eseguiti, a cura della Direzione Lavori in contraddittorio e con l'assistenza dell'Appaltatore, i seguenti controlli:

- N. 1 prova di massa volumica del secco in sito con volumometro a sabbia (CNR B.U. n. 22) in cui la misura del contenuto d'acqua del materiale è effettuata utilizzando il metodo tradizionale (UNI EN 1097-05) o il metodo con forno a microonde (ASTM D4643) nel rispetto dei limiti di cui al § 30.7.2.4.
- In alternativa alla precedente prova di massa volumica del secco, N. 1 verifica dinamica di portanza effettuata mediante n. 20 battute LFWD da eseguire entro 24 ore dalla posa in opera su due allineamenti posti a 50 cm dal bordo della strisciata. La media E_{LFWD} di queste battute deve essere superiore a 100 MPa.
- N. 1 prova della distribuzione granulometrica degli aggregati secondo la UNI EN 933-1 nei limiti di cui al § 30.7.2.2. Il controllo della granulometria in sito e del contenuto naturale di acqua deve essere effettuato prelevando il materiale ottenuto dalla fresatura della pavimentazione esistente, eventualmente corretto con gli aggregati di integrazione, prima dell'aggiunta del legante cementizio. Solo nell'area destinata al prelievo, per simulare la granulometria finale, va seguita un passaggio aggiuntivo di fresa.
- N. 1 prova del contenuto di cemento secondo B.U. C.N.R. n. 29 nei limiti di cui al § 30.7.2.2
- N. 1 prova del contenuto di bitume secondo UNI EN 12697-1 o secondo la UNI EN 12697-39 opportunamente calibrata). Tale valore deve corrispondere alla somma del contenuto di bitume della miscela granulare prelevata prima dell'aggiunta dei leganti e del dosaggio di bitume aggiunto (schiumato o residuo dell'emulsione), con una tolleranza dello 0,6% (rispetto al peso degli aggregati).
- N. 1 prova per la determinazione del modulo di rigidezza in configurazione di trazione indiretta (IT-CY) secondo la norma UNI EN 12697-26 (Appendice C). I provini devono essere maturati in stufa in condizione non sigillata a 40°C per 72 ore, successivamente condizionati per almeno

4 ore 50 in camera climatica a 25 °C e infine sottoposti a prova. La deformazione orizzontale imposta deve essere pari a 5 ± 0.2 µm. I limiti di accettazione sono indicati al § 30.7.2.4.
- N. 1 prova per la determinazione della resistenza a trazione indiretta (UNI EN 12697-23). I limiti di accettazione sono indicati al § 30.7.2.4.

Con frequenza ogni 10.000 m^3 di strato finito compattato sono da verificare all'impianto le seguenti qualità degli aggregati di cui ai requisiti del § 30.7.1.1:
- N. 1 prova della granulometria, % di particelle frantumate, contenuto di fini aggregato grosso e fine, valutazione del fine equivalente in sabbia, valutazione del fine blu di metilene, indice di plasticità. Per gli eventuali aggregati riciclati: contenuto di frammenti di conglomerati cementizi, contenuto di vetro, contenuto di materiale galleggiante, contenuto di terreno vegetale, test di cessione per la conformità ai valori dell'Allegato n. 3 del D.M. 05/02/1998 per il materiale di origine riciclata.

Con frequenza ogni 20.000 m^3 di strato finito compattato sono da verificare all'impianto le seguenti qualità degli aggregati di cui ai requisiti del § 30.7.1.1:
- N. 1 prova del coefficiente di appiattimento, coefficiente di forma, resistenza alla frammentazione, resistenza all'usura, assorbimento d'acqua, solfato solubile in acido, zolfo totale, solfato idrosolubile, stabilità volumetrica, sensibilità al gelo.

Per quanto riguarda ***il legante bituminoso*** è' necessario eseguire un prelievo all'impianto per fornitore e prodotto al primo utilizzo e successivamente con cadenza bisettimanale, per la verifica delle caratteristiche approvate in qualifica nel rispetto dei limiti riportati nei § 31.4.2.2.2 per bitume tipo A, § 31.4.2.2.3 per bitume per schiumatura tipo A1, § 31.4.2.3 per bitume modificato hard con polimeri SBS tipo B, § 31.4.2.4 per emulsioni bituminose cationiche non modificate tipo C, C1 e C2, § 31.4.2.5 per emulsioni bituminose cationiche modificate tipo D1 e D2. Ai predetti limiti si applicano le tolleranze di seguito riportate:
- Punto di Rammollimento: variazione di 5 °C rispetto al limite inferiore e/o superiore.
- Penetrazione a 25°C: variazione di 5 mm rispetto al limite inferiore e/o superiore.
- Viscosità dinamica a 160 °C, $\dot{\gamma}$=100 s^{-1}: variazione di 0,1 Pa*s rispetto al limite inferiore e/o superiore.
- Ritorno elastico a 25 °C, 50 mm/min: variazione di 5 punti percentuali rispetto al limite inferiore e/o superiore.

La mancata rispondenza ad almeno una dei precedenti 4 requisiti può comportare l'applicazione della penale del prezzo dello strato corrispondente al campione contenente la partita di bitume non conforme di cui al § 31.10.2.4.

L'Appaltatore dovrà provvedere alla verifica topografica della sagoma e dello spessore di progetto della fondazione finita rispetto alle previsioni progettuali prima di procedere con la posa degli strati successivi. Il rilievo deve misurare una griglia di punti di misura aventi, in direzione longitudinale, un distanziamento massimo di 20 m. La griglia deve, inoltre, permettere la verifica delle pendenze di progetto. Eventuali carenze di quota localizzate, fino a 10 mm, possono essere compensate dallo spessore dello strato superiore senza oneri ulteriori, nel caso di quote superiori a quelle di progetto lo strato, ad insindacabile giudizio della DL, può essere rimosso e risagomato a cura e spese dell'Appaltatore. Il rilevo, ed ogni suo successivo aggiornamento, deve essere trasmesso al Direttore dei Lavori in formato dwg. La Direzione Lavori, in caso di dubbi sulla regolarità superficiale dello strato, può eseguire, ove ritiene opportuno, la verifica della regolarità a mezzo di un regolo di 4 m di

lunghezza, disposto secondo due direzioni ortogonali o mediante altra metodologia approvata dalla DL. Sono ammessi scostamenti rispetto ai piani di progetto non superiori a 10 mm.

In aggiunta alle prove di cui sopra, al completamento della posa di tutti gli strati di pavimenazione, potranno essere effettuate, a cura della Committente, dei controlli con apparecchiature ad alto rendimento per la misura del Modulo Elastico dello o degli strati di supporto sopra descritti, con le modalità indicate al § 30.9.

30.7.7 Tolleranze di esecuzione e penali

Per la granulometria della miscela è ammessa una tolleranza con penale per fusi della miscela di ± 5% fino al passante al setaccio UNI con apertura 4 mm e di ± 2% per il passante al setaccio UNI 2 mm ed inferiori, purché non siano superati i limiti del fuso. Questa tolleranza è accettata solo se contenuta nel 10% del totale delle prove eseguite al termine dei lavori sulla singola WBS. La penale per il superamento dei fusi nei limiti indicati è pari al 10% dell'intera lavorazione da applicare alla superficie interessata dalla non conformità.
La quota della superficie finita della sagoma della fondazione non deve scostarsi dalla sagoma di Progetto di oltre ±10 mm. Lo spessore deve essere quello prescritto, con una tolleranza del ± 5% purché questa differenza si presenti solo saltuariamente. In caso contrario l'Appaltatore, a sua cura e spese, dovrà provvedere al raggiungimento dello spessore prescritto.
Per valori medi di portanza, densità, resistenza a compressione e trazione e contenuto di cemento inferiori al 10% rispetto ai valori di Progetto viene applicata una detrazione del 10% del prezzo. Per carenze comprese tra il 10 ed il 20% viene applicata una detrazione del 20% del prezzo, mentre per carenze superiori al 20%, il tratto considerato deve essere demolito e ricostruito.
Per la % di bitume, in caso di non conformità, a giudizio insindacabile della DL, può essere applicata una penale pari al 10% del costo del lotto sottoposto a prova. In caso in cui la non conformità sia tale da pregiudicare la funzionalità dell'opera, a giudizio insindacabile della DL, può essere richiesta la rimozione e ricostruzione a cura e spese dell'Impresa dello strato stesso.

30.8 Miglioramento in sito di strati di fondazione non legati mediante bitume schiumato e cemento

Il miglioramento in sito dello strato di fondazione non legato con bitume schiumato e cemento viene realizzato mediante idonee attrezzature mobili (con miscelatore a volume variabile) che consentono di miscelare in sito la fondazione esistente (o materiale fresato) con aggiunta di bitume schiumato, cemento, acqua e, se necessario, aggregati vergini.
La miscela così ottenuta viene compattata per uno spessore massimo di 30 cm da intendersi come spessore finale della fondazione.
Il bitume schiumato è prodotto dalle reazioni fisico-chimiche del bitume mediante la polverizzazione delle sue molecole con acqua in pressione. Il processo si realizza all'interno di una particolare camera di espansione mediante il contatto con il bitume a circa 180 °C con acqua ad alta pressione. Macchine che non operano nel modo sopraddetto potranno essere allontanate dal cantiere a insindacabile giudizio del DL.

30.8.1 Criteri di accettazione dei materiali costituenti la miscela

30.8.1.1 Aggregati

La preesistente fondazione in misto granulare deve essere priva di frazioni plastiche (limi, argille). In presenza di tali frazioni dovrà essere eseguito un pretrattamento a calce. Qualora le limitazioni operative sconsigliassero l'esecuzione di detto trattamento, sarà inevitabile procedere alla

sostituzione del materiale compromesso utilizzando aggregati naturali (aggregato grosso, fine e filler).
Ogni fornitura di aggregati con provenienza esterna al cantiere, dovrà essere accompagnata dalla marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA della norma europea armonizzata UNI EN 13242 con sistema di attestazione di conformità 2+. Gli aggregati di fornitura esterna al cantiere dovranno soddisfare i requisiti riportati nelle tabelle di cui al § 30.3.1.1 con le seguenti indicazioni aggiuntive:

- Quantità di materiale frantumato (UNI EN 933-5) pari al 100%

30.8.1.2 Cemento
Per la qualifica e le proprietà del legante cementizio si rimanda ai contenuti del § 30.3.1.2.

30.8.1.3 Acqua
Per la qualifica e le proprietà dell'acqua si rimanda ai contenuti del § 30.3.1.3.

30.8.1.4 Calce
La calce aerea, idrata o viva, deve essere qualificata in conformità al Regolamento UE 305/2011 sui prodotti da costruzione. Ogni fornitura deve essere accompagnata dalla dichiarazione di prestazione attestante la conformità all'allegato ZA della norma europea armonizzata UNI EN 459-1. Le calci devono essere del tipo CL 90-S o CL 90-Q.

30.8.1.5 Bitume schiumato
Il bitume deve essere qualificato in conformità al Regolamento UE 305/2011 sui prodotti da costruzione.
Ogni fornitura deve essere accompagnata dalla dichiarazione di prestazione attestante la conformità all'allegato ZA della rispettiva norma europea armonizzata (UNI EN 12591).
Le caratteristiche del legante bituminoso sotto forma di schiuma di bitume sono riportate nel §31.4.2.2.3 (legante "A1").

30.8.2 Criteri di accettazione della miscela
30.8.2.1 Generalità e operazioni preliminari
La lavorazione viene eseguita sui materiali esistenti in sito e pertanto la progettazione viene sviluppata in corso d'opera, al fine di includere al suo interno le varie situazioni che si possono riscontrare in corso di esecuzione.
Prima dell'inizio delle lavorazioni, i parametri operativi vengono definiti sulla base dell'esame da parte della Direzione Lavori dei materiali presenti in situ per la definizione del PUNTO OPERATIVO e corretti in corso d'opera.

30.8.2.2 Determinazione della granulometria
Qualora le limitazioni operative sconsigliassero l'esecuzione di detto trattamento, sarà inevitabile procedere alla sostituzione del materiale compromesso. La granulometria dello strato da riciclare, valutata in volume, deve essere conforme al fuso riportato nella seguente tabella.
Si precisa che la distribuzione granulometrica in volume può essere ottenuta da quella in peso, tenendo conto della massa volumica delle frazioni granulometriche impiegate.

Setacci [mm]	Passante in volume [%]
40	100-100
31,5	85-100
20	70-95
10	50-80
4	30-55
2	20-40
0,5	10-20
0,25	7-15
0.063	5-10

30.8.2.3 Caratteristiche attese della miscela dopo la schiumatura

Dopo le operazioni indicate al successivo § 30.8.4, si devono ottenere le seguenti caratteristiche della miscela da valutare a mezzo di provini preparati in laboratorio (con materiale prelevato in situ, non compattato) che devono essere confezionati utilizzando il metodo volumetrico (pressa giratoria) con le seguenti condizioni di prova:

CONDIZIONI DI PROVA

Angolo di rotazione :	1,25° ± 0,02°
Velocità di rotazione :	30 rotazioni al minuto
Pressione verticale, kPa:	600
Diametro provino, mm:	150
n° giri :	180
Massa campione, g:	4500 comprensivo di bitume, cemento e acqua

I provini confezionati mediante metodo volumetrico devono essere maturati a 40 °C per 72 h e successivamente sottoposti a prova di resistenza a trazione indiretta dopo termostatazione per 4 ore in forno a 25°C (UNI EN 12697-23).

La miscela dovrà rispondere ai seguenti requisiti:

- Resistenza a trazione indiretta ITS a 72 ore di maturazione: > 0,4 MPa
- Coefficiente di trazione indiretta CTI a 72 ore di maturazione: > 50 MPa

Tali valori di Resistenza a trazione, insieme al Coefficiente di trazione indiretta, si riferiscono al materiale confezionato in laboratorio con pressa giratoria e maturato in modo "controllato". Tali valori potranno diminuire, a seguito di immersione in acqua per simulare il confezionamento e la maturazione in sito, fino al 50% del valore minimo sopra dichiarato (può essere fatta una verifica di laboratorio su campioni maturati per 72 ore a 40°C, e successivamente lasciati in imbibizione per 1 ora a 25°C.); pertanto i valori minimi di ITS e CTI riferiti al materiale confezionato e maturato in sito saranno rispettivamente pari a:

- ITS = 0,2 MPa
- CTI = 25 MPa

Per verifiche effettuate tramite prova di trazione indiretta su campioni prelevati in situ mediante carotaggio, si dovrà applicare ai valori di riferimento di cui sopra un coefficiente di riduzione pari a 0,85 per tenere conto del disturbo arrecato al campione dall'operazione di prelievo.

Deve altresì essere determinata la densità geometrica secca a 180 giri, quale riferimento per il grado di addensamento.

Occorre inoltre che la portanza dello strato a schiumatura terminata, misurato con il rilievo della media dei valori E_{LFWD} eseguito con Light Falling Weight Deflectometer PORTATILE (Dynatest 3031 LFWD) secondo le modalità di cui al successivo § 30.8.5.2.1, dev'essere superiore a 100 MPa dopo almeno 3 ore di maturazione.

La Committente potrà altresì misurare il valore del modulo di elasticità E a mezzo di prove di deflessione dinamica con apparecchiatura ad alto rendimento Falling Weight Deflectometer (FWD) nelle modalità indicate al § 30.9, che dovrà risultare, dopo un periodo di tempo variabile tra il 90° e il 200° giorno dalla data di apertura al traffico, compreso tra 2.000 e 8.000 MPa, salvo eventuale diversa prestazione prescritta nei documenti progettuali.

30.8.3 Documenti di prequalifica

L'Appaltatore dovrà sottoporre all'accettazione della Direzione Lavori, almeno 15 giorni prima dell'inizio delle attività, una relazione contenente tutte le informazioni atte a dimostrare il rispetto dei requisiti di accettazione dei singoli materiali e della miscela e nello specifico:

- le caratteristiche degli aggregati di integrazione in riferimento al paragrafo §30.8.1.1;
- le caratteristiche del legante cementizio in riferimento al paragrafo §30.8.1.2 e della calce §30.8.1.4;
- le caratteristiche del legante bituminoso in riferimento al §31.4.2.2.3 (legante "A1");
- la descrizione delle procedure operative di stesa (§30.8.4) (funzionamento, velocità, calibrazioni, tempistiche, tipo di mezzi, numero di passate ecc.) compresa la documentazione fotografica;
- la marcatura CE e le Dichiarazioni di Prestazione (DoP) dei materiali e tutti i certificati emessi da un laboratorio autorizzato attestanti le procedure seguite e i risultati ottenuti.

La mancata presentazione della documentazione preliminare comporta la non autorizzazione all'inizio dell'esecuzione dei lavori, né saranno accettate eventuali lavorazioni svolte prima dell'approvazione delle modalità esecutive.
I requisiti d'accettazione potranno inoltre essere accertati con ulteriori prove a cura della Direzione Lavori sia in fase di prequalifica presso il fornitore (controllo non vincolante per l'autorizzazione), sia in corso d'opera, prelevando il materiale in sito o ancora presso il fornitore, prima e dopo avere effettuato le lavorazioni.

30.8.4 Modalità esecutive

30.8.4.1 Scelta del punto operativo

Il PUNTO OPERATIVO effettivo delle lavorazioni, dipendente da quello che risulta essere il materiale da riciclare in sito, viene determinato, nell'ambito dei range sopra descritti, attraverso una procedura di controlli da eseguirsi, da parte dell'Appaltatore, prima e durante le operazioni di schiumatura.
Tale procedura verrà curata in sito da un tecnico dell'Appaltatore definito "Responsabile della Qualità dello Schiumato" (RQS). Tutti i dati risultanti dai controlli eseguiti dovranno essere annotati a cura del RQS sulle apposite schede fornite:

- una Scheda di Rilevamento Dati riassuntiva in cui dovranno essere annotati tutti i dati raccolti e che a conclusione;
- una Scheda di Intervento in cui dovranno essere trascritti tutti i dati che riguardano il PUNTO OPERATIVO (passante al setaccio 10 mm, passante al setaccio 2 mm, tipo di integrazione, umidità naturale, umidità totale e % di cemento.

Di seguito sono descritti i controlli che l'RQS provvederà ad effettuare ed organizzare ai fini della determinazione del PUNTO OPERATIVO. Tutti gli adattamenti conseguenti ai controlli e attuati in base alla procedura seguente, dovranno essere sottoposti, durante le fasi lavorative, al DL per approvazione.

30.8.4.2 Controlli ad inizio lavori per la scelta del punto operativo

Al fine di effettuare i controlli sottoelencati verrà prelevato un campione del materiale esistente riferito a tutto lo spessore dello strato interessato; pertanto, bisognerà prestare particolare attenzione durante la fase di prelievo e successiva quartatura (UNI EN 932-1):

- Controllo della GRANULOMETRIA del misto granulare in sito da effettuarsi prima dell'inizio della schiumatura.

Il controllo avverrà inizialmente prelevando del materiale sul fondo dei primi metri di cassonetto aperto (prima che le frese si allontanino) in modo da definire l'esigenza di eventuali integrazioni che comportano un diverso approfondimento della fresatura. L'analisi granulometrica verrà effettuata determinando le percentuali di passante ricavate mediante l'impiego di due setacci con apertura della maglia di 10 mm e di 2 mm, in quanto rappresentativi del contenuto di frazione grossa e fine. Tali percentuali verranno utilizzate per la valutazione delle correzioni da apportare secondo il seguente schema:

% passante setaccio 10	% passante setaccio 2	integrazione
> 65%	> 25%	5 cm di spessore inerte 10-40
≤ 65%	≤ 25%	2 cm di spessore sabbia (frantumata di cava)
Casi intermedi		nessuna integrazione

Qualora i valori percentuali di passante per essi determinati, anche dopo l'aggiunta analitica del materiale di integrazione, non dovessero essere ricompresi nei limiti del fuso di cui al paragrafo §30.8.2.2 si dovrà interrompere la lavorazione ed interpellare il DL che definirà le opportune azioni da intraprendere.

- Controllo della UMIDITÀ (UNI EN 1097-5) dello strato di fondazione da trattare, da effettuarsi prima dell'inizio delle operazioni di schiumatura.
  Il valore ottimale dell'umidità totale (umidità naturale + eventuale aggiunta) deve essere circa pari al 6% (a cui corrisponde una percentuale di cemento del 3% ed una percentuale di bitume del 4%). Nel caso in cui con tale controllo si riscontri una % di umidità naturale inferiore si dovrà provvedere ad impostare sulla macchina di schiumatura una integrazione di acqua. Nel caso in cui l'umidità naturale sia uguale o superiore al 6%, non verrà impostata aggiunta di acqua sulla schiumatrice e dovrà essere effettuato un pretrattamento a calce (preferibilmente calce viva).
  Nel caso di eccessiva umidità naturale (oltre il 10%):
  - se dovuta a precipitazioni meteoriche abbondanti, si dovrà interrompere la lavorazione in attesa che la fondazione si asciughi.
  - se dovuta a diversa motivazione si dovrà interrompere la lavorazione e si dovrà interpellare la DL per definire le opportune azioni da intraprendere.

In ogni caso, a suo insindacabile giudizio la DL, dopo aver concluso le operazioni di demolizione della lastra/neri e di pulizia e regolarizzazione del cavo, potrà eventualmente disporre l'esecuzione di tutti gli accertamenti ritenuti necessari sul materiale in opera. Nel caso la DL ritenga che tale materiale non sia idoneo alla lavorazione, si dovrà procedere alla bonifica della fondazione con materiale granulometricamente idoneo e, solo a bonifica avvenuta, si potrà procedere alle operazioni di schiumatura.

30.8.4.3 Controlli in corso d'opera per la scelta del punto operativo

Al fine di effettuare i controlli sottoelencati verrà prelevato un campione riferito a tutto lo spessore dello strato interessato; pertanto, bisognerà prestare particolare attenzione durante la fase di rilievo e successiva quartatura (UNI EN 932-1):

- Controllo della UMIDITÀ (UNI EN 1097-5) dello strato di fondazione da trattare, da effettuarsi ogni 500 m di produzione. Nel caso in cui l'umidità naturale sia uguale o superiore al 6% dovrà essere effettuato un pretrattamento a calce (preferibilmente calce viva). Nel caso di eccessiva umidità naturale (oltre il 10%), riconducibile quindi ad eventi non previsti in sede di progettazione di base:
    - se dovuta a precipitazioni meteoriche abbondanti, si dovrà interrompere la lavorazione in attesa che la fondazione si asciughi.
    - se dovuta a diversa motivazione si dovrà interrompere la lavorazione e si dovrà interpellare la DL per definire le opportune azioni da intraprendere.

Qualora il fermo della lavorazione non fosse attuabile per esigenze legate all'Esercizio, l'avanzamento delle stesse dovrà essere esplicitamente ordinato dalla DL, debitamente informata dall'RQS della situazione riscontrata.

- Controllo della GRANULOMETRIA, il controllo in corso d'opera avverrà ogni 1000 m di produzione od ogni qualvolta sia visibile (a giudizio dell'RQS) una modifica evidente delle caratteristiche granulometriche.
  L'analisi granulometrica verrà effettuata utilizzando la stessa metodologia precedentemente descritta e determinando le percentuali di passante ricavate mediante l'impiego di due setacci con apertura della maglia di 10 mm e di 2 mm, in quanto rappresentativi del contenuto di frazione grossa e fine. Tali percentuali verranno utilizzate per la valutazione delle correzioni da apportare secondo il seguente schema:

% passante setaccio 10	% passante setaccio 2	integrazione
> 65%	> 25%	5 cm di spessore inerte 10-40
≤ 65%	≤ 25%	2 cm di spessore sabbia (frantumata di cava)
Casi intermedi		nessuna integrazione

Qualora i valori percentuali di passante per essi determinati, anche dopo l'aggiunta analitica del materiale di integrazione, dovessero non essere ricompresi nei limiti del fuso di cui al paragrafo §30.8.2.2 si dovrà procedere come indicato al paragrafo §30.8.4.2.

30.8.4.4 Posa dello schiumato

La lavorazione in opera della miscela deve essere effettuata, se possibile con una sola passata (con macchine a tutta larghezza), mediante sistemi che consentano di ottenere uno strato perfettamente sagomato, privo di sgranamenti, fessurazioni ed esente da difetti dovuti alla segregazione degli

elementi litoidi più grossi; nel caso di uso di miscelatrici più strette della larghezza da trattare, si dovrà operare in due o più passate, curando una sovrapposizione (per qualche decina di centimetri) delle strisciate contigue.
La miscela appena trattata deve essere immediatamente compattata mediante un rullo metallico vibrante mono tamburo con peso statico di almeno 20 t e un rullo gommato di almeno 18 t, operante direttamente a tergo del treno di schiumatura. Il rullo gommato lavora senza interruzioni su tutta la tratta.
Le operazioni di messa in opera e la dimensione della sezione da trattare dovranno tenere in considerazione la capacità dell'autobotte di bitume ottimizzando le tempistiche delle lavorazioni evitando tempi di attesa e residui di produzione.
Al termine del costipamento e di rifinitura, sui bordi e sulle pareti verticali del cassonetto, deve essere eseguita la spruzzatura di un velo protettivo di emulsione bituminosa cationica (§31.4.2.4, legante "C1") in ragione di 0.5 ÷ 1.5 kg/m².
Con temperatura dell'aria inferiore ai 5°C la lavorazione della miscela deve essere sospesa e comunque sempre in caso di pioggia.
La lavorazione consente dopo compattazione una immediata apertura al traffico di cantiere ed in caso di emergenza, per brevissimo tempo sotto stretto controllo, anche al traffico normale.

30.8.5 Controlli in corso d'opera

30.8.5.1 Controlli a carico dell'Appaltatore

L'Appaltatore è tenuto a documentare in apposito report l'esito delle seguenti verifiche da trasmettere alla Direzione Lavori:

- Controllo della qualità del bitume all'arrivo di ogni nuova cisterna con lettura delle bolle di consegna e verifica sull'utilizzo dei soli bitumi schiumati qualificati.
- Controllo della temperatura di impiego del bitume (deve essere compresa tra 165°C e 190°C) da effettuare al pannello del computer di controllo sulla macchina di schiumatura all'arrivo di ogni nuova cisterna dopo il riscaldamento dei condotti di adduzione del bitume agli ugelli di spruzzaggio o altrimenti misurando la temperatura del bitume agli sfiati superiori delle cisterne con pistola all'infrarosso;
- Controllo della % di bitume il cui valore di impiego è pari al 4 %, da controllare al pannello del computer di controllo della schiumatrice: all'inizio e ad ogni ripresa dei lavori ed all'inizio di ogni nuova fornitura;
- Controllo della % di acqua di schiumatura che deve corrispondere a quella prescritta (vedi tabella bitumi schiumati qualificati – sensibilità dei diversi prodotti a tale parametro) da controllare al pannello del computer di controllo della schiumatrice: all'inizio e ad ogni ripresa dei lavori;
- Controllo della % di cemento da controllare davanti alla schiumatrice (ad es. utilizzando una piastra da 1-0,5 mq da mettere a terra davanti la spandi-cemento) effettuando: n.2 controlli ogni giorno di lavorazione e comunque ad ogni variazione di % impostata;
- Controllo della compattazione con verifica della presenza dei mezzi raccomandati: rullo vibrante mono tamburo con peso statico di almeno 20 t e un rullo gommato di almeno 18 t. I tratti in cui al passaggio del rullo la fondazione presenti un comportamento visivamente instabile, oppure si osservi una risalita di umidità in superficie durante la rullatura dello schiumato (confermata dal controllo di umidità totale raggiunta), dovranno essere immediatamente segnalati al DL per la definizione di soluzioni progettuali alternative. Per esigenze legate all'Esercizio (nel caso di data prevista di riapertura al traffico del tratto da rispettare tassativamente), potranno essere adottate soluzioni di emergenza diverse da

quelle ottimali, tali soluzioni saranno decise dal DL per tutti gli aspetti tecnici (solitamente si prevede la bonifica degli strati di fondazione interessati con materiale vergine).

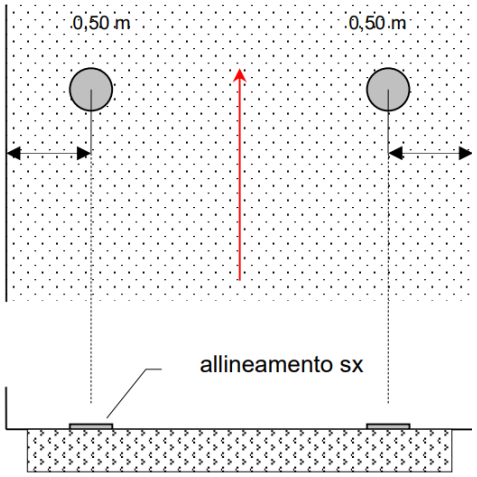
- Controllo dello spessore del cavo risultante dopo la compattazione, con verifica del rispetto della quota prevista dal progetto per il piano di stesa della base in conglomerato ai due lati del cavo e della planarità del piano stesso: ogni 200 m di produzione;

L'Appaltatore dovrà provvedere inoltre alla verifica topografica della sagoma finita e dello spessore di progetto della fondazione finita rispetto alle previsioni progettuali prima di procedere con la posa degli strati successivi. Il rilievo deve misurare una griglia di punti di misura aventi, in direzione longitudinale, un distanziamento massimo di 20 m. La griglia deve, inoltre, permettere la verifica delle pendenze di progetto. Eventuali carenze di quota localizzate, fino a 10 mm, possono essere compensate dallo spessore dello strato superiore senza oneri ulteriori, nel caso di quote superiori a quelle di progetto lo strato, ad insindacabile giudizio della DL, può essere rimosso e risagomato a cura e spese dell'Appaltatore. Il rilevo, ed ogni suo successivo aggiornamento, deve essere trasmesso al Direttore dei Lavori in formato dwg. La Direzione Lavori, in caso di dubbi sulla regolarità superficiale dello strato, può eseguire, ove ritiene opportuno, la verifica della regolarità a mezzo di un regolo di 4 m di lunghezza, disposto secondo due direzioni ortogonali o mediante altra metodologia approvata dalla DL. Sono ammessi scostamenti rispetto ai piani di progetto non superiori a 10 mm.

30.8.5.2 Controlli a carico della Direzione Lavori

30.8.5.2.1 Controlli di portanza a schiumatura terminata

Il controllo puntuale della portanza sulla fondazione schiumata con il rilievo del modulo elastico eseguito con Light Falling Weight Deflectometer PORTATILE (Dynatest 3031 LFWD) che deve essere eseguito con un passo di almeno 20 m di intervento su due allineamenti destra e sinistra posti a 50 cm dal bordo del cavo a 24 h di maturazione (vedi figura sotto).



Come detto, la schiumatura è un'operazione che prevede il riciclaggio completo dello strato trovato in situ, di conseguenza, pur in presenza di una progettazione di base con range ampi di applicabilità e correzioni frequenti del PUNTO OPERATIVO, residuano possibilità di zone singolari.
L'RQS dovrà effettuare delle prove attraverso LFWD per intercettare eventuali casi specifici. Tali prove dovranno essere effettuate in un intervallo di tempo compreso tra 3 e 12 ore dall'operazione di compattazione dopo schiumatura e fino a tale momento non dovrà essere dato corso alle operazioni successive.

La soglia minima di accettabilità della lavorazione è pari al valore indicato al § 30.8.2.3 dopo almeno 3 ore di maturazione. Nel caso in cui i valori misurati risultino inferiori a detto minimo di riferimento, il RQS dovrà comunicarlo immediatamente al DL.
Il DL deciderà le eventuali operazioni di bonifica da eseguire anche in relazione alle esigenze legate all'Esercizio. L'RQS dovrà espressamente prendere nota di quanto avvenuto sulla scheda. L'RQS è altresì chiamato all'esecuzione di un altro set di misurazioni.
È indispensabile che, insieme alle prove LFWD, venga accuratamente registrato l'esatto tempo di maturazione della fondazione schiumata testata e comunque tutti i dati richiesti come da procedura precedentemente descritta.

30.8.5.2.2 Controlli dei parametri ITS e CTI

Per il controllo delle lavorazioni saranno anche effettuati n. 4 carotaggi distribuiti lungo un tratto elementare di lunghezza pari a 500 m (o pari alla lunghezza dell'intervento investigato se inferiore), per i quali dovrà essere seguita la seguente procedura:

- Carotaggio effettuato in 2 fasi: nella prima fase si procede con l'estrazione dei soli strati di conglomerato bituminoso sovrastanti lo strato stabilizzato con bitume schiumato; nella seconda fase si effettua il carotaggio del solo strato in bitume schiumato.
- Dovranno essere utilizzate esclusivamente carotatrici elettriche, con potenza di targa non inferiore a 2.8 kW e sistema di stabilizzazione idoneo ad evitare eccessive vibrazioni e/o difficile reinserimento della corona nel cavo di carotaggio dopo l'estrazione del prodotto di prima fase.
- Le corone dovranno essere nuove o con diamantatura in piena efficienza e con dentatura per conglomerati bituminosi.
- Il diametro minimo della corona dovrà essere di 150 mm e la stessa sarà accoppiata allo stelo di trasmissione attraverso un sistema attraverso il quale sia possibile, per estrarre la carota, rimuovere il fondo della corona su cui è situato lo stelo di trasmissione.
- Tale caratteristica permette di spingere il campione fuori dal tubo senza danneggiarlo, deve essere assolutamente evitata l'estrazione del campione mediante "battitura" sulle pareti laterali della corona che può facilmente provocare la disgregazione del campione stesso impedendone la corretta "valutazione" e misurazione.
- I carotaggi dovranno essere effettuati ad almeno 1 m di distanza dalla linea bianca continua di margine destro, ciò per evitare di introdurre degli indebolimenti localizzati della struttura in corrispondenza della wheelpath destra dove transitano le ruote dei mezzi pesanti.
- I carotaggi dovranno essere effettuati dopo almeno 90 gg di maturazione dello strato.

Per quanto attiene ai risultati delle operazioni di carotaggio, valgono le seguenti prescrizioni:

- Si assume che, trascorso il tempo di 90 giorni, le carote debbano essere estratte mantenendo nello strato di fondazione schiumata un ragionevole stato di coerenza. E' ammesso che la porzione terminale di tale strato non si distacchi in modo netto dal sottostante, dal momento che la lavorazione di schiumatura non viene effettuata su un appoggio liscio e piano, ed è quindi plausibile lo stabilirsi di una interfaccia incoerente all'interfase. Se si verifica questa ipotesi, la misurazione degli spessori dei vari strati sarà effettuata nel cavo di carotaggio.
- Qualora l'operazione di carotaggio dia ripetuti esiti negativi, il DL prima di definire come non accettabile la lavorazione, potrà (visti i dati relativi alla determinazione del PUNTO OPERATIVO e gli eventuali test effettuati con HWD) richiedere l'ulteriore prova a maglie infittite di portanza con HWD e/o l'effettuazione di carotaggi con corona da 200 mm.

Questo per valutare, a suo giudizio e responsabilità, se la mancata estrazione delle carote può essere dovuta a presenza di aggregati di dimensioni tali da rendere l'estrazione della carota con corona di diametro standard 150 mm difficoltosa a causa delle azioni tangenziali trasmesse dalla stessa allo strato di fondazione.

- Le carote estratte saranno sottoposte a prove di trazione indiretta in laboratorio (se eseguibile) che dovranno rispettare i limiti di seguito elencati per i parametri ITS e CTI (UNI EN 12697-23):
  - ITS = 0,85*0,2 = 0,17 MPa
  - CTI = 0,85*25 = 21 MPa

30.8.5.2.3 Altri controlli

Con frequenza ogni 10.000 m^3 di strato finito compattato sono da verificare all'impianto le seguenti qualità degli aggregati di cui ai requisiti del § 30.8.1.1:

- N. 1 prova della granulometria, % di particelle frantumate, contenuto di fini aggregato grosso e fine, valutazione del fine equivalente in sabbia, valutazione del fine blu di metilene, indice di plasticità. Per gli eventuali aggregati riciclati: contenuto di frammenti di conglomerati cementizi, contenuto di vetro, contenuto di materiale galleggiante, contenuto di terreno vegetale, test di cessione per la conformità ai valori dell'Allegato n. 3 del D.M. 05/02/1998 per il materiale di origine riciclata.

Con frequenza ogni 20.000 m^3 di strato finito compattato sono da verificare all'impianto le seguenti qualità degli aggregati di cui ai requisiti del § 30.8.1.1:

- N. 1 prova del coefficiente di appiattimento, coefficiente di forma, resistenza alla frammentazione, resistenza all'usura, assorbimento d'acqua, solfato solubile in acido, zolfo totale, solfato idrosolubile, stabilità volumetrica, sensibilità al gelo.

Per quanto riguarda ***il legante bituminoso*** è' necessario eseguire un prelievo all'impianto per fornitore e prodotto al primo utilizzo e successivamente con cadenza bisettimanale, per la verifica delle caratteristiche approvate in qualifica nel rispetto dei limiti riportati nei § 31.4.2.2.2 per bitume tipo A, § 31.4.2.2.3 per bitume per schiumatura tipo A1, § 31.4.2.3 per bitume modificato hard con polimeri SBS tipo B, § 31.4.2.4 per emulsioni bituminose cationiche non modificate tipo C, C1 e C2, § 31.4.2.5 per emulsioni bituminose cationiche modificate tipo D1 e D2. Ai predetti limiti si applicano le tolleranze di seguito riportate:

- Punto di Rammollimento: variazione di 5 °C rispetto al limite inferiore e/o superiore.
- Penetrazione a 25°C: variazione di 5 mm rispetto al limite inferiore e/o superiore.
- Viscosità dinamica a 160 °C, $\dot{\gamma}$=100 s^{-1}: variazione di 0,1 Pa*s rispetto al limite inferiore e/o superiore.
- Ritorno elastico a 25 °C, 50 mm/min: variazione di 5 punti percentuali rispetto al limite inferiore e/o superiore.

La mancata rispondenza ad almeno una dei precedenti 4 requisiti può comportare l'applicazione della penale del prezzo dello strato corrispondente al campione contenente la partita di bitume non conforme di cui al § 31.10.2.4.

In aggiunta alle prove di cui sopra, al completamento della posa di tutti gli strati di pavimenazione, potranno essere effettuate, a cura della Committente, dei controlli con apparecchiature ad alto rendimento per la misura del Modulo Elastico dello o degli strati di supporto sopra descritti, con le modalità indicate al § 30.9.

30.9 Controlli con apparecchiature ad alto rendimento sulla pavimentazione finita e penali

Qualora previsto a progetto, richiesto dalla Committente o dalla Direzione Lavori, il controllo della qualità della pavimentazione finita viene eseguito con apparecchiature ad alto rendimento attraverso la verifica della portanza, nel rispetto dei limiti di cui al § 30.3.3, § 30.3.4, §30.3.5, § 30.3.6, §30.3.7 e §30.3.8.

30.9.1 Portanza

Le prove di deflessione dinamica con apparecchiatura Falling Weight Deflectometer (FWD) sono effettuate sulla pavimentazione finita nel caso di nuovi interventi e lavori di risanamento profondo che prevedano il rinnovo dell'intero pacchetto legato a bitume e sottobase legata, I risultati di tali prove devono essere conformi ai § 30.3.2, §30.4.2.4, §30.5.2.4, §30.6.2.4, §30.7.2.4, §30.8.2.3 e riepilogati al successivo § 30.9.2 .

Per quanto riguarda le caratteristiche strutturali degli strati in conglomerato bituminoso messi in opera, il parametro di riferimento è il modulo elastico che viene ricavato interpretando una serie di misure di deflessione dinamica eseguite dal Centro Rilevamento Dati e Prove Materiali o da Laboratori terzi scelti dalla DL.

Per l'interpretazione delle misure di deflessione è necessario conoscere gli spessori degli strati della pavimentazione. La valutazione di tali spessori avviene tramite il rilievo in continuo della stratigrafia della pavimentazione eseguito mediante un'apparecchiatura radar ad alto rendimento eventualmente integrato da una serie di carotaggi pianificata dalla Committente, da eseguirsi in numero sufficiente a correlare il segnale rilevato con gli effettivi spessori. Le prove di deflessione dinamica devono essere eseguite sulla superficie finita della pavimentazione in un periodo di tempo variabile fra il 3° ed il 90° giorno dalla data di apertura al traffico.

Le prove di deflessione dinamica per il calcolo del modulo elastico sono interpretate mediante un idoneo programma di calcolo di Back-Analysis. Il valore ottenuto per gli strati legati a bitume deve essere riportato ad una temperatura di riferimento del conglomerato bituminoso pari a 20 °C.

Le prove dinamiche tipo FWD non devono essere eseguite nel caso di temperature superficiali della pavimentazione superiori a 30 °C, evitando nelle giornate calde (periodo primaverile ed estivo) le ore comprese tra le 10.00 ed il tramonto.

Le misure del bacino di deflessione con apparecchiatura FWD vengono effettuate sulla corsia interessata dal rilievo, con un passo minimo di 50 m per avere a disposizione un campione di dati statisticamente significativo. Eccezionalmente, per motivi operativi o di interferenza con il traffico, l'intervallo tra le prove può essere esteso fino ad un massimo di 100 m.

Per la valutazione delle caratteristiche strutturali si deve fare riferimento al valore medio del modulo espresso in MPa, ricavato dai moduli risultanti dalle misure puntuali di FWD, relativo a ciascuna tratta omogenea in cui è possibile suddividere l'intera lunghezza di stesa.

Per tratte omogenee si intendono quei tratti di pavimentazione nei quali ricadono almeno 4 punti di misura e nei quali i valori dei moduli elastici sono distribuiti statisticamente secondo una distribuzione "normale". Le tratte omogenee sono individuate da idoneo programma di calcolo.

Nel caso di nuovi interventi e lavori di risanamento profondo che prevedano il rinnovo dell'intero pacchetto legato a bitume e della sottobase legata, è possibile prevedere in aggiunta alle misure FWD anche l'esecuzione di prove di deflessione dinamica con apparecchiatura Traffic Speed Deflectometer (TSD).

Il rilievo con il TSD deve essere svolto sulla superficie finita della pavimentazione in un periodo di tempo variabile fra il 3° ed il 90° giorno dalla data di apertura al traffico. Il rilievo deve avvenire nelle prime ore del mattino, e comunque non oltre le ore 11:00. Sono da considerare validi solo i bacini di deflessione ottenuti con temperatura superficiale della pavimentazione inferiore a 30 °C.

I bacini di deflessione ottenuti con il TSD devono essere restituiti con un passo non inferiore a 10 m ed interpretati mediante un idoneo programma di calcolo di Back-Analysis. Poiché i bacini di deflessione misurati dal TSD sono diversi da quelli misurati dal FWD a causa delle diverse condizioni di misura (entità e modalità di applicazione del carico), ai corrispondenti valori dei moduli elastici non saranno applicati i limiti di accettazione e le penali illustrate al paragrafo §30.9.2.

30.9.2 Penali

In funzione del valore medio del modulo del pacchetto di strati soggetto a prova, lo stesso pacchetto interessato viene penalizzato in maniera percentuale rispetto al costo secondo i valori elencati nella seguente tabella (valida nel caso di conglomerati bituminosi).

MISCELA	MODULO DI ELASTICITÀ (E)	PENALITÀ
Misto cementato (§30.3 e §30.4)	4.000 MPa £ E £ 12.000 MPa	Prestazione valida
	E > 12.000 MPa	Detrazione del 10%
	2.000 MPa £ E < 4.000 MPa	Detrazione del 10%
	E < 2.000 MPa	Detrazione del 20%
miscele riciclate a freddo con bitume schiumato oppure emulsione bituminosa e cemento (§30.5, §30.6 e §30.7)	3.000 MPa £ E £ 10.000 MPa	Prestazione valida
	E > 10.000 MPa	Detrazione del 10%
	1.500 MPa £ E < 3.000 MPa	Detrazione del 10%
	E < 1.500 MPa	Detrazione del 20%
miscele riciclate a freddo con bitume schiumato per il miglioramento di strati di fondazione non legati (§30.8)	2.000 MPa £ E £ 8.000 MPa	Prestazione valida
	E > 8.000 MPa	Detrazione del 10%
	1.000 MPa £ E < 2.000 MPa	Detrazione del 10%
	E < 1.000 MPa	Detrazione del 20%

Art. 30bis Potenziamento del terreno di supporto di barriere di sicurezza stradali metalliche a paletti infissi (su arginello e in spartitraffico) con misto cementato

30.1 bis Descrizione

Il presente articolo fornisce le specifiche tecniche per il misto cementato da impiegare per le soluzioni di potenziamento di terreno di supporto di barriere di sicurezza stradali metalliche a paletti infissi, e quindi di arginello e spartitraffico.

30.2 bis Norme di riferimento

Per i requisiti della cessazione di rifiuto dell'aggregato riciclato (quando ne è previsto l'utilizzo).

- **Decreto Ministeriale (MASE) n. 127 del 28/06/2024 –** dei rifiuti inerti da costruzione e demolizione, altri rifiuti inerti di origine minerale, ai sensi dell'articolo 184-*ter*, comma 2, del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152/2006.

Per le prove condotte su miscele di inerti naturali o inerti riciclati rispondenti ai requisiti di una pavimentazione stradale.

- **UNI 11531-2**: Costruzione e manutenzione delle opere civili delle infrastrutture – Criteri per l'impiego dei materiali – Parte 2: materiali granulari e miscele di aggregati legati con leganti idraulici e aerei.
- **UNI EN 13242** – Aggregati per materiali non legati e legati con leganti idraulici per l'impiego in opere di ingegneria civile e nella costruzione di strade.
- **UNI EN 932-1:** Metodi di prova per determinare le proprietà generali degli aggregati – Metodi di campionamento.
- **UNI EN 13286-2:** Miscele non legate e legate con leganti idraulici – Parte 2: Metodi di prova per la determinazione della massa volumica e del contenuto d'acqua di riferimento di laboratorio – Costipamento Proctor.
- **UNI EN 13286-41:** Miscele non legate e legate con leganti idraulici – Parte 41: Metodo di prova per la determinazione della resistenza a compressione di miscele legate con leganti idraulici.
- **UNI EN 13286-42:** Miscele non legate e legate con leganti idraulici – Parte 42: Metodo di prova per la determinazione della resistenza a trazione indiretta di miscele legate con leganti idraulici.
- **UNI EN 13286-50:** Miscele non legate e legate con leganti idraulici – Parte 50: Metodo per la preparazione di provini di miscele legate con leganti idraulici mediante attrezzatura Proctor oppure compattazione con tavola vibrante.
- **UNI EN 11272:** Qualità del suolo – Determinazione della densità apparente a secco.

Per le prove condotte sul legante idraulico.

- **UNI EN 197-1:** Cemento - Parte 1: Composizione, specificazioni e criteri di conformità per cementi comuni
- **UNI EN 13282-1** Leganti idraulici per impieghi stradali - Parte 1: Leganti idraulici per impieghi stradali a indurimento rapido - Composizione, specifiche e criteri di conformità.
- **UNI EN 13282-2** Leganti idraulici per impieghi stradali - Parte 2: Leganti idraulici per impieghi stradali a normale indurimento - Composizione, specificazioni e criteri di conformità.
- **UNI EN 11272:2017:** Qualità del suolo, determinazione della densità apparente a secco.

Per le prove push-pull per la determinazione dell'interazione paletto terreno

- **Rapporto Tecnico UNI/TR 11785:2020 –** Documento tecnico di supporto per la redazione del manuale per l'utilizzo e l'installazione dei dispositivi di ritenuta stradali su rilevato.

30.3 bis Composizione della miscela

La miscela granulare dovrà essere costituita da aggregati di origine naturale lasciando facoltà all'appaltatore di proporre l'impiego, secondo quanto previsto in questo articolo, di aggregati di origine riciclata provenienti da Costruzione e Demolizione (CoD) che hanno cessato la qualifica di rifiuto ai sensi del Decreto Ministeriale MASE n.127 del 28 giugno 2024.
Nel caso di impiego di aggregati di origine riciclata, sarà onere dell'Appaltatore dare evidenza dell'idoneità della miscela di cui propone l'utilizzo, sia in relazione al rispetto delle indicazioni del presente capitolato per quanto attiene alle caratteristiche costitutive degli inerti, alla loro granulometria, al contenuto di cemento ed alla determinazione delle proprietà meccaniche, sia nella capacità del supporto potenziato di garantire il corretto funzionamento dei dispositivi di ritenuta di cui si prevede l'impiego. Di conseguenza, preventivamente all'approvazione della Direzione Lavori, l'interazione del supporto potenziato con i paletti delle barriere di sicurezza dovrà essere valutata mediante esecuzione di opportune prove di push-pull da eseguire nei siti di installazione o in appositi campi prova che saranno proposti dall'Appaltatore e che dovranno essere approvati dalla Direzione Lavori. L'esecuzione di analoghe prove in fase di prequalifica nel caso di miscela costituita interamente da aggregati di origine naturale viene rimandata alla facoltà dell'Appaltore.

Le modalità di esecuzione e i criteri di valutazione dei risultati dovranno essere indicati in un apposito protocollo di prova, redatto a cura dell'Appaltatore, che dovrà essere sottoposto alla preventiva approvazione della Direzione Lavori. Le modalità operative dovranno essere analoghe a quelle previste per l'esecuzione delle stesse prove nell'ambito dei controlli in corso d'opera (§ 30.9 bis).

30.4 bis Criteri di accettazione dei materiali costituenti la miscela

I materiali costituenti la miscela di supporto (aggregati naturali, eventuali aggregati riciclati, legante idraulico e additivi) dovranno essere prequalificati secondo i criteri di accettazione di cui al § 30.3 "Fondazione in misto cementato" e secondo quanto ulteriormente specificato in questo articolo di capitolato.
Indipendentemente dalla provenienza, gli aggregati dovranno essere classificati ai sensi della norma UNI 13242 con sistema di attestazione di conformità 2+. In caso di impiego di aggregati riciclati, viene consentito unicamente l'impiego di materiale con diametro superiore a 20 mm qualificato secondo i requisti riportati al Prospetto 8 della UNI 11531- 2 : 2021.

L'Appaltatore dovrà sottoporre all'accettazione della Direzione Lavori, almeno 15 giorni prima dell'inizio dei lavori, una relazione contenente tutte le informazioni atte a dimostrare il rispetto dei requisiti di accettazione di ciascun materiale.

Durante i lavori, dovranno essere emessi nuovi certificati di prequalifica sia degli aggregati naturali che di riciclo ad ogni cambio di lotto di approvvigionamento o, in caso non sia avvenuto il cambio di lotto, ogni qualvota siano stati prodotti 1500 metri cubi (mc) di miscela. In entrambi i casi (aggregati naturali e aggregati riciclati), ogni lotto dovrà dovrà essere caratterizzato utilizzando un numero minimo di 5 campioni prelevati secondo quanto previsto nella UNI EN 932-1. Viene lasciata la facoltà alla Direzione Lavori di richiedere la modifica delle frequenze di campionamento e dei limiti di utilizzo oltre i quali ripetere la prequalifica dei materiali.

Per quanto riguarda il legante cementizio, il progetto potrà prevedere due metodologie di potenziamento del supporto: il potenziamento normale ed il potenziamento hard.
Nel primo caso, dovrà essere impiegato cemento di classe pari a 32,5 N in percentuale variabile sul peso dell'inerte asciutto pari a 2,0%, 2,5% o 3,0%. Solo in presenza di bassa temperatura o in presenza di giustificati vincoli temporali e operativi può essere autorizzato l'impiego di un cemento 32,5 R. Nel caso di potenziamento hard, dovrà essere cemento di classe pari a 42,5 N in percentuale variabile sul peso dell'inerte asciutto compresa tra il 4,0% e il 5,0%. Solo in presenza di bassa temperatura o in presenza di giustificati vincoli temporali e operativi può essere autorizzato l'impiego di un cemento 42,5 R.

30.5 bis Criteri di accettazione della miscela

Prima dell'inizio dei lavori, la miscela per il supporto dovrà essere messa a punto nell'impianto di produzione impiegato nell'Appalto (miscela di prequalifica).
Come indicato nel paragrafo precedente, la tipologia di cemento da impiegare sarà definita in progetto a seguito del tipo di potenziamento previsto.

Nel caso di impiego di soli aggregati naturali, lo studio di miscela verrà condotto unicamente secondo quanto indicato nel presente paragrafo. La prequalifica della miscela (e dell'impianto) terrà pertanto in considerazione unicamente le proprietà costitutive e meccaniche qui previste.

Nel caso di impiego di aggregati riciclati, in aggiunta a quanto previsto in questo paragrafo, la miscela dovrà essere messa in opera nel campo prova di cui al § 30.3 bis per essere sottoposta – in qualità di supporto - alle prove di push-pull che vengono considerate parte integrante della prequalifica. Qualora i risultati ottenuti da queste ultime non dovessero risultare conformi a quanto previsto a causa di difetti ascrivibili (insieme ad altre eventuali cause) al mix design della miscela, quest'ultimo dovrà essere modificato ad onere dell'Appaltatore. In ogni caso, la Direzione Lavori, a suo insindacabile giudizio, potrà richiedere l'esecuzione di prove integrative prima di procedere con l'accettazione della miscela.

Premesso ciò, una volta stabiliti la miscela di aggregati e il quantitativo di legante cementizio, dovranno essere prodotti in impianto dei lotti distinti di miscela con contenuti d'acqua variabili necessari a definire il quantitativo di umidità ottimo secondo la UNI EN 13286-2 (Prova Proctor Standard). Per ciascun lotto, direttamente all'uscita del mescolatore verrà prelevato un quantitativo di materiale idoneo (per preparare almeno 5 campioni) per essere addensato, subito dopo il prelievo, secondo la UNI EN 13286-2 (Prova Proctor Standard) utilizzando lo stampo Proctor B. Per ciascun lotto dovranno essere misurati l'umidità e la massa volumica secca (γ_d) secondo la UNI EN 13286-2. E' richiesta la correzione per il sopra vaglio (trattenuto al setaccio 31.5 mm) come indicato in Appendice C della UNI EN 13286-2.

Nella tabella seguente si riportano le caratteristiche dimensionali per la prova Proctor Standard per stampo Proctor B (sono ammesse anche le altre opzioni indicate nel prospetto A.3 della UNI EN 13286-2).

Tabella: Riferimenti per la prova Proctor Standard

Stampo		**Pestello**		**Procedimento**			**Energia di compattazione**
Diametro	Altezza	Massa	Diametro	Altezza di caduta	Numero strati	Colpi per strato	
(mm)	(mm)	(kg)	(mm)	(mm)	(1)	(1)	(kJ/m^3)
150	125	4.5	75	450	3	22	593.31

I valori di umidità e massa volumica secca derivanti dagli impasti di cui sopra verranno utilizzati per determinare la massa volumica a secco massima ($\gamma_{d,max}$) e l'umidità ottima di addensamento (umidità ottima Proctor).
Determinati i due parametri di cui sopra, dovrà essere confezionato in impianto un lotto di miscela con umidità ottima Proctor dal quale si dovrà prelevare un quantitativo di materiale minimo per confezionare almeno 10 campioni che dovranno essere addensati, subito dopo il prelievo, secondo la UNI EN 13286-50 utilizzando il compattatore Proctor standard.

Successivamente alla fase di preparazione e addensamento (UNI EN 13286-50), i campioni dovranno essere lasciati maturare in acqua alla temperatura di 20 ± 5 °C per 7 giorni consecutivi.

Terminata la maturazione, i campioni saranno soggetti alle prove di caratterizzazione meccanica riportate in seguito:

- Misura della resistenza a compressione assiale non confinata (almeno 5 campioni - UCS, UNI EN 13286-41);
- Misura della resistenza a trazione indiretta (ITT, UNI EN 13286-42).

Per ciascuna prova, dovranno essere testati un numero minimo di 5 campioni (n) i cui risultati (x_i) verranno utilizzati per calcolare la media campionaria (μ) e lo scarto quadratico medio (s) utilizzando le equazioni sotto riportate.

Media campionaria
$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n} \quad (1)$$

SQM
$$s = \sqrt{\frac{\sum_{=1}^{n} (x_i - \mu)^2}{n}} \quad (2)$$

I valori delle statistiche descrittive campionarie dovranno essere utilizzati per calcolare la lunghezza dell'intervallo di confidenza secondo il 90% di significatività utilizzando l'equazione riportata in seguito.

$$\delta = 2 \cdot 1{,}645 \cdot \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (3)$$

Al termine della fase di prequalifica della miscela si dovrà disporre del valore della massa volumica secca massima Proctor, del valore di umidità di addensamento ottima (umidità Proctor) e di un intervallo di confidenza dei valori di resistenza a compressione non confinata (UCS) e di resistenza a trazione (ITT).

30.6 bis Formazione e confezionamento delle miscele

Le miscele saranno confezionate in impianti fissi automatizzati, di idonee caratteristiche, mantenuti sempre perfettamente funzionanti in ogni loro parte e dotati di un sistema di controllo di produzione FPC. Gli impianti dovranno garantire uniformità di produzione ed essere in grado di realizzare miscele del tutto rispondenti a quelle di Progetto.

30.7 bis Prequalifica e studio preliminare della miscela

L'Appaltatore dovrà sottoporre all'accettazione della Direzione Lavori, almeno 15 giorni prima dell'inizio delle attività, una relazione contenente tutte le informazioni atte a dimostrare il rispetto dei requisiti di accettazione dei singoli materiali e della miscela. Nello specifico è richiesto che tale relazione contenga:

- La certificazione FPC degli impianti ove viene prodotta la miscela;
- La marcatura CE e DoP di tutti i materiali costituenti la miscela;
- I risultati di conformità ambientale previsti nel DM 127/2024 nel caso di impiego di aggregati di origine riciclata;
- La distribuzione granulometrica della miscela ai sensi della UNI EN 933-1;
- Il contenuto di cemento ai sensi del B.U. C.N.R. n. 29;
- La compattezza della miscela alla massa volumica a secco massima Proctor standard e all'umidità ottima Proctor (Appendice A della UNI EN 14227-1);
- Il valore della media campionaria, dello scarto quadratico medio e l'ampiezza dell'intervallo di confidenza calcolati sui risultati provenienti dalle prove di resistenza a compressione non confinata (UCS, UNI EN 13286-41) e di resistenza trazione indiretta non confinata (ITT, UNI EN 13286-42) della miscela di riferimento;
- Determinazione del periodo di lavorabilità delle miscele (UNI EN 13286-45) alla temperatura massima a cui l'Appaltatore prevede di stendere e compattare (non superiore a 35°C);
- Verifica della compatibilità del tempo intercorrente tra la fine della miscelazione in impianto, trasporto al cantiere e completamento delle lavorazioni di posa in opera e compattazione della miscela in conformità con il periodo di lavorabilità della stessa;
- L'indicazione del tipo di mezzi utilizzati per la posa in opera e la compattazione della miscela;
- In caso di utilizzo di inerti riciclati, indicazione delle modalità di esecuzione delle prove di push-pull di cui al § 30.3 bis "Composizione della miscela".

Le caratteristiche di accettazione della miscela dovranno essere aggiornate ai sensi del § 30.5 bis a ogni approvvigionamento di un nuovo lotto di aggregato naturale e/o riciclato e comunque ogni qualvolta si siano raggiunti i 1500 mc di produzione complessiva.

Sia nel caso di impiego di soli aggregati naturali che di impiego di aggregati naturali e riciclati, l'aggiornamento del mix design dovrà essere condotto con l'obiettivo di traguardare i valori di resistenza UCS e ITT determinati in fase di prequalifica.

Nello specifico, lo studio di miscela aggiornato dovrà prevedere l'esecuzione delle prove previste nel § 30.5 bis ed i valori delle medie campionarie delle resistenze dovranno ricadere all'interno dell'intervallo di confidenza calcolato in fase di prequalifica.

Qualora tale verifica sia soddisfatta, si procederà a calcolare gli intervalli di confidenza nell'intorno dei valori medi aggiornati che verranno utilizzati per i successivi controlli in corso d'opera. Nel caso dell'impiego di aggregati riciclati, la Direzione Lavori, a suo insindacabile giudizio, potrà comunque richiedere l'esecuzione di prove push-pull in campo prova ad integrazione del mix design aggiornato.

Qualora tale verifica non sia soddisfatta, sia nel caso di impiego di solo aggregato naturale che di aggregato naturale e riciclato, il mix design aggiornato dovrà essere verificato con prove di push-pull da eseguirsi ad onere dell'Appaltatore. Nel caso in cui i risultati delle prove push-pull non dovessero risultare conformi (§ 30.9 bis) il mix design delle miscele dovrà essere modificato a

insindacabile giudizio della Direzione Lavori. Di contro, qualora i risultati dalle prove push-pull dovessero essere soddisfatti, la Direzione Lavori potrà, a suo insindacabile giudizio, accettare il nuovo mix design (e quindi definire un nuovo intervallo di confidenza rispetto al quale eseguire i controlli in corso d'opera) o richiedere comunque di aggiornare il mix design proposto.

Le prove sperimentali di laboratorio dovranno essere eseguite presso Laboratori Ufficiali o Autorizzati dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, e non deve precedere di oltre tre mesi la data di utilizzo del materiale. A tale studio l'Appaltatore è tenuto ad attenersi durante la realizzazione della stesa.
I requisiti d'accettazione saranno inoltre accertati con controlli della Direzione Lavori sia in cava o impianto sia in corso d'opera prelevando il materiale in sito già miscelato, prima e dopo avere effettuato il costipamento.

La mancata presentazione della documentazione preliminare comporta la non autorizzazione all'inizio della esecuzione dei lavori e non saranno accettate eventuali lavorazioni svolte prima dell'approvazione della documentazione di qualifica.

30.8 bis Modalità di posa in opera

Lo scavo preliminare per l'inserimento del blocco di potenziamento dell'arginello o dello spartitraffico in misto cementato dovrà essere eseguito seguendo le sagome indicate in progetto e con mezzi di idonee caratteristiche per garantire le dimensioni e le eventuali gradonature previste in progetto. La superficie di scavo dovrà presentarsi scabra e libera da elementi litici liberi e non ingranati.
Preventivamente alla stesa della miscela, deve essere appurata l'idoneità del piano di posa, verificando che, nel caso di arginello, la profondità dello scavo sia impostata a una quota inferiore di 200 mm per l'ammorsamento del materiale nel corpo del rilevato.
Preventivamente alla stesa, deve essere appurato altresì che il piano di posa sia sufficientemente umido. In caso contrario si prevede una bagnatura, evitando erosioni, dilavamenti e ristagni di acqua e fango.
La miscela dovrà essere preparata secondo i requisti di accettazione con il quantitativo di umidità ottima Proctor (§ 30.5 bis). La posa in opera dovrà essere eseguita per strati di spessore non inferiore a 15 cm e non superiore a 20 cm e compattato, dove le dimensioni e le caratteristiche del cantiere non consentano l'impiego di rulli, mediante piastra vibrante manuale o, preferibilmente, con analogo utensile vibrante montato su braccio gru da sottoporre all'approvazione della Direzione Lavori prima dell'utilizzo.
La compattazione dovrà garantire, per ogni strato, un valore della densità apparente a secco ($\rho_{b,s}$) misurata in sito – secondo la UNI EN 11272 - non inferiore al 95% di massa volumica secca massima ottenuta in laboratorio mediante prova Proctor standard (UNI EN 13286-2) riferita alla miscela prequalificata più di recente.

Nel caso di arginello, la sagomatura dovrà essere eseguita mediante l'utilizzo di utensili idonei capaci di imporre l'azione di regolarizzazione e stabilizzazione delle superfici che dovranno avere finitura scabra per garantire il corretto ingranamento della coltre protettiva vegetale.

Per gli arginelli, il piano finito dovrà essere impostato ad una profondità tale da garantire, rispetto al ciglio della pavimentazione, uno strato di protezione con terreno vegetale come da progetto, inerbito mediante idro semina al completamento dei lavori.
Per lo spartitraffico la quota dello strato superiore, dopo la compattazione, dovrà essere impostata alla quota indicata nel progetto rispetto al ciglio della pavimentazione.

Per stese effettuate a temperature superiori a 25°C ma comunque sempre inferiori a 35°C (oltre cui non è consentito eseguire la lavorazione), è necessario proteggere da evaporazione la miscela durante il trasporto dall'impianto di confezionamento al luogo di impiego (ad esempio con teloni); deve essere inoltre necessario provvedere ad un'abbondante bagnatura del piano di posa del misto cementato e dello stesso misto cementato a posa ultimata.

Strati eventualmente compromessi dalle condizioni meteorologiche o da altre cause dovranno essere rimossi e sostituiti a totale cura e spese dell'Appaltatore.

Laddove la lavorazione di potenziamento sia eseguita su barriere esistenti, per le quali non sia previsto il preventivo smontaggio, tutte le operazioni precedentemente elencate dovranno essere eseguite con la massima cura e attenzione ad evitare il danneggiamento degli elementi dei dispositivi di ritenuta stradali.
Laddove la lavorazione di potenziamento sia eseguita per nuovi impianti o per impianti esistenti di cui è previsto il preventivo smontaggio prima della lavorazione, si raccomanda di eseguire l'operazione di infissione dei paletti delle barriere non oltre i 7 giorni dalla stesa del misto cementato.

Per la corretta gestione degli impatti acustici, vibrazionali e delle acque reflue derivanti dalla lavorazione, si rimanda alle disposizioni del Capitolato Ambientale.

In generale, in tutte le fasi esecutive, comprese le fasi di preparazione e di sistemazione finale delle aree, per gli aspetti e le problematiche relative a temi ambientali, quali impatti acustici e vibrazionali, emissioni in atmosfera, impatto sulle acque superficiali, sotterranee e sul suolo, impatti sulla componente fauna e vegetazione, si rimanda integralmente a quanto prescritto dalla Normativa Nazionale e Regionale vigente, alle prescrizioni degli Enti preposti alla tutela ambientale, nonché alle condizioni ambientali contenute nelle autorizzazioni ed alle disposizioni del Capitolato Ambientale e Piano di Gestione Terre/Piano di Utilizzo allegati al progetto esecutivo.

30.9 bis Controlli in corso d'opera

Nella fase di avvio dei lavori, la Direzione Lavori dovrà procedere al prelievo dei materiali in arrivo presso il cantiere e l'impianto di produzione al fine di verificare in laboratorio i requisiti dichiarati dall'Appaltatore in fase di prequalifica dei materiali e della miscela. Tali prelievi e verifiche verranno eseguiti anche in corso d'opera secondo quanto indicato ai § 30.4 bis e 30.5 bis.

Durante le fasi di esecuzione dei lavori dovranno essere effettuate quattro tipologie di controlli in corso d'opera:

1. Verifica della geometria della messa in opera del blocco di potenziamento in riferimento ai requisiti geometrici e dimensionali previsti in progetto. I dati principali di verifica geometrica richiesti sono: la profondità e la larghezza della base di posa, lo spessore degli strati compattati, la larghezza del piano finito (o dei piani intermedi qualora sia prevista una gradonatura della posa) e la quota del piano finito riferita al piano della pavimentazione.

2. Misura della densità apparente a secco in sito per valutare il grado di addensamento (UNI EN 11272). I valori della densità apparente a secco in sito dovranno corrispondere almeno al 95% della massa volumica massima asciutta (prova Proctor standard) della miscela prequalificata più di recente.

3. Verifica della resistenza del paletto ovvero dell'interazione terreno/paletto. Il piano finito dovrà essere sottoposto a prove di carico orizzontale (push-pull) su paletti di sacrificio di geometria e installazione analoga per profondità e distanza dal ciglio a quella dei paletti delle barriere.

4. Misura dei valori di UCS (UNI EN 13286-41) e ITT (UNI EN 13286-42) da campioni prelevati in impianto. Dovranno essere prelevati almeno cinque campioni per l'esecuzione di ciascuna prova. La media campionaria di ciascuna resistenza dovrà ricadere all'interno dell'intervallo di confidenza calcolato sui risultati della miscela prequalificata più di recente.

Le modalità di esecuzione delle prove push-pull e i criteri di valutazione dei risultati, coerentemente con quanto previsto dal rapporto tecnico UNI/TR 11785, dovranno essere esplicitati all'interno di un protocollo di prova, redatto a cura dell'Appaltatore, che dovrà essere sottoposto alla preventiva approvazione della Direzione Lavori. In particolare, gli esiti delle prove di push-pull dovranno soddisfare alle indicazioni del § 4.5.1 del rapporto tecnico UNI/TR 11785 con specifico riferimento a resistenza massima offerta dal palo e formazione della cerniera plastica (congiuntamente) o, in alternativa, in relazione al lavoro compiuto (valore dell'energia dissipata dal sistema palo-supporto fino allo spostamento massimo).

Per quanto riguarda la frequenza delle prove, dovranno essere individuate tratte omogenee che presentano analoghe soluzioni progettuali, anche non in continuità, in termini di geometria (profondità e larghezza strutturale in testa) e tipologia e quantitativo di legante, nonché per tipologia di barriera, e si dovrà eseguire almeno una terna di prove per ogni tratta omogenea.
Per interventi lineari, le tratte omogenee dovranno avere uno sviluppo non superiore ai 2000 m.
Nella Tabella successiva viene indicata la posizione e la frequenza dei controlli da eseguirsi in opera. I dati sono riferiti a sezioni di intervento omogenee.

Tabella: Controlli in corso d'opera per il potenziamento dell'arginello

Prova	Riferimento	Posizione	Frequenza	Criterio di verifica
Verifica geometrica dello scavo (*)	--	Al completamento dello scavo. Profondità e larghezza alla base.	Ogni 500 m di stesa con un minimo di 3 punti di rilievo	Geometria di progetto
Verifica geometrica del blocco di potenziamento (*)	--	All'estradosso degli strati. Spessore e larghezza di estradosso dello strato	Ogni 500 m di stesa con un minimo di 3 punti di rilievo	Geometria di progetto
Verifica della densità apparente a secco in sito (**)	UNI EN ISO 11272	Su ogni strato completato.	Ogni 500 m sugli strati intermedi, ogni 250 m sullo strato finale con un minimo di 3 punti di rilievo	$\gamma_d \geq 95\% \gamma_{d,max}$ Con $\gamma_{d,max}$ misurato sulla miscela prequalificata più di recente.
Resistenza compressione non confinata (UCS) (**)	UNI EN 13286-41	Campionamento da eseguirsi in impianto con prelievo all'uscita del mescolatore	1 Prelievo per giornata di produzione	Media campionaria su 5 campioni ricadente all'interno dell'intervallo di confidenza calcolato sui risultati della miscela prequalificata più di recente.
Resistenza a trazione indiretta (ITT) (**)	UNI EN 13286-42	Campionamento da eseguirsi in impianto con prelievo all'uscita del mescolatore	1 Prelievo per giornata di produzione	Media campionaria su 5 campioni ricadente all'interno dell'intervallo di confidenza calcolato sui risultati della miscela prequalificata più di recente.
Prove push-pull (***)	UNI TR 11785	Al completamento del potenziamento.	Due terne ogni 1000 m con un minimo di	Conforme alle specifiche prestazionali di progetto

Prova	Riferimento	Posizione	Frequenza	Criterio di verifica
			due. In caso di estensioni inferiori a 500 m si potrà procedere con una sola terna.	o ai criteri di accettazione eventualmente contenuti nella documentazione tecnica dei dispositivi installati.

(*) Questo autocontrollo deve essere eseguito in prima battura dall'Appaltatore con le frequenze indicate in tabella con reportistica da trasmettere alla Direzione Lavori preventivamente alle sue verifiche.
(**) Il mancato rispetto del valore ammesso comporterà l'applicazione di una penale a titolo definitivo pari al 20% dell'intera lavorazione (fornitura e posa di misto cementato) e a insindacabile giudizio della Direzione Lavori la rilavorazione dello strato o al suo rifacimento che è comunque sempre necessario qualora non siano soddisfatte le prove di push-pull.
(***) Per interventi puntuali (ad esempio l'adeguamento delle ali funzionali delle opere d'arte) data l'omogeneità di intervento è sufficiente prevedere una sola terna di prove per ogni dispositivo utilizzato.

Art. 31 CAM - Pavimentazioni in conglomerato bituminoso

31.1 Descrizione e campo di applicazione

Gli strati di pavimentazione in conglomerato bituminoso sono costituiti da una miscela di inerti (naturali, riciclati o industriali) accuratamente proporzionata in termini di peso o di volume (dalla dimensione massima dell'aggregato fino al filler), da legante bituminoso e eventualmente da additivi.

Tale miscela viene confezionata generalmente a caldo in impianti automatizzati a funzionamento di tipo continuo (*drum mixer*) o discontinuo (sistema a vagliatura), in modo da ottenere requisiti prestazionali prestabiliti in termini volumetrici, meccanici e funzionali dipendenti dallo strato di pavimentazione che viene realizzato.

I conglomerati bituminosi si distinguono in conglomerati bituminosi per strati di usura, conglomerati bituminosi per strati di collegamento (o binder) e conglomerati bituminosi per strati di base.

Essi possono essere inoltre possono essere classificati in funzione del tenore dei vuoti residui dopo la compattazione, differenziandosi tra conglomerati chiusi (*dense o gap*), semi-aperti ed aperti (o *open*). Gli strati di base e collegamento vengono tipicamente realizzati con miscele di tipo chiuso per assicurare prestazioni meccaniche adeguate e l'impermeabilizzazione degli strati sottostanti. Dall'altra parte, gli strati di usura possono essere costituiti da tutte e tre le tipologie di miscela.

Accanto al volume dei vuoti, le miscele per usura possono essere classificate anche in funzione del tipo di curva granulometrica, distinguendo tra miscele a curva continua (tipica delle miscele chiuse) e a curva discontinua caratteristica delle miscele aperte (dette *open-graded*), semi-aperte (dette *semi-open graded*), e degli SMA (dette anche antisdrucciolo o *gap-graded*). Le miscele a curva granulometrica discontinua presentano una discontinuità nella zona delle sabbie (riducendone il contenuto) la quale, a valle della posa in opera della miscela, garantisce una superiore formazione di cavità superficiali (rispetto alle dense) che forniscono benefici in termini di aderenza e macrotessitura.

Tali miscele vengono messe in opera mediante vibrofinitrici e vengono costipate mediante idonei rulli compattatori. Il loro spessore finale viene stabilito in fase di progettazione attraverso la verifica di resistenza ai diversi meccanismi di ammaloramento.

Le prescrizioni contenute nel presente articolo di Capitolato si applicano alle lavorazioni inerenti alla realizzazione degli strati in conglomerato bituminoso che in progetto si prevede di effettuare in conformità al D.M. 5 agosto 2024 così come modificato dal D.M.11 settembre 2025. Nei successivi paragrafi tali decreti vengono indicati sinteticamente come Decreto CAM Strade aggiornato (o per brevità DM CAM).

In particolare, i requisiti del Decreto CAM Strade aggiornato vengono applicati alle lavorazioni descritte ai paragrafi 31.3 e 31.4, relativi a miscele di tipo standard. Per quanto riguarda invece le lavorazioni inerenti alle miscele speciali (§31.5) e ai trattamenti di irruvidimento (§31.6.3), non se ne prevede l'applicazione.

Le modalità di applicazione del DM CAM Strade aggiornato alle miscele in conglomerato bituminoso sono definite all'interno della Relazione CAM di progetto, all'interno degli elaborati di progetto riguardanti le pavimentazioni o comunque all'interno di questo articolo di Capitolato.

Tutte le prescrizioni incluse in questo articolo di Capitolato sono da ritenersi valide per tutte le viabilità autostradali e per le viabilità interferite o compensative destinate ad essere consegnate al termine dei lavori alle Amministrazioni Locali.

Qualora le prescrizioni dei Capitolati Speciali delle Amministrazioni Locali sanciscano parametri meno prestazionali rispetto a quelli indicati nel presente articolo, eventuali deroghe possono essere concesse dal Direttore dei Lavori, alla luce delle caratteristiche della viabilità interferita o compensativa, sentito comunque il Parere degli Organi Tecnici delle Amministrazioni interessate.

31.2 Normativa di riferimento

Criteri Ambientali Minimi vigenti

- Decreto Ministeriale 5 agosto 2024 recante Criteri Ambientali Minimi per l'affidamento del servizio di progettazione ed esecuzione dei lavori di costruzione, manutenzione e adeguamento delle infrastrutture stradali.
- Decreto Ministeriale 11 settembre 2024 recante Modifiche all'allegato 1 del decreto 5 agosto 2024, recante «Criteri ambientali minimi per l'affidamento del servizio di progettazione ed esecuzione dei lavori di costruzione, manutenzione e adeguamento delle infrastrutture stradali- CAM Strade.

Conglomerato bituminoso di recupero – cessazione della qualifica di rifiuto

- DM n. 69 del 28 marzo 2018 - Regolamento recante disciplina della cessazione della qualifica di rifiuto di conglomerato bituminoso ai sensi dell'articolo 184-ter, comma 2 del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152.

Aggregati

- UNI EN 13043 - Aggregati per miscele bituminose e trattamenti superficiali per strade, aeroporti e altre aree soggette a traffico. Fornisce i requisiti per la valutazione di conformità
- UNI EN 932-1: Metodi di prova per determinare le proprietà generali degli aggregati. Metodi di campionamento.
- UNI EN 932-2: Metodi di prova per determinare le proprietà generali degli aggregati - Metodi per la riduzione dei campioni di laboratorio
- UNI EN 933-1: Prove per determinare le caratteristiche geometriche degli aggregati - Parte 1: Determinazione della distribuzione granulometrica - Analisi granulometrica per setacciatura
- UNI EN 933-3: Prove per determinare le caratteristiche geometriche degli aggregati - Parte 3: Determinazione della forma dei granuli - Indice di appiattimento
- UNI EN 933-4: Prove per determinare le caratteristiche geometriche degli aggregati - Parte 4: Determinazione della forma dei granuli - Indice di forma
- UNI EN 933-5: Prove per determinare le caratteristiche geometriche degli aggregati - Parte 5: Determinazione della percentuale di superfici frantumate negli aggregati grossi
- UNI EN 933-8 Prove per determinare le caratteristiche geometriche degli aggregati - Parte 8: Valutazione dei fini - Prova dell'equivalente in sabbia
- UNI EN 933-10 Prove per determinare le caratteristiche geometriche degli aggregati - Parte 10: Valutazione dei fini - Granulometria dei filler (setacciatura a getto d'aria)
- UNI EN 1097-2: Prove per determinare le proprietà meccaniche e fisiche degli aggregati - Parte 2: Metodi per la determinazione della resistenza alla frammentazione
- UNI EN 1097-5: Prove per determinare le proprietà meccaniche e fisiche degli aggregati - Parte 5: Determinazione del contenuto d'acqua per essiccazione in forno ventilato
- UNI EN 1097-8: Prove per determinare le proprietà meccaniche e fisiche degli aggregati – Parte 8: Determinazione del valore di levigabilità
- UNI EN 1367-1: Prove per determinare le proprietà termiche e la degradabilità degli aggregati - Parte 1: Determinazione della resistenza al gelo e disgelo

UNI EN 13179: Prove sugli aggregati complementari (filler) utilizzati nelle miscele bituminose - Parte 1: Prova con anello e biglia

Conglomerato bituminoso di recupero – norme tecniche

- UNI EN 13108-8: Miscele bituminose - Specifiche del materiale - Parte 8: Conglomerato bituminoso di recupero
- UNI/TS 11688 – Criteri di qualificazione e impiego del conglomerato bituminoso di recupero proveniente dalla rimozione di pavimentazioni esistenti

Leganti bituminosi – Requisiti per valutazione di conformità

- UNI EN 12591 - Bitumi e leganti bituminosi - Specifiche per i bitumi per applicazioni stradali.
- UNI EN 14023 - Bitumi e leganti bituminosi - Quadro delle specifiche riguardanti i bitumi modificati da polimeri.
- UNI EN 13808 - Bitumi e leganti bituminosi - Quadro di riferimento delle specifiche per le emulsioni cationiche bituminose.

Additivi

- UNI 11837: Criteri di qualificazione, controllo e impiego di additivi per miscele legate a bitume per la formazione di strati di sovrastrutture per infrastrutture di trasporto.

Miscele bituminose

- UNI EN 13108-1: Miscele bituminose - Specifiche del materiale - Parte 1: Conglomerato bituminoso prodotto a caldo
- UNI EN 13108-5: Miscele bituminose - Specifiche del materiale - Parte 5: Conglomerato bituminoso antisdrucciolo chiuso
- UNI EN 13108-6: Miscele bituminose - Specifiche del materiale - Parte 6: Asfalto colato
- UNI EN 13108-7: Miscele bituminose - Specifiche del materiale - Parte 7: Conglomerato bituminoso ad elevato tenore di vuoti
- UNI EN 13108-31: Miscele bituminose - Specifiche dei materiali - Parte 31: Conglomerato bituminoso legato con emulsione bituminosa

Prove su miscele bituminose

- UNI EN 13108-20: Miscele bituminose - Specifiche del materiale - Parte 20: Prove di tipo
- UNI EN 12697-1: Miscele bituminose – Metodi di prova per conglomerati bituminosi a caldo – Parte 1: Contenuto di legante solubile
- UNI EN 12697-2: Miscele bituminose – Metodi di prova per conglomerati bituminosi a caldo – Parte 2: Determinazione della granulometria
- UNI EN 12697-5: Miscele bituminose – Metodi di prova per conglomerati bituminosi a caldo – Determinazione della massima densità
- UNI EN 12697-6: Miscele bituminose - Metodi di prova per conglomerati bituminosi a caldo - Determinazione della massa volumica in mucchio di provini bituminosi
- UNI EN 12697-8: Miscele bituminose - Metodi di prova per conglomerati bituminosi a caldo - Determinazione delle caratteristiche dei vuoti di provini bituminosi
- UNI EN 12697-11: Miscele bituminose - Metodi di prova per conglomerati bituminosi a caldo - Determinazione dell'affinità tra aggregato e bitume
- UNI EN 12697-12: Miscele bituminose - Metodi di prova per conglomerati bituminosi a caldo - Determinazione della sensibilità all'acqua dei provini bituminosi
- UNI EN 12697-13: Miscele bituminose - Metodi di prova per conglomerati bituminosi a caldo - Misurazione della temperatura
- UNI EN 12697-17: Miscele bituminose - Metodi di prova per conglomerati bituminosi a caldo - Perdita di particelle del provino di asfalto poroso

- UNI EN 12697-23: Miscele bituminose – Metodi di prova per conglomerati bituminosi a caldo - Determinazione della resistenza a trazione indiretta di provini bituminosi
- UNI EN 12697-24:2018: Miscele Bituminose – Metodi di prova per conglomerati bituminosi a caldo -Resistenza alla fatica
- UNI EN 12697-26: Miscele bituminose – Metodi di prova per conglomerati bituminosi a caldo -Rigidezza
- UNI EN 12697-31: Miscele bituminose - Metodi di prova per conglomerati bituminosi a caldo - Preparazione del provino con pressa giratoria
- UNI EN 12697-36: Miscele bituminose - Metodi di prova per conglomerati bituminosi a caldo - Determinazione dello spessore di una pavimentazione bituminosa
- UNI EN 12697-39: Miscele bituminose - Metodi di prova per conglomerati bituminosi a caldo - Contenuto di legante mediante ignizione
- UNI EN 12697-40: Miscele bituminose - Metodi di prova per conglomerati bituminosi a caldo - Drenabilità in sito
- UNI EN 12697-42: Miscele bituminose - Metodi di prova per conglomerati bituminosi a caldo - Quantità di materiale estraneo nel conglomerato bituminoso di recupero

Rilievi in alto rendimento

- C.N.R.-B.U. n. 90 (15/04/1983) - Misura della macro-rugosità superficiale con il sistema dell'altezza di sabbia
- C.N.R. B.U. 147 del (14/12/1992) – Norma per la misura delle caratteristiche superficiali delle pavimentazioni. Metodo di prova per la misura del coefficiente di aderenza con l'apparecchio SCRIM

31.3 Criteri di accettazione delle miscele

31.3.1 Marcatura CE

Le miscele in conglomerato bituminoso prodotte sia a caldo che a tiepido dovranno essere marcate CE attestante la conformità all'appendice ZA della UNI EN 13108 con sistema di attestazione di conformità 2+ inclusa di Dichiarazione di Prestazione (DoP).

Ogni fornitura di miscela in ingresso in cantiere dovrà essere corredata di Documento di Trasporto corredato da marcatura CE della miscela.

Gli aggregati e aggregati filler ottenuti mediante la lavorazione di materiali naturali, industriali o riciclati da utilizzare nei conglomerati bituminosi e trattamenti superficiali nelle strade e autostrade dovranno possedere marcatura CE e DoP secondo la norma europea armonizzata UNI EN 13043 con sistema di attestazione di conformità 2+.

La norma UNI EN 13043 non si applica al conglomerato bituminoso di recupero che dovrà essere classificato, preventivamente al suo impiego, in conformità alla norma UNI EN 13108-8.

Per ciò che riguarda la marcatura CE dei leganti bituminosi si rimanda a quanto riportato nel paragrafo 31.4.3.

31.3.2 Composizione granulometrica miscele

La composizione granulometrica (o curva granulometrica) delle miscele dovrà rispettare i fusi elencati in seguito. Per tutte le miscele la definizione della curva granulometrica di progetto dovrà avvenire impiegando almeno tre classi granulometriche di aggregato in aggiunta all'eventuale conglomerato bituminoso di recupero.

Nel caso di impiego delle scorie da acciaieria, la curva dovrà essere composta tenendo in considerazione la differenza di massa volumica tra queste e l'aggregato naturale o riciclato adottando quindi un approccio di definizione della curva in volume.
La seguente tabella riporta i fusi granulometrici delle miscele di tipo chiuso a cui riferirsi durante la composizione della curva di progetto.

Setacci* [mm]	Passante in peso o in volume [%]					
	STRATO DI BASE	STRATO DI COLLEGAMENTO	STRATO DI COLLEGAMENTO Aree di Servizio	STRATO DI USURA TIPO "A"	STRATO DI USURA TIPO "B"	STRATO DI USURA TIPO SMA
31.5	100-100	100-100	100-100	100-100	100-100	100-100
20	73-94	90-100	100-100	100-100	100-100	100-100
16**	-	-	-	-	-	-
14	51-76	70-87	90-100	90-100	100-100	-
12.5	-	-	-	-	100-100	90-100
10	40-64	58-78	77-94	77-94	90-100	55-75
8**		-	-	-	-	-
6.3	31-55	46-66	57-76	57-76	-	-
4	-	-	-	-	44-62	27-44
2	19-38	25-38	25-38	25-38	26-40	20-30
1**	-	-	-	-	-	-
0.5	8-21	11-21	12-22	12-22	14-22	13-23
0.25	5-16	7-17	9-17	9-17	10-16	9-17
0.063	4-8	4-8	6-10	6-10	6-10	8-13

* serie setacci appartenenti al gruppo di base più gruppo 2 (UNI EN 13043); **stacci non appartenenti al gruppo (*) i cui passanti dovranno comunque essere misurati per gli strati di usura e di collegamento per aree di servizio.
Strato di collegamento per aree di servizio – spessore finito pari a 4cm
Fuso A - usure da spessore strato finito pari a 4 - 6 cm
Fuso B - usure da spessore strato finito pari a 3 cm
Usura SMA – usura da spessore finito pari a 3-4 cm
Negli strati di usura si potrà prevedere anche l'utilizzo di miscele a curva discontinua di tipo aperto (conglomerato drenante) o di tipo semi-aperto (conglomerato ipodrenante) caratterizzate da una elevata percentuale di vuoti intercomunicanti che assicura un passaggio facilitato alle acque di pioggia. Per i conglomerati di tipo usura chiusa, aperta e semiaperta la percentuale di impiego di aggregato grosso di natura basaltica non dovrà essere inferiore al 35% in peso sul totale della miscela.

I fusi granulometrici di queste miscele vengono riportati nella seguente tabella.

Setacci* [mm]	Passante in peso o in volume [%]		
	DRENANTE	DRENANTE STRUTTURALE	IPODRENANTE
20	100-100	100-100	100-100
16**	-	-	-
14	90-100	85-94	90-100

12.5**	-	-	-
10	37-60	38-53	52-65
8**	-	-	-
6.3	5-19	13-26	26-38
4	-	-	23-33
2	4-10	8-18	18-26
1**	-	-	-
0.5	4-8	6-12	12-18
0.25	4-8	6-10	10-15
0.063	4-8	4-8	6-10
Spessore strato finito (cm)	4-5	4-5	4-5

* serie setacci appartenenti al gruppo di base più gruppo 2 (UNI EN 13043);
**stacci non appartenenti al gruppo (*) i cui passanti dovranno comunque essere misurati.

31.3.3 Contenuto di bitume

La percentuale di bitume in peso riferita al peso degli aggregati (*) deve essere compresa nei seguenti intervalli definiti in funzione della tipologia di legante utilizzato.

Tipo di miscela	Tipo di legante di aggiunta	Percentuale di bitume totale		
		Miscele a caldo e tiepide con solo aggregato naturale e industriale	Miscele a caldo preparate anche con conglomerato bituminoso di recupero(*)	Miscele tiepide preparate anche con conglomerato bituminoso di recupero(*)
Base Normale	Bitume A v. §31.4.2.2.2	4,0% - 5,8%	4,3% - 5,8%	4,3% - 5,8%
Collegamento Normale		4,5% - 6,3%	4,8% - 6,3%	4,8% - 6,3%
Usura Normale		5,0% - 6,7%	5,3% - 6,7%	5,3% - 6,7%
Base Hard	Bitume B v. §31.4.2.3	4,0% - 5,8%	4,3% - 5,8%	4,3% - 5,8%
Collegamento Hard		4,5% - 6,3%	4,8% - 6,3%	4,8% - 6,3%
Usura Hard		5,0% - 6,7%	5,3% - 6,7%	5,3% - 6,7%
Usura SMA		6,0% - 7,5%	-	-
Drenante	Bitume B v. §31.4.2.3	5,0% - 6,3%	5,0% - 6,3%	5,0% - 6,3%
Drenante strutturale				
Ipodrenante				

* I valori della percentuale di bitume totale possono essere ulteriormente incrementati a insindacabile giudizio della DL qualora il contenuto di conglomerato bituminoso di recupero dovesse superare il 25% negli strati di base e binder (sia Normale che Hard).

Nel caso di impiego di aggregati particolarmente porosi la percentuale massima di bitume può essere elevata di 0,5% in peso. Nel caso di impiego di scorie da acciaieria, il dosaggio del bitume vergine dovrà avvenire considerando la differenza di massa volumica di questi rispetto agli inerti di altra origine.

Il valore della percentuale di bitume della miscela di progetto approvata è quello da prendere a riferimento per i controlli in corso d'opera.

31.3.4 Contenuto delle fibre

I conglomerati bituminosi a curva discontinua (CBD, CBDS, IPD, CBDST, SMA vedi § 31.4.2.1) dovranno essere obbligatoriamente additivati con fibre di natura minerale (vetro) o miste (vetro + agglomerante) aventi le proprietà indicate al § 31.4.4, con lo scopo di ridurre la percolazione e il trasudamento del bitume, di aumentarne lo spessore della pellicola che riveste l'aggregato, nonché di migliorare le prestazioni delle miscele agendo come elementi rinforzanti. L'aggiunta di fibre dovrà avvenire mediante idonee apparecchiature in concentrazione compresa tra lo 0,3 e 0,5% in peso rispetto agli aggregati, o comunque a concentrazioni suggerite dal fornitore. Il fornitore dovrà anche indicare modalità ottimali di mescolazione delle fibre con l'aggregato (ad es. tempo di mescolazione, momento di aggiunta nel mescolatore).

31.3.5 Impiego di materia di materia recuperata, riciclata e sottoprodotti

In ottemperanza al Decreto CAM Strade aggiornato, le miscele in conglomerato bituminoso dovranno essere confezionate rispettando i limiti di materia riciclata recuperata e sottoprodotto (RRS) previsti in progetto o comunque riportati all'interno di questo articolo di Capitolato.

31.3.5.1 Materiali RRS ammessi

Secondo quanto riportato nell'art.183 del D.lgs.152/2006, il conglomerato bituminoso di recupero viene classificato, a valle della cessazione della qualifica di rifiuto ai sensi dell'art. 184-ter e del DM 69/2018, come un materiale riciclato o recuperato. Ulteriori chiarimenti in merito alle definizioni relative al CB di recupero vengono riportati al § 31.4.2.1. I requisiti di accettazione e le modalità di utilizzo in impianto del conglomerato bituminoso di recupero vengono riportati al § 31.4.2. In questo caso, il confezionamento delle miscele potrà prevedere l'impiego di attivanti chimici funzionali (ACF) da utilizzarsi secondo quanto riportato al § 31.4.4.2.

Tutte le attività inerenti alla determina di cessazione della qualifica di rifiuto del CB di recupero sono a onere esclusivo dell'Appaltatore.

Le scorie da acciaieria sono classificabili sia come sottoprodotto (artt. 183 e 184-bis del D.lgs. 152/2006) che come materiale recuperato (art. 184-ter del D.lgs. 152/2006).

Adottando la definizione della UNI EN 13043, le scorie vengono identificate come aggregati industriali. Il loro impiego è ammesso unicamente a valle di comprovata idoneità ambientale.

Per quanto concerne le scorie da acciaieria, è preferibile l'impiego di materiale di classe granulometrica con dimensione (*d/D*) avente d maggiore o uguale a 4 mm (es. classi granulometriche 4/6, 4/8, 8/12, 8/16 classificate ai sensi della UNI EN 13043).

Per quanto riguarda ulteriori RRS, l'accettazione di un materiale alternativo a quanto non esplicitato in questo articolo, sarà effettuata dalla DL, a proprio insindacabile giudizio e con il supporto della struttura Ingegneria delle Pavimentazioni, previa dimostrazione della fattibilità tecnica e della rispondenza delle miscele a tutti i requisiti previsti, per lo specifico strato, in progetto e nel presente articolo.

Indipendentemente dalla provenienza, tutti gli aggregati impiegati nel confezionamento delle miscele bituminose dovranno rispettare i requisiti previsti al paragrafo 31.4.1.

31.3.5.2 Quantitativi di materiali RRS ammessi

Le tabelle successive indicano i quantitativi minimi e massimi consentiti per ciascun materiale RRS in funzione del tipo di miscela prodotto e del tipo di bitume impiegato. Stabilito il quantitativo di materiale RRS previsto, la restante parte dovrà provenire da materiale di primo impiego conforme a quanto riportato in questo articolo di Capitolato.

La seguente tabella si riferisce alle miscele di tipo chiuso.

Tipo di miscela	Tipo di bitume	Tipo di materia RRS ammessa	Quantitativo di ciascuna materia RSS ammesso [%peso]
Base Normale	Bitume A §31.4.3.2.2	CB di recupero	≤ 40%
Collegamento Normale		CB di recupero	≤ 35%
Usura Normale		CB di recupero	≤ 20%
Base Hard	Bitume B §31.4.3.3	CB di recupero	≤ 30%
Collegamento Hard		CB di recupero	≤ 25%
Usura Hard		CB di recupero	≤ 15%
Usura SMA		Scoria da acciaieria	0%-100%*

* Per le miscele SMA contenenti un quantitativo in peso ≥70% di scorie di acciaieria ottenute da fornace ad arco elettrico (Electric Arc
Furnace EAF) corrispondente almeno alla frazione trattenuta al 4, la struttura Ingegneria delle Pavimentazioni a suo insindacabile giudizio ha la facoltà di accettare percentuali di passante diminuite di 5 punti percentuali (rispettivamente pari a 45%, 22%, 15%).

Mentre, la seguente tabella si riferisce alle miscele per usura di tipo aperto o semi-aperto.

Tipo di miscela	Tipo di bitume	Tipo di materia RRS ammessa	Quantitativo di ciascuna materia RSS ammesso [%]
Drenante Drenante strutturale Ipodrenante	Bitume B §31.4.3.3	CB di recupero	≤ 15%

Secondo quanto indicato al paragrafo 2.3.1 dell'allegato tecnico del DM CAM, il quantitativo di materia RRS dovrà essere riferito al peso del prodotto finito secco su secco.

È lasciata all'appaltatore la facoltà di proporre miscele contenenti percentuali di conglomerato bituminoso (CB) di recupero superiori ai valori indicati in questo articolo. La DL, a proprio insindacabile giudizio e con il supporto della struttura Ingegneria delle Pavimentazioni, valuterà l'eventuale approvazione di tali proposte, previa verifica tecnica dell'isoprestazione rispetto ai materiali confezionati in conformità alle prescrizioni del presente capitolato.

31.3.5.3 Modalità di certificazione del quantitativo di materia RRS ammesso

L'Appaltatore dovrà certificare il quantitativo di materia RRS impiegato nelle miscele utilizzando uno dei mezzi di prova tra quelli previsti in progetto o comunque elencati al paragrafo 2.1.2 dell'Allegato Tecnico del DM CAM. Tali certificati dovranno essere forniti alla Direzione Lavori.

L'Appaltatore avrà la facoltà di proporre alla Direzione Lavori, senza alcun onere uno o più mix design differenti da quelli eventualmente previsti in progetto che dovranno comunque risultare conformi a questo articolo di Capitolato. La Direzione Lavori, a suo insindacabile giudizio e sentito eventualmente anche il parere del progettista potrà accettare o meno la proposta presentata.

Una volta definite le miscele e la modalità di certificazione ai sensi del DM CAM (§2.1.2), la nomenclatura della miscela adottata su questo certificato dovrà essere utilizzata per il marchio CE della miscela di cui al § 31.3.1.

31.3.6 Requisiti volumetrici e meccanici

La miscela di progetto deve essere analizzata mediante apparecchio di taglio giratorio (comunemente definito come pressa giratoria) secondo la norma ASTM D6925 adottando i seguenti parametri di prova:

- Angolo di rotazione esterno: 1.25°
- Velocità di rotazione: 30 rotazioni al minuto
- Pressione verticale: 600 kPa
- Diametro della fustella (*): 150 mm (strato di base e di strato di collegamento)
- Diametro della fustella: 100 mm (strati di usura chiusi, drenante e ipodrenante)

(*) per strato di collegamento per aree di servizio (aggregati con D ≤ 16 mm) è ammesso l'uso di fustelle con diametro 100 mm

31.3.6.1 Pressa giratoria - Vuoti

I provini compattati mediante pressa giratoria devono rispettare le specifiche tecniche riportate nella seguente tabella in termini di volume di vuoti d'aria residui (UNI EN 12697-8) in funzione del livello di compattazione.

Livello di compattazione	BASE NORMALE	BASE HARD
N1	% Vuoti a 10 rotazioni: 12 ÷ 15	% Vuoti a 10 rotazioni: 12 ÷ 15
N2	% Vuoti a 100 rotazioni: 3 ÷ 5 (*)	% Vuoti a 120 rotazioni: 3 ÷ 5 (*)
N3	% Vuoti a 180 rotazioni: □ 2	% Vuoti a 200 rotazioni: □ 2
	COLLEGAMENTO NORMALE	COLLEGAMENTO HARD
N1	% Vuoti a 10 rotazioni: 12 ÷ 15	% Vuoti a 10 rotazioni: 12 ÷ 15
N2	% Vuoti a 100 rotazioni: 3 ÷ 5 (*)	% Vuoti a 120 rotazioni: 3 ÷ 5 (*)
N3	% Vuoti a 180 rotazioni: □ 2	% Vuoti a 200 rotazioni: □ 2
	USURA NORMALE	USURA HARD
N1	% Vuoti a 10 rotazioni: 12 ÷	% Vuoti a 10 rotazioni: 12

	15	÷ 15
N2	% Vuoti a 130 rotazioni: 3 ÷ 5 (*)	% Vuoti a 150 rotazioni: 3 ÷ 5 (*)
N3	% Vuoti a 220 rotazioni: □ 2	% Vuoti a 240 rotazioni: □ 2
		USURA SMA
N1		% Vuoti a 10 rotazioni: 8 ÷ 12
N2		% Vuoti a 100 rotazioni: 2 ÷ 4 (*)
N3		% Vuoti a 180 rotazioni: □ 2
		USURA DRENANTE
N1		% Vuoti a 10 rotazioni: ³ 28
N2		% Vuoti a 50 rotazioni: ³ 23
N3		% Vuoti a 130 rotazioni: ³ 20
		DRENANTE STRUTTURALE
N1		% Vuoti a 10 rotazioni: ³ 25
N2		% Vuoti a 50 rotazioni: ³ 20
N3		% Vuoti a 130 rotazioni: ³ 16
		IPODRENANTE
N1		% Vuoti a 10 rotazioni: ³ 20
N2		% Vuoti a 50 rotazioni: ³ 15
N3		% Vuoti a 130 rotazioni: ³ 10

(*) Dg = Densità giratoria di progetto (da impiegare per il calcolo del grado di addensamento della pavimentazione in opera)

31.3.6.2 Resistenza a trazione indiretta e sensibilità all'acqua

I provini derivanti dalla miscela ottimale compattati mediante pressa giratoria a livello di compattazione N2 (o N-design) devono essere sottoposti a prova di resistenza a trazione indiretta alla temperatura di 25 °C secondo la norma UNI EN 12697-23 (ITS: resistenza a trazione indiretta, CTI: coefficiente di trazione indiretta). La sensibilità all'acqua viene misurata mediante perdita di resistenza a trazione dopo condizionamento in acqua tramite il parametro ITSR (*Indirect Tensile Strength Ratio*) misurato secondo la norma UNI EN 12697-12. I requisiti richiesti alle diverse miscele sono riassunti nella seguente tabella.

Miscele	ITS (MPa)	CTI (MPa)	ITSR (%)
Base-collegamento-usura con bitume normale	0.75 – 1.60*	³ 70	³ 80
Base-collegamento-usura con bitume Hard	0.95 – 1.90*	³ 80	³ 90
SMA	³ 0.70	³ 50	³ 90
Drenante	³ 0.38	> 20	> 90
Drenante strutturale	³ 0.40	> 22	> 90
Ipodrenante	³ 0.50	> 25	> 90

(*) In fase di controllo delle prestazioni, qualora i provini vengano confezionati previo riscaldamento del campione di conglomerato, i valori di soglia massimi ITS vanno aumentati del 10%, per tenere in considerazione dell'aumento di rigidezza determinato dal secondo riscaldamento.

31.3.6.3 Modulo di rigidezza

I conglomerati bituminosi Hard (confezionati sia a caldo che con tecnologia tiepida) per strati di base e di collegamento devono essere sottoposti ad un controllo prestazionale per la determinazione del Modulo di Rigidezza "E" alla temperatura di 20 °C secondo la norma UNI EN 12697-26, Appendice C. Le prove sono eseguite in configurazione di trazione indiretta (IT-CY), applicando, ad ogni ciclo di carico, una deformazione orizzontale di trazione (indiretta) pari a 5 ± 0.2 µm su provini compattati con pressa giratoria al 98% della densità ottenuta a livello di compattazione N2.

Miscela	E_{min} (20 °C)	E_{max} (20 °C)
Base Hard	³ 7000 MPa	£ 14000 MPa
Collegamento Hard	³ 5500 MPa	£ 11000 MPa

Al fine di tenere in considerazione il minor livello di compattazione delle miscele, ai limiti inferiori dell'intervallo viene applicata una tolleranza per difetto pari al 15%. Qualora il valore ottenuto dovesse presentare un valore compreso tra il 15 ed il 20% dell'estremo inferiore dell'intervallo della miscela oggetto di studio, sarà compito del Direttore Lavori contattare il progettista per verificare l'eventuale effetto della ridotta rigidezza sulla durata complessiva del pacchetto. Per valori superiori al 20%, la miscela dovrà essere ottimizzata per rispettare il requisito di rigidezza sopra riportato.

31.3.7 Tipologie e requisiti specifici delle usure ad elevato tenore di vuoti

I conglomerati bituminosi ad elevato tenore di vuoti vengono denominati anche usura drenante, drenante strutturale e ipodrenante. Essi risultano caratterizzati da una elevata percentuale di vuoti intercomunicanti che assicura il deflusso facilitato alle acque piovane migliorando la visibilità e riducendo il rischio di aquaplaning durante la guida in presenza di precipitazioni atmosferiche. Le diverse tipologie di conglomerati bituminosi ad elevata percentuale di vuoti sono riportate nella seguente tavola sinottica.

Miscele	Tipologia Mono strato	Spessori (cm)	Drenabilità	
			Alta	Bassa
Usura Drenante (CBD)	X	4	X	
Usura Drenante strutturale (CBDS)	X	4	X	
Ipodrenante (IPD)	X	4		X

I limiti definiti per la capacità drenante delle diverse miscele vengono riportati al paragrafo 31.3.7.2.

31.3.7.1 Resistenza all'abrasione

I provini cilindrici (D = 100 mm) di conglomerato bituminoso ad elevato tenore di vuoti destinati alla prova di resistenza all'abrasione devono essere compattati mediante compattatore Marshall applicando 50 colpi per faccia, secondo quanto prescritto dalla norma di riferimento UNI EN 12697-17. Il singolo provino (condizionato alla temperatura di 25 °C) è sottoposto ad una prova con apparecchiatura Los Angeles senza sfere in acciaio, considerando una velocità di rotazione di 33 giri/minuto, per un totale di 300 giri (UNI EN 12697-17).
Al termine della prova la resistenza all'abrasione del conglomerato bituminoso è associata alla perdita di peso (Particle Loss, PL), calcolata come media di 5 provini, che deve risultare £ 20%.

31.3.7.2 Capacità drenante

La capacità drenante media in sito suddivisa per tipologia di miscela, misurata con permeametro a colonna d'acqua con le modalità indicate al § 31.10.2.3, deve risultare conforme ai valori riportati nella seguente tabella.

Miscele	Capacità drenante (litri/min)
Usura Drenante (CBD)	³ 20
Usura Drenante strutturale (CBDS)	³ 10
Ipodrenante (IPD)	³ 2

31.3.8 Requisiti per le verifiche con apparecchiature ad alto rendimento del pacchetto di strati legati a bitume

Qualora previsto a progetto, richiesto dalla Committente o dalla Direzione Lavori, il controllo della qualità della pavimentazione finita viene eseguito con apparecchiature ad alto rendimento attraverso la verifica della portanza, dell'aderenza, della macrotessitura e della regolarità.
Il non raggiungimento dei valori riportati nei paragrafi 31.3.8.1, 31.3.8.2 e 31.3.8.3 comporterà l'applicazione delle penali di cui al paragrafo 31.10.3.4.

31.3.8.1 Portanza

Il valore medio del modulo del pacchetto di strati soggetto a prova (riportata alla temperatura di riferimento di T = 20°C) nelle modalità indicate al paragrafo 31.10.3.1 deve risultare maggiore o uguale a 5000 MPa.

31.3.8.2 Aderenza e macrotessitura

Il Coefficiente di Aderenza Trasversale (CAT) è misurato con l'apparecchiatura *Sideway-Force Coefficient Routine Investigation Machine* (SCRIM) o *Survey Machine for Macrotexture & Skid* (SUMMS) (Norma CNR B.U. n° 147 del 14.12.92). La relazione tra il valore CAT prescritto, denominato CAT_{ASPI} e quello definito dalla norma CNR, denominato CAT_{CNR} è la seguente:

$$CAT_{ASPI} = 100 \cdot CAT_{CNR}$$

Per tenere conto degli effetti della temperatura, i valori misurati del CAT_{ASPI} alla generica temperatura vengono riportati a quelli relativi alla temperatura di riferimento CAT_{ASPI20} mediante la seguente relazione proposta dal *Transportation Road Research Laboratory* – TRRL:

$$CAT_{ASPI20} = CAT_{ASPI} \cdot \left(0.548 + \frac{44.69}{t+80}\right)^{-1}$$

Dove: CAT_{ASPI20} = valore del CAT alla temperatura di riferimento (20 °C)
t = temperatura dell'aria durante la misura in °C
CAT_{ASPI} = valore del CAT misurato

I valori minimi di CAT_{ASPI20}, distinti per tipologia di materiale, sono riportati nella seguente tabella:

MATERIALE	CAT_{ASPI20}
Conglomerati bituminosi "Normali" e "Hard" per usura (tipo CB, CBH)	³ 58
Conglomerati bituminosi antisdrucciolo SMA	³ 60
Conglomerati bituminosi "Normali" e "Hard" per binder (tipo CB, CBH): provvisori	³ 45
Conglomerati bituminosi drenanti, drenanti strutturali, ipodrenanti (tipo CBD, CBDS, IPD)	³ 53
Trattamenti ad alta aderenza (tipo TAA)	³ 85

La macrotessitura superficiale è prescritta in termini di *Mean Texture Depth* (MTD) (noto anche come Altezza in Sabbia, HS). Tale parametro, definito dalla norma UNI EN ISO 13473-1, è calcolato in funzione delle misure di *Mean Profile Depth* (MPD) eseguite mediante profilometro laser installato su apparecchiatura SCRIM/SUMMS.
Nella seguente tabella sono riportati i valori minimi di HS differenziati per tipologia di miscela.

MATERIALE	MTD
Conglomerati bituminosi "Normali" e "Hard" per usura (tipo CB, CBH)	³ 0,3 mm
Conglomerati bituminosi antisdrucciolo SMA	³ 0,6 mm
Conglomerati bituminosi "Normali" e "Hard" per binder (tipo CB, CBH): provvisori	³ 0,2 mm
Conglomerati bituminosi drenanti, drenanti strutturali, ipodrenanti (tipo CBD, CBDS, IPD)	³ 0,8 mm
Trattamenti ad alta aderenza (tipo TAA)	³ 0,3 mm

31.3.8.3 Regolarità

La regolarità della superficie di rotolamento dei pneumatici è valutata mediante l'indice IRI (International Roughness Index), calcolato (come definito dalla World Bank nel 1986 - The International Road Roughness Experiment) a partire dal profilo longitudinale della pavimentazione, e dovrà essere inferiore od uguale a 1,8 mm/m nel caso di intervento con strato di superficie steso su tutta la carreggiata, ed inferiore od uguale a 2,0 mm/m nel caso di intervento limitato a una parte della carreggiata.
Queste prescrizioni valgono per:

- Conglomerati Bituminosi tipo CB, CBH
- Conglomerati Bituminosi rigenerati in sito di cui all'articolo 30 del presente Capitolato

- Conglomerati Bituminosi drenanti tipo CBD, CBDS, IPD

La valutazione della regolarità di un intervento può essere effettuata solo se lo spessore dello strato/pacchetto nuovo o ricostruito è di almeno 4 cm.

31.4 Criteri di accettazione dei materiali costituenti

I materiali di provenienza esterna al cantiere o che l'Appaltatore approvvigionerà da terzi dovranno essere qualificati in conformità al Regolamento UE n°305/2011 sui prodotti da costruzione.

31.4.1 Aggregati

Gli aggregati e aggregati filler ottenuti mediante la lavorazione di materiali naturali o industriali da utilizzare nei conglomerati bituminosi e trattamenti superficiali nelle strade e autostrade dovranno possedere marcatura CE e DoP secondo la norma europea armonizzata UNI EN 13043 con sistema di attestazione di conformità 2+. La certificazione CE e la DoP dovranno essere consegnati alla Direzione Lavori prima dell'inizio all'inizio dei lavori e ad ogni cambio di lotto di aggregato. Ad ogni modo, la Direzione Lavori ha la facoltà di richiedere tale documentazione in ogni fase delle lavorazioni.

31.4.1.1 Prescrizioni comuni per gli aggregati marcati CE secondo UNI EN 13043

La miscela di inerti è costituita dall'insieme degli aggregati grossi e degli aggregati fini ed eventuali additivi (filler) nel rispetto delle composizioni granulometriche di cui al § 31.3.2.

Le frazioni di aggregato grosso e fine possono essere costituite da inerti aventi provenienza e natura petrografica diversa. Il proporzionamento tra le diverse provenienze dovrà comunque rispettare i limiti previsti al § 31.3.5.2. Indipendentemente dalla provenienza e dalla natura petrografica, la miscela di aggregati prevista nel mix design di progetto dovrà rispettare i requisiti previsti in questo articolo di Capitolato.

La zona destinata allo stoccaggio e movimentazione degli aggregati lapidei sarà preventivamente e convenientemente sistemata per annullare la presenza di sostanze argillose e ristagni di acqua che possono compromettere la pulizia degli aggregati. Inoltre, i cumuli delle diverse classi e tipologie di aggregati (es. naturali, industriali) dovranno essere nettamente separati tra di loro attraverso setti separatori di altezze e distanze adeguate, in modo da effettuare l'operazione di rifornimento dei predosatori eseguita con la massima cura.

31.4.1.2 Aggregati naturali e industriali per conglomerati bituminosi di base, collegamento e usura confezionati con bitume "Normale" e "Hard" marcati CE secondo UNI EN 13043

Nelle miscele dovranno essere utilizzati aggregati aventi le caratteristiche riportate nella tabella seguente. Le prescrizioni riportate si applicano alle singole classi utilizzate nel confezionamento della miscela.

Caratteristica	Norma di prova	Base	Collegamento	Usura Usura drenante SMA/ipodrenante
Appiattimento dell'aggregato grosso d ≥ 2mm	UNI EN 933-3	FI_{15}	FI_{15}	FI_{15}

Caratteristica	Norma di prova	Base	Collegamento	Usura Usura drenante SMA/ipodrenante
Forma aggregato grosso d ≥ 2mm	UNI EN 933-4	SI_{15}	SI_{15}	SI_{15}
Percentuale superfici frantumate aggregato grosso d ≥ 4mm, senza facce arrotondate	UNI EN 933-5	≥ 90%	≥ 90%	100 %
Resistenza alla frammentazione aggregato grosso	UNI EN 1097-2	LA_{25}	LA_{25}	LA_{18}
Resistenza alla levigazione aggregato grosso (*)	UNI EN 1097-8	--	--	PSV_{42}
Resistenza all'abrasione superficiale	UNI EN 1097-8 Appendice A	--	--	AAV_{20}
Resistenza al gelo / disgelo	UNI EN 1367-1 o 2	F_2	F_2	F_1
Assorbimento d'acqua(**)	UNI EN 1097-06	WA_{24} ≤ 1,5%	WA_{24} ≤ 1,5%	WA_{24} ≤ 1,5%
Equivalente in sabbia sulle singole pezzature di aggregato fine	UNI EN 933-8	SE ≥ 70%	SE ≥ 70%	SE ≥ 70%
Intervallo di "anello e palla" dell'aggregato filler	EN 13179-1	$\Delta_{R\&B}$ 8/25	$\Delta_{R\&B}$ 8/25	$\Delta_{R\&B}$ 8/25

(*) Il trattenuto al setaccio da 2 mm derivante dalle pezzature fini (D £ 4 mm) non deve essere maggiore del 10% qualora gli aggregati provengano da rocce aventi un valore di levigabilità PSV < 42. (**) A suo insindacabile giudizio, la DL si riserva di accettare aggregati con assorbimento d'acqua differente.

In aggiunta a quanto sopra si prescrive altresì:

- AFFINITA' TRA AGGREGATO E BITUME
  Per lo strato di usura lo spogliamento in acqua (con eventuali attivanti di adesione) deve essere 0% (UNI EN 12697-11). In casi particolari, cioè in presenza di aggregati ad elevata acidità, la DL si riserva di richiedere sistemi di indagine più approfonditi.

- AGGREGATO FILLER
  L'aggregato filler proveniente dalla macinazione di rocce preferibilmente calcaree o costituiti da cemento, calce idrata, calce idraulica, polvere di asfalto, ceneri volanti, rocce sintetiche o artificiali, deve avere una granulometria (UNI EN 933-10) tale da soddisfare i seguenti requisiti:

  Setaccio 2 mm - Passante in peso 100%
  Setaccio 0,125 mm - Passante in peso compreso nell'intervallo 85-100 %
  Setaccio 0,063 mm - Passante in peso compreso nell'intervallo 70-100 %

  Della quantità di additivo minerale passante per via umida al setaccio 0,063 mm più del 50% deve passare allo stesso setaccio anche a secco. Lo stiffening power (UNI EN 13179-1) deve fornire un valore $\Delta_{R\&B}$ compreso tra 8 °C e 25 °C.
  L'indice di plasticità (UNI CEN ISO/TS17892-12) deve risultare non plastico (NP).

- ARGILLA ESPANSA
  La resistenza del granulo allo schiacciamento (UNI EN 13055-2) per l'usura drenante e drenante strutturale con argilla espansa di tipo strutturale avente una pezzatura 7/15 deve essere non inferiore a 3,5 MPa.

31.4.2 Conglomerato bituminoso di recupero

31.4.2.1 Recupero ambientale e modalità di classificazione

Per conglomerato bituminoso di recupero si intende il conglomerato bituminoso recuperato mediante la fresatura a freddo o la demolizione degli strati della pavimentazione.

Salvo se non diversamente previsto, il conglomerato bituminoso derivante dalla fresatura a freddo (o dalla demolizione) di pavimentazioni in conglomerato bituminoso viene inizialmente classificato come rifiuto ai sensi dell'art. 184-ter del Decreto Legislativo n. 152 del 03.04.2006. Al fine di poterne prevedere il reimpiego l'Appaltatore dovrà pertanto mettere in pratica, a sua cura e spese, le prove previste nel DM 69/2018 ai fini della cessazione della qualifica di rifiuto. A valle della quale il materiale assume la definizione di granulato di conglomerato bituminoso (GCB).

In considerazione del fatto che l'utilizzo del conglomerato bituminoso di recupero è ammesso unicamente a seguito alla cessazione della qualifica di rifiuto, si chiarisce che in questo articolo di Capitolato, salvo indicazioni specifiche, i termini conglomerato bituminoso di recupero (o fresato) e granulato di conglomerato bituminoso vengono utilizzati in maniera sovrapponibile.

Il conglomerato bituminoso derivante dalle demolizioni (modalità prima indicate) che non rispetta i requisiti del DM 69/2018 dovrà essere smaltito presso discarica autorizzata a cura e onere dell'Appaltatore.

Il granulato di conglomerato bituminoso che non rispetta i requisiti previsti in questo articolo di Capitolato potrà comunque essere valutato per l'idoneità al reimpiego nei rilevati stradali o nelle fondazioni stradali legate e non legate nei limiti e nelle modalità indicate in progetto o comunque negli articoli 3, 29 e 30 del presente Capitolato.

La mancata conformità delle prescrizioni riportate nei successivi paragrafi comporta il divieto di utilizzare il conglomerato bituminoso di recupero nelle miscele a cui si riferisce il presente articolo di Capitolato.

Per essere utilizzato, ciascun cumulo di conglomerato bituminoso di recupero dovrà essere classificato ai sensi della UNI EN 13108-8 secondo quanto riportato al paragrafo 31.4.2.4. Ogni fornitura dovrà essere accompagnata da documentazione tecnica, prodotta a onere dell'Appaltatore, che ne attesti le caratteristiche tecniche e l'avvenuto recupero ambientale.

31.4.2.2 Provenienze ammesse e specificazioni per l'impiego

Nell condizioni di rispetto dei requisiti di questo articolo di Capitolato e qualora il progetto lo preveda, l'Appaltatore è obbligatoriamente tenuto ad impiegare prioritariamente GCB proveniente dalle lavorazioni del cantiere oggetto dei lavori di appalto o di proprietà della Stazione Appaltante. Il reimpiego deve comunque avvenire nei limiti di cui al § 31.3.5.2. e secondo quanto previsto in questo articolo di Capitolato.

Nel caso in caso in cui questo GCB non fosse disponibile, l'Appaltatore è autorizzato a utilizzare GCB dall'esterno nei limiti e nel rispetto di quanto indicato nel presente Capitolato.

La tracciabilità del CB di recupero viene regolamentata secondo quanto previsto dal DM 69/2018 e secondo la normativa ambientale vigente. L'Appaltatore è tenuto a presentare documentazione che consenta la tracciabilità del materiale costituente il Lotto di GCB utilizzato nel confezionamento della miscela.

Una volta stabiliti i requisiti di provenienza per cantiere, la formazione dei cumuli in impianto dovrà essere eseguita tenendo in considerazione i requisiti di provenienza del GCB previsti per ciascuno strato riportati nella seguente tabella.

Miscele in CB	Provenienza GCB
Base e collegamento	Qualsiasi strato della pavimentazione
Usure chiuse su viabilità esterna a rete autostradale	Usure
Usure chiuse su rete autostradale	Usure autostradali
Collegamento per aree di servizio	Usure autostradali
Usura Drenante Usura Ipodrenante	Usura Drenante autostradale Usura Ipodrenante autostradale Usura SMA Autostradale

Allo scopo di evitare il rischio di contaminazione con materiali provenienti da strati inferiori, la fresatura dello strato di usura deve avvenire in maniera controllata ed interessare uno spessore di almeno 0,5 cm inferiore rispetto allo spessore dello strato di usura da rimuovere.

31.4.2.3 Prescrizioni per i cumuli

Il conglomerato bituminoso di recupero posto in riserva dovrà essere accuratamente stoccato in cumuli ben distinti e separati tra loro, in funzione della provenienza (e dello strato), e separati dagli altri inerti di origine naturale o industriale.
Dovrà preferibilmente essere destinato allo stoccaggio in cumulo separato anche il fresato derivante da conglomerati contenenti RSS che possano alterare le operazioni di predosatura (come nel caso delle scorie) prediligendo la separazione per provenienza.
Tutti i cumuli dovranno essere nettamente separati tra loro e in modo da consentire la massima cura durante le operazioni di rifornimento dei predosatori.

Si raccomanda di tenere la zona destinata allo stoccaggio del fresato riparata dall'acqua piovana mediante specifiche coperture oppure mediante qualsiasi altra soluzione che consenta il rispetto dei requisiti richiesti in termini di tenore di umidità al momento del conferimento del materiale nel mescolatore. Tale soluzione è obbligatoria nel caso in cui i cumuli sono conservati per periodi superiori ad un mese.

La zona di stoccaggio deve essere preventivamente sistemata per annullare la presenza di sostanze argillose e ristagni di acqua che possono compromettere la pulizia del materiale.

L'umidità del fresato, determinata ad una temperatura di essiccazione non superiore a 50 °C, prima di essere introdotto nell'impianto di produzione deve essere:

- umidità aggregato RA £ 4% per miscele bituminose a caldo con % di aggregato RA £ 30%
- umidità aggregato RA £ 3% per miscele bituminose tiepide con % di aggregato RA £ 30%
- Per percentuali superiori al 30% l'umidità dell'aggregato RA dovrà essere in ogni caso £ 3%.

Per valori di umidità superiori a quelli richiamati l'impiego del fresato deve essere sospeso.

31.4.2.4 Classificazione secondo la norma UNI EN 13108-8

I cumuli di granulato di conglomerato bituminoso distinti come indicato nel §31.4.2.2 dovranno inizialmente essere lavorati meccanicamente mediante operazioni di frantumazione e granulazione e vagliatura.
Al fine di favorire l'ottimate reimpiego nelle curve granulometriche indicate al § 31.3.2, i cumuli per base e collegamento dovranno essere costituti da materiale interamente passante al setaccio 31,5 mm (U 31,5), mentre quelli destinati all'utilizzo negli strati di usura e collegamento per aree di servizio dovranno essere costituiti da materiale interamente passante al setaccio 20 mm (U 20).
Per l'ottimizzazione della curva granulometrica del fresato e del legante presente e per consentire lavorazioni uniformi, nel caso di utilizzo di materiali provenienti da fresature diverse sia per provenienza che per natura, potrebbe essere necessaria, prima del suo impiego, una ulteriore granulazione; occorre tener presente che tale operazione determina un ulteriore aumento delle parti fini nel materiale. Il volume massimo dei cumuli così suddivisi potrà essere, in accordo al DM 69/2018, pari a 3.000 m^3.
Ciascun cumulo di fresato deve essere classificato, a cura ed onere dell'Appaltatore con certificati di laboratorio, in conformità alla norma UNI EN 13108-8 in termini di granulometria della miscela di aggregati, tipo e contenuto di legante bituminoso, oltre alle caratteristiche in termini di penetrazione media (UNI EN 1426) e punto di rammollimento (UNI EN 1427).

Il cumulo viene così designato granulometricamente dalla sigla U RA d/D (in cui U esprime la dimensione minima in mm del setaccio attraverso cui passa il 100% dei granuli di fresato, d/D è riferito alla classe granulometrica dell'aggregato contenuto nel fresato).
Nel caso di miscele con contenuto di fresato superiore al 25% e per le usure, per aumentare l'uniformità del conglomerato bituminoso finale, si auspica l'uso di unicamente la frazione grossa 20 RA 0/14 mm contraddistinta da una spiccata presenza di aggregato grosso tradotta da una percentuale di trattenuto al setaccio 6,3 mm ³65%. L'Appaltatore, in funzione della tipologia di impianto di cui dispone e delle sue condizioni di utilizzo, dovrà in ogni caso adottare tutti gli accorgimenti possibili in fase di produzione al fine di ottimizzare l'uniformità del conglomerato bituminoso.

Oltre alle operazioni descritte finora, l'Appaltatore, a sua cura e spese, dovrà procedere alla classificazione dei cumuli in termini di contenuto di materie estranee secondo la EN UNI 12697-42. Sono ammessi esclusivamente conglomerati bituminosi di recupero appartenenti alla categoria F_1 di cui al § 4.1 della EN 13108-8. Il contenuto di calcestruzzo, laterizi, materiale di sottofondo, malta di cemento e matallo non deve essere maggiore dell'1% in massa, mentre il contenuto di materiali sintetici, legno e plastica non deve essere maggiore dello 0,1% in massa. Quantità eccessive di materie estranee dovranno essere rimosse a cura ed onere dell'Appaltatore, al fine di far rientrare il conglomerato bituminoso di recupero nella richiesta categoria F_1.

Infine, occorre che l'Appaltatore, a sua cura e spese, dichiari l'omogeneità di ogni cumulo ai sensi del § 5.4 della UNI EN 13108-8. L'omogeneità del cumulo deve essere determinata a partire dalla variabilità delle percentuali di aggregati grossi e fini e di fini presenti nel conglomerato bituminoso di recupero, dal contenuto di legante del conglomerato bituminoso di recupero e la penetrazione, dal punto di rammollimento o dalla viscosità del legante recuperato dal conglomerato bituminoso di recupero.

Il campionamento per le operazioni di cui sopra deve essere effettuato su ogni cumulo su incrementi di campione come definito nella norma UNI EN 932-1 come richiamato al § 5.5 della norma UNI EN 13108-8.

31.4.2.5 Classificazione secondo la specifica tecnica UNI/TS 11688

Sui cumuli del conglomerato bituminoso di recupero di cui è previsto l'utilizzo per il confezionamento delle miscele, distinti per caratteristiche omogenee di provenienza e granulometria, devono altresì essere determinate, a cura ed onere dell'Appaltatore a mezzo di certificato di laboratorio, le caratteristiche di cui alla seguente tabella previa estrazione con solvente del bitume dal fresato oggetto di prova, utilizzando il metodo descritto in UNI EN 12697-1.

Caratteristica	Standard	Base	Collegamento	Drenante e ipodrenante	Usura chiusa
Appiattimento dell'aggregato grosso d ≥ 2mm	UNI EN 933-3	FI_{15}	FI_{15}	FI_{15}	FI_{15}
Forma aggregato grosso d ≥ 2mm	UNI EN 933-4	SI_{15}	SI_{15}	SI_{15}	SI_{15}
Resistenza alla frammentazione aggregato grosso	UNI EN 1097-2	LA_{25}	LA_{25}	LA_{18}	*LA_{18} **LA_{20}
Resistenza alla levigazione aggregato grosso	UNI EN 1097-8	--	--	PSV_{42}	PSV_{42}
Resistenza all'abrasione superficiale	UNI EN 1097-8	--	--	AAV_{20}	AAV_{20}
Resistenza al gelo / disgelo	UNI EN 1367-1 o 2	F_2	F_2	F_1	F_1

* in caso di impiego interno al sedime autostradale; ** in caso di impiego su viabilità esterna al sedime autostradale

Nel caso di miscele preparate con bitumi normali i limiti di accettazione indicati si intendono validi per un campione composto da aggregati vergini e aggregati riciclati secondo le percentuali costitutive della miscela secca. Sono accettati anche aggregati riciclati che già in frazione unica rientrano nei limiti della tabella sopra.

Di contro, nel caso di miscele preparate con bitumi modificati hard e comunque utilizzate, come da progetto, su viabilità interna alla rete autostradale, i limiti di accettazione indicati si intendono validi per un campione in frazione unica, ossia composto unicamente da aggregati di GCB.

Tali prove sono da eseguire per ogni cumulo e il campionamento deve essere effettuato su incrementi di campione come definito nella norma UNI EN 932-1.

31.4.3 Leganti bituminosi

31.4.3.1 Descrizione e campo di applicazione

I leganti bituminosi di base per usi diretti o per modifiche successive con polimeri o altri trattamenti sono quei leganti per uso stradale costituiti da bitumi prodotti in raffineria mediante distillazione primaria (topping e vacuum); conversione (cracking termico, visbreaking) del greggio di petrolio.

I leganti bituminosi usati senza alcun trattamento (nel seguito denominati "normali") sono ottenuti dalla diretta raffinazione del petrolio. I leganti bituminosi modificati sono bitumi ai quali, utilizzando sistemi di tipo meccanico e/o chimico, vengono aggiunti polimeri di diversa natura che ne modificano le caratteristiche fisiche e meccaniche.
Le sigle dei materiali impiegati nelle presenti Norme Tecniche di Appalto (NTA) e i rispettivi campi di applicazione sono definiti nelle Tavole Sinottiche di seguito riportate:

- Tavola Sinottica 1 – conglomerati bituminosi, miscele e trattamenti in cui vengono impiegati i leganti di cui al presente Articolo;
- Tavola Sinottica 2 – tipi di leganti utilizzati nei conglomerati bituminosi, nelle miscele e nei trattamenti;
- Tavola Sinottica 3 – polimeri utilizzati nelle modifiche e additivi eventualmente impiegati nella produzione sia dei conglomerati bituminosi che delle miscele riciclate.

TAVOLA SINOTTICA 1
Conglomerati bituminosi, miscele e trattamenti

Sigla	*Descrizione*
CB	Conglomerato bituminoso con bitume normale per strati di base, collegamento ed usura
CBH	Conglomerato bituminoso ad alta resistenza a fatica per strati di base, collegamento ed usura, con bitume Hard modificato con polimeri SBS
CBD	Conglomerato bituminoso drenante
CBDS	Conglomerato bituminoso drenante strutturale
IPD	Conglomerato bituminoso ipodrenante
SMA	Conglomerato bituminoso antisdrucciolo (Stone Mastic Asphalt)
MRFS	Miscela riciclata a freddo con bitume schiumato e cemento
MRFE	Miscela riciclata a freddo con emulsione bituminosa e cemento
TAA	Trattamenti ad alta aderenza
S	Sigillature
MAD	Mano di attacco per conglomerati bituminosi drenanti
MAF	Mano di attacco a freddo per conglomerati bituminosi chiusi
MA	Mani di ancoraggio

TAVOLA SINOTTICA 2
Leganti bituminosi e leganti sintetici

Categoria Leganti	*Paragrafo*	*Sigla Legante*	*Campi di applicazione (vedi Tavola Sinottica 1)*
Bitume normale per usi diretti	§31.4.2.2.2	A	CB
Bitume normale per schiumatura	§31.4.2.2.3	A1	MRFS

Bitume modificato Hard con polimeri SBS	§31.4.2.3	B	CBH, CBD, CBDS, IPD, CBHT, SMA, MAD, S
Bitume ad elevata lavorabilità per conglomerato tiepido	§31.4.2.6	BA	CBH, CBD, CBDS, IPD, CBHT, SMA, MAD, S
Emulsione bituminosa cationica non modificata	§31.4.2.4	C C1 C2	MAF MA, MAF MRFE
Emulsione bituminosa cationica modificata	§31.4.2.5	D1 D2	MAF MRFE

TAVOLA SINOTTICA 3
Polimeri e Additivi

Sigla	*Polimeri*
SBS	Elastomeri tipo Stirene-Butadiene-Stirene

Sigla	*Paragrafo*	*Additivi*	*Campi di applicazione (vedi Tavola Sinottica 1)*
AA	§31.4.3.1	Attivanti di adesione	Conglomerati bituminosi con aggregati di natura acida
ACF	§31.4.3.2	Attivanti Chimici Funzionali	Conglomerati bituminosi con impiego di fresato (*)
FC	§31.4.4	Fibre di cellulosa	CBD, CBDS, IPD, SMA
FM	§31.4.4	Fibre miste	CBD, CBDS, IPD, SMA

(*) Fresato = conglomerato bituminoso di recupero (UNI EN 13108-8)

31.4.3.2 Bitumi normali per usi diretti

I bitumi normali impiegati senza alcun tipo di trattamento o modifica sono quei bitumi per uso stradale ottenuti dalla raffinazione del greggio di petrolio.

31.4.3.2.1 Specifiche sulla conformità dei bitumi normali

I bitumi normali per usi diretti di cui ai seguenti § 31.4.2.2.2 e 31.4.2.2.3, per essere ritenuti idonei e quindi impiegabili, dovranno essere dotati obbligatoriamente di marcatura CE e DoP secondo la Norma UNI EN 12591 con sistema di attestazione di conformità di tipo 2+.

31.4.3.2.2 Bitume normale - tipo "A"

I bitumi normali per usi diretti vengono impiegati per il confezionamento di conglomerati bituminosi tradizionali a caldo e debbono appartenere alla classe di penetrazione 50/70 (tipo "A"). La DL, a suo insindacabile giudizio, si riserva la facoltà di autorizzare l'impiego di leganti appartenenti a classi di penetrazione differenti, in relazione a specifiche esigenze progettuali.
I principali requisiti tecnici che i bitumi di tipo "A" devono rispettare sono definiti nelle norme UNI EN 12591 e UNI/TR 11361 e sono riportati nella seguente tabella.

Bitume normale per usi diretti – Tipo "A"

Caratteristiche	Unità	Metodo di prova	Valore
Penetrazione a 25°C	0.1mm	UNI EN 1426	50-70
Punto di rammollimento	°C	UNI EN 1427	46-54
Punto di rottura (Fraass)	°C	UNI EN 12593	£ -8
Viscosità dinamica a 160 °C	Pa*s	UNI EN 13302	0.05-0.20
Valori dopo RTFOT (*)			
Variazione di massa	%	UNI EN 12607-1	£ 0.5
Penetrazione residua a 25°C	%	UNI EN 1426 UNI EN 12607-1	³ 50
Incremento del Punto di rammollimento	°C	UNI EN 1427 UNI EN 12607-1	£ 9

(*) Rolling Thin Film Oven Test (UNI EN 12607-1)

31.4.3.2.3 Bitume normale per schiumatura - tipo "A1"

Il bitume schiumato si ottiene iniettando, all'interno di un'apposita camera di espansione, bitume caldo (> 160°C), acqua e aria in pressione.
A contatto con il bitume caldo, l'acqua subisce un cambiamento di stato da liquido a gassoso, espandendosi e producendo una schiuma costituita da bolle di bitume piene di vapore acqueo che rendono il legante più adatto alla miscelazione con gli aggregati in quanto caratterizzato da una minore viscosità.
Per la produzione di bitume schiumato devono essere utilizzati solo bitumi appartenenti alla classe di penetrazione 70/100 (tipo "A1"), rispondenti ai requisiti tecnici definiti dalle norme UNI EN 12591 e UNI/TR 11361 e riportati nella seguente tabella.

Bitume normale per schiumatura – Tipo "A1"

Caratteristiche	Unità	Metodo di prova	Valore
Penetrazione a 25°C	0.1 mm	UNI EN 1426	70-100
Punto di rammollimento	°C	UNI EN 1427	43-51
Punto di rottura (Fraass)	°C	UNI EN 12593	£ -10
Viscosità dinamica a 160 °C	Pa*s	UNI EN 13302	0.01-0.15
Valori dopo RTFOT			
Variazione di massa	%	UNI EN 12607-1	£ 0.8
Penetrazione residua a 25 °C	%	UNI EN 1426 UNI EN 12607-1	³ 50
Incremento del punto di rammollimento	°C	UNI EN 1427 UNI EN 12607-1	£ 11

(*) Rolling Thin Film Oven Test (UNI EN 12607-1)

La DL, a suo insindacabile giudizio, si riserva la facoltà di autorizzare l'impiego di leganti bituminosi appartenenti a classi di penetrazione differenti, in relazione a specifiche esigenze progettuali.
In ogni caso, il solo valore di penetrazione e il rispetto delle caratteristiche riportate nella tabella sopra non sono sufficienti per qualificare un legante per l'impiego in una miscela schiumata ma risulta necessario testare anche la propensione alla schiumatura dello stesso attraverso la valutazione del rapporto di espansione e del tempo di semi-trasformazione, così come definitivi al seguente § 31.4.2.2.3.1.

Nello specifico, i bitumi da impiegare per la schiumatura devono rispettare i limiti riportati in questa ulteriore tabella.

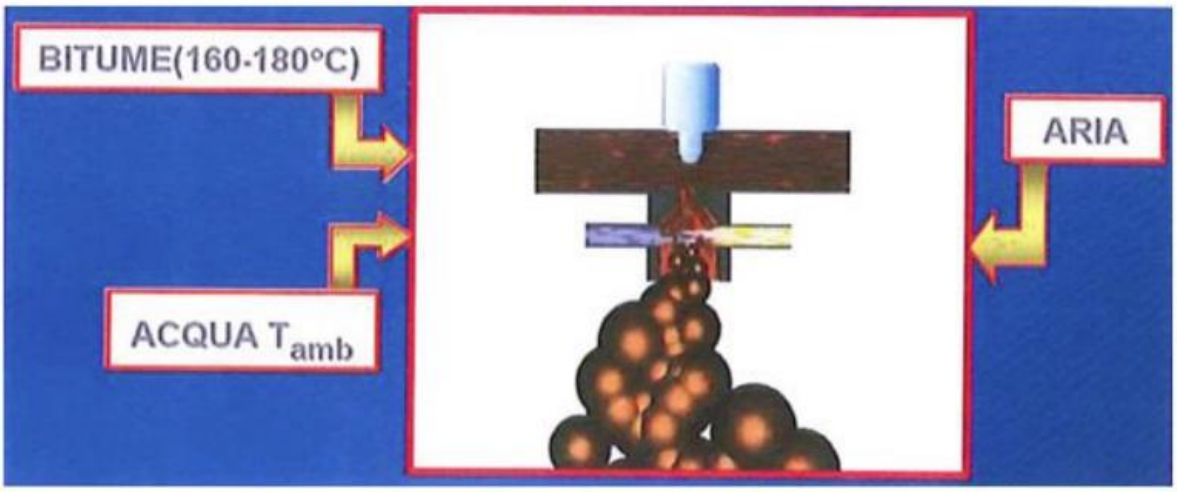
Propensione alla schiumatura dei bitumi

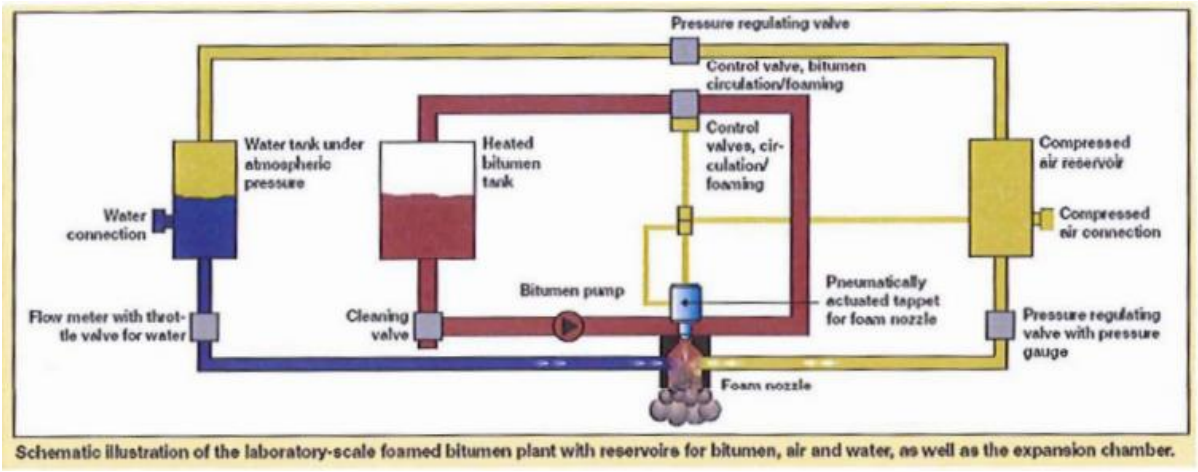
Caratteristiche	Unità	Metodo di prova	Valore
Rapporto di espansione (EXPANSION RATIO) (*)	-	(metodologia di prova interna ASPI – § 31.4.2.2.3.1)	³ 20
Tempo di semi-trasformazione (HALF LIFE) (**)	sec	(metodologia di prova interna – § 31.4.2.2.3.1)	³ 25

(*) Le caratteristiche di espansione ottimali del bitume devono essere determinate in un campo di temperature variabile tra 170 e 190 °C (prima dell'espansione), e con percentuali di acqua compresa tra 1% e 4% in peso sul bitume.
(**) Tempo necessario per dimezzare l'espansione del bitume

31.4.3.2.3.1 Caratterizzazione di un bitume schiumato

SCOPO E CAMPO DI APPLICAZIONE
Lo scopo è quello di determinare la percentuale di acqua richiesta per ottimizzare le caratteristiche di schiumatura di un bitume, ovvero espansione e tempo di dimezzamento.
Il bitume schiumato può essere prodotto una volta che è stata impostata la portata dell'acqua per la schiumatura (temperatura, pressione dell'acqua e aria sono parametri definiti).
La presente procedura si applica per determinare le proprietà di schiumatura di un bitume tal quale, in fase di qualifica e/o durante la fase dei controlli delle miscele bituminose.
PRINCIPIO
L'apparecchiatura di prova composta da "Camera d'espansione/ugello" (fig.1) è in grado di produrre bitume schiumato simile a quello prodotto dagli impianti installati sulle macchine operatrici impiegati nelle lavorazioni di risanamento profondo:





Schematic illustration of the laboratory-scale foamed bitumen plant with reservoirs for bitumen, air and water, as well as the expansion chamber.

Fig. 1

Il processo consiste nel combinare bitume caldo e acqua, in piccola percentuale sul peso del legante, dentro una camera d'espansione. Quando le particelle d'acqua vengono a contatto con il bitume caldo, si ha un aumento della temperatura dell'acqua fino a che questa raggiunge il suo punto di ebollizione. A seguito di questo processo si ha il passaggio di stato dell'acqua dallo stato liquido al gassoso; il risultato è la formazione di bolle piene di vapore acqueo ricoperte da un sottile film di bitume che conferiscono al bitume un aspetto schiumoso. Il risultato finale è che la schiuma incrementa la superficie specifica del bitume e riduce considerevolmente la sua viscosità rendendo il legante più adatto alla miscelazione con gli aggregati freddi e umidi.

APPARECCHIATURA DI PROVA

- Impianto di laboratorio tipo "Schiumatura Wirtgen modello WLB010"
- Bilancia della portata di 1000 g avente risoluzione 1.0 g
- Contenitore metallico di forma cilindrica avente un diametro di 300 mm ± 25 mm ed un'altezza minima di 350 mm
- Asta metallica graduata con una gradazione intervallata di 50 mm ± 1 mm
- Cronometro avente precisione 1/60 di minuto
- Termometro avente scala da 0 °C a 300 °C e risoluzione ± 1 °C

ALLESTIMENTO DELL'APPARECCHIATURA DI PROVA

La fase consiste nell'approntare l'unità di schiumaggio alle connessioni esterne, occorre:

- Collegare l'unità ad una sorgente di corrente elettrica;
- Collegare l'unità ad una sorgente di aria compressa (pressione minima 6 bar continui);
- Avviare l'interruttore di alimentazione.

Successivamente occorre procedere seguendo le seguenti fasi.

Riempimento del serbatoio d'acqua

Il serbatoio dell'acqua deve preliminarmente spurgato dell'aria presente nel sistema attraverso l'apertura della valvola di spurgo, successivamente si deve aprire il rubinetto per l'alimentazione dell'acqua e procedere al riempimento del serbatoio.

Riscaldamento del bitume

Il serbatoio del bitume deve essere preriscaldato ad una temperatura minima di 100 °C, quindi aggiungere bitume precedentemente scaldato in stufa a 180 °C.

Circolo del bitume del sistema
La pompa del bitume deve essere avviata quando il bitume è ben miscelato e fluido, la pompa ha raggiunto la temperatura operativa e vi è pressione di aria nel sistema.

Impostazione del timer
Il timer di uscita, che regola il tempo di apertura della valvola bitume all'ingresso della camera di espansione (consentendo che una quantità di bitume venga scaricata nella camera di espansione), è impostata di volta in volta che si procede con una nuova prova in quanto è funzione della portata di bitume presente.

Controllo della portata del bitume
Controllare con regolarità la portata di uscita del bitume.

Impostazione del flusso d'acqua per la schiumatura
Sistemare il contenitore sotto l'ugello per raccogliere l'acqua per la schiumatura. Operare manualmente agendo sugli interruttori dell'aria e dell'acqua per l'avvio del flusso dell'acqua. La portata può essere regolata alla base del flussometro e verificata, con il misuratore, la quantità del flusso dell'acqua in litri/ora.
La portata è calcolata secondo la seguente espressione:

$$Qacqua = (Qbit \cdot Wadd \cdot 3.6)/100$$

Dove:
$Qacqua$ = portata acqua (l/h)
$Qbit$ = portata bitume (g/s)
$Wadd$ = contenuto schiuma acqua (%)

PROCEDIMENTO DI PROVA

Selezionare la temperatura alla quale si intende determinare le caratteristiche di schiumatura (normalmente a 180 °C). Riscaldare per almeno 5 minuti il bitume alla temperatura impostata e poi procedere con la produzione di schiuma. Per ciascuna temperatura misurare le caratteristiche di schiumatura ai seguenti valori di iniezione d'acqua in peso sul bitume: 1%, 2%, 3% e 4%.
Per ogni percentuale di acqua riferita al legante bituminoso si eseguono due prove e si misura l'altezza (expansion) della schiuma di bitume e il tempo di semi-trasformazione (half-time) e se ne ottiene il valore medio secondo quanto segue:

- Impostare sul timer dell'apparecchiatura il tempo di scarica di 500 g di bitume secondo il seguente rapporto:

  $$Tin = 500\ g/Qbit$$

  Dove:
  Tin = tempo di iniezione (s)
  $Qbit$ = portata bitume (g/s)
- Scaricare la quantità di schiuma in un contenitore metallico;
- Usare l'asta graduata, in dotazione con l'apparecchiatura, per misurare la massima espansione raggiunta nel contenitore: si determina così il rapporto di espansione cioè il rapporto tra il volume raggiunto allo stato schiumoso e il volume finale del legante una volta che la schiuma si è dissipata;
- Misurare, con un cronometro, il tempo in secondi impiegato dalla schiuma a ridursi a metà del suo volume massimo: si determina così il tempo di dimezzamento del bitume;

- Per ogni percentuale d'acqua utilizzata, la prova deve essere ripetuta due volte.

ESPRESSIONE DEI RISULTATI
Pe ogni percentuale di acqua riferita al legante bituminoso si eseguono due prove e si misurano:

1. L'altezza della schiuma di bitume (expansion), attraverso il controllo a vista sull'asta graduata;
2. Il tempo di semi-trasformazione (half-time) misurato con il cronometro.

Si ottiene così, per ogni percentuale di acqua, il valore medio delle due prove.
Il rapporto tra l'espansione del legante bituminoso e il tempo di semi-trasformazione è la capacità del legante bituminoso di "schiumare".

RISULTATI DELLE PROVE
I valori di expansion e half-time corrispondono alla media dei valori ottenuti per ogni percentuale di acqua.
Condizione di accettabilità: scarto di ripetibilità (RDS%) per expansion deve essere ≤ 10 e per half-time ≤ 30 e i due risultati devono rispondere alle seguenti prescrizioni da capitolato:

A. Il valore di expansion ≥ 20
B. Il valore di half-time ≥ 25 s

I risultati sono riportati nel foglio rilevamento dati e rapporto di prova.

31.4.3.3 Bitume modificato hard con polimeri SBS – tipo "B"

I bitumi modificati con polimeri per essere ritenuti idonei e quindi impiegabili, dovranno essere dotati obbligatoriamente di marcatura CE secondo la Norma UNI EN 14023 con sistema di attestazione di conformità di tipo 2+.

I leganti bituminosi modificati sono leganti per uso stradale costituiti da bitumi normali miscelati con diverse tipologie di polimero, in specifici impianti industriali.
I bitumi modificati sono in grado di fornire un miglioramento complessivo delle proprietà fisico-chimiche rispetto ai bitumi normali.
Nelle presenti NTA, il legante di Tipo "B" è un bitume modificato Hard con polimeri Stirene Butadiene Stirene (SBS). La DL, a suo insindacabile giudizio, si riserva la facoltà di autorizzare l'impiego di leganti bituminosi modificati con altre tipologie di polimeri e/o ottenuti con processi di modifica diversi, in relazione a specifiche esigenze progettuali.
I bitumi modificati Hard devono essere tassativamente impiegati, salvo diversa indicazione della DL, nelle miscele indicate nella Tavola Sinottica 2 di cui al § 31.4.2.1.
I principali requisiti tecnici che tali leganti devono rispettare sono definiti nelle norme UNI EN 14023 e UNI/TR 11478 e sono riportati nella seguente tabella:

Bitume modificato Hard con polimeri SBS – Tipo "B"

Caratteristiche	Unità	Metodo di prova	Valore
Penetrazione a 25°C	0.1mm	UNI EN 1426	45-80
Punto di rammollimento	°C	UNI EN 1427	³ 70
Punto di rottura (Fraass)	°C	UNI EN 12593	£ -12
Viscosità dinamica a 160 °C	Pa*s	UNI EN 13302 UNI EN 13702	0.15-0.8
Ritorno elastico a 25□C	%	UNI EN 13398	³ 80
Stabilità allo stoccaggio (variazione del punto di rammollimento)	°C	UNI EN 13399	£ 3

Valori dopo RTFOT (*)			
Variazione di massa	%	UNI EN 12607-1	£ 0.8
Penetrazione residua a 25°C	%	UNI EN 1426 UNI EN 12607-1	³ 40
Incremento del punto di rammollimento	°C	UNI EN 1427 UNI EN 12607-1	£ 5

(*) Rolling Thin Film Oven Test (UNI EN 12607-1)

31.4.3.4 Leganti bituminosi ad alta lavorabilità

Questo tipo di leganti sono additivati con polimeri elastomerici di tipo SBS (o elastomeri equivalenti) e con idonei additivi di varia natura (es. resine cristalline o prodotti simili). Il polimero SBS consente di ridurre la termo-dipendenza del legante mantenendo adeguati livelli di rigidezza ed elasticità nel campo delle alte temperature di esercizio e migliora in generale la risposta meccanica del legante. Gli additivi consentono di migliorare le caratteristiche di lavorabilità in condizioni poco ottimali e favoriscono l'adesione agli aggregati lapidei. Questa tipologia di bitumi può essere utilizzata nel range di temperature tipico delle miscele preparate a caldo, oppure a temperature ribassate (fino a circa 30°C), necessarie a ridurre le emissioni che si generano durante le operazioni di produzione, trasporto e stesa. Il legante dovrà essere prodotto in appositi impianti capaci di disperdere ottimamente la fase polimerica all'interno della fase bituminosa e di garantire una consistenza delle proprietà del legante riportate nella tabella in seguito. Lo stoccaggio dovrà avvenire in apposito serbatorio riscaldato, coibentato e preventivamente svuotato dal bitume preesistente.
I bitumi ad alta lavorabilità dovranno essere dotati obbligatoriamente di marcatura CE secondo la Norma UNI EN 14023 con sistema di attestazione di conformità di tipo 2+. I principali requisiti tecnici che tali leganti devono rispettare sono definiti nelle norme UNI EN 14023 sono riportati nella tabella al § 31.4.3.3 relativo ai bitumi modificati hard modificati con SBS Tipo "B".

31.4.3.5 Emulsioni bituminose cationiche non modificate – tipo "C", "C1" e "C2"

Le emulsioni bituminose cationiche non modificate per essere ritenute idonee e quindi impiegabili, dovranno essere dotati obbligatoriamente di marcatura CE secondo la Norma UNI EN 13808 con sistema di attestazione di conformità di tipo 2+.

Le emulsioni bituminose cationiche non modificate vengono utilizzate nelle seguenti applicazioni:

- mani di ancoraggio MA (legante "C1")
- mani di attacco a freddo MAF (legante "C" e "C1") applicate all'interfaccia di strati in conglomerato bituminoso di tipo chiuso confezionati con bitume normale
- miscele riciclate a freddo MRFE (legante "C2") con emulsione bituminosa e cemento.

I principali requisiti tecnici che tali leganti devono rispettare sono definiti nelle norme UNI EN 13808 e UNI/TR 11362 e sono riportati nella seguente tabella:

Emulsioni bituminose cationiche non modificate – Tipo "C", "C1" e "C2"

Caratteristiche	Unità	Metodo di prova	Legante "C"	Legante "C1"	Legante "C2"
Contenuto di legante	%	UNI EN 1428	63-67	53-57	58-62
Indice di rottura	-	UNI EN 13075-1	da 70 a 155 (classe 3)	da 110 a 195 (classe 4)	-
Miscelazione con	g	UNI EN 12848	-	-	£ 2

cemento					(classe 10)
Sedimentazione (7 giorni di stoccaggio)	%	UNI EN 12847	£ 10 (classe 3)	£ 10 (classe 3)	£ 10 (classe 3)
CARATTERISTICHE DEL BITUME RESIDUO (UNI EN 13074-1)					
Penetrazione a 25°C	0.1 mm	UNI EN 1426	£ 100	£ 220	£ 100
Punto di rammollimento	°C	UNI EN 1427	³ 43	³ 35	³ 43

La DL, a suo insindacabile giudizio, si riserva la facoltà di autorizzare l'impiego di emulsioni bituminose cationiche caratterizzate da un contenuto di legante diverso da quello riportato nella precedente tabella, a condizione che siano rispettati sia il dosaggio finale richiesto per la specifica lavorazione che le caratteristiche del bitume residuo.
Le emulsioni bituminose di tipo "C" sono designate con la sigla C65B3 secondo la norma UNI EN 13808, le emulsioni bituminose di tipo "C1" sono designate con la sigla C55B4 e le emulsioni bituminose di tipo "C2" sono designate con la sigla C60B10.

31.4.3.6 Emulsioni bituminose cationiche modificate - tipo "D1" e "D2"

Le emulsioni bituminose cationiche modificate per essere ritenute idonee e quindi impiegabili, dovranno essere dotati obbligatoriamente di marcatura CE secondo la Norma UNI EN 13808 con sistema di attestazione di conformità di tipo 2+.

Le emulsioni bituminose cationiche modificate vengono utilizzate nelle seguenti applicazioni:

- mani di attacco a freddo MAF (legante "D1") per conglomerati bituminosi di tipo chiuso confezionati con bitume modificato
- miscele riciclate a freddo MRFE (legante "D2") con emulsione bituminosa e cemento.

I principali requisiti tecnici che tali leganti devono rispettare sono definiti nelle norme UNI EN 13808 e UNI/TR 11362 e sono riportati nella seguente tabella:

Emulsioni bituminose cationiche modificate – Tipo "D1" e "D2"

Caratteristiche	Unità	Metodo di prova	Legante "D1"	Legante "D2"
Contenuto di legante	%	UNI EN 1428	63-67	58-62
Indice di rottura	-	UNI EN 13075-1	da 70 a 155 (classe 3)	-
Miscelazione con cemento	g	UNI EN 12848	-	≤ 2 (classe 10)
Sedimentazione (7 giorni di stoccaggio)	%	UNI EN 12847	£ 10 (classe 3)	£ 10 (classe 3)
CARATTERISTICHE DEL BITUME RESIDUO (UNI EN 13074-1)				
Penetrazione a 25 °C	0.1 mm	UNI EN 1426	£ 100	£ 100
Punto di rammollimento	°C	UNI EN 1427	³ 50	³ 55
Ritorno elastico a 25 °C	%	UNI EN 13398	³ 50	³ 50
Energia di coesione con "force ductility" a 10 °C	J/cm^2	UNI EN 13587 UNI EN 13703	³ 1	³ 1

La DL, a suo insindacabile giudizio, si riserva la facoltà di autorizzare l'impiego di emulsioni bituminose cationiche modificate caratterizzate da un contenuto di legante diverso da quello riportato

nella precedente tabella, a condizione che siano rispettati sia il dosaggio finale richiesto per la specifica lavorazione che le caratteristiche del bitume residuo.
Le emulsioni bituminose di tipo "D1" sono designate con la sigla C65BP3 secondo la norma UNI EN 13808 e le emulsioni bituminose di tipo "D2" sono designate con la sigla C60BP10.

31.4.4 Additivi per conglomerati bituminosi

Allo scopo di migliorare le caratteristiche, le proprietà e le prestazioni dei conglomerati bituminosi possono essere aggiunti additivi in concentrazione variabile.
L'aggiunta di additivi può avvenire direttamente nel processo di produzione dei conglomerati bituminosi e/o nel legante bituminoso fornito all'impianto.
La natura e le proprietà degli additivi utilizzati devono essere conformi ai requisiti della norma UNI 11837 che non è una norma di marcatura CE. L'Appaltatore deve presentare le prove indicate al prospetto 5 della UNI 11837 per determinare le prestazioni e gli effetti degli additivi sui conglomerati bituminosi rispetto a miscele non additivate.

In generale, a parità di caratteristiche tecniche, si dovrà preferire prodotti più sostenibili dal punto di vista ambientale.

31.4.4.1 Additivi attivanti di adesione (AA)

Gli attivanti di adesione (AA) sono sostanze chimiche che hanno la funzione di favorire l'adesione tra il bitume e l'aggregato (agenti tensioattivi di adesività).

Il loro utilizzo può essere previsto nel confezionamento di conglomerati bituminosi che prevedono, ad esempio, l'impiego di aggregati vergini di natura acida (es. aggregati porfirici, silicei) oppure nei casi in cui la miscela presenti una suscettività al danno prodotto dall'acqua. Gli attivanti di adesione danno inoltre un contributo all'adesione anche nel caso in cui si eseguano lavorazioni in condizioni meteorologiche non favorevoli oppure in presenza di aggregati umidi oppure quando la pavimentazione è esposta a condizioni severe (temperature basse, frequente spargimento di sali fondenti ecc.). In ogni caso, in funzione della natura degli aggregati, dell' ubicazione della pavimentazione e dello strato interessato dall'intervento, la DL si riserva la facoltà di definire, a suo insindacabile giudizio, le circostanze in cui dovranno essere impiegati gli attivanti di adesione.

Con adeguato anticipo rispetto all'inizio dei lavori, l'Appaltatore deve fornire alla DL la scheda tecnica dell'additivo AA che intende impiegare, per permetterne l'accettazione. In relazione alle caratteristiche dello stesso, alle specifiche condizioni di impiego e alla natura degli aggregati, devono inoltre essere forniti una descrizione delle modalità di aggiunta dell'AA presso l'impianto di produzione e il dosaggio di additivo da usare, specificandolo nello studio preliminare della miscela di progetto. In linea generale, il dosaggio varia in funzione della natura mineralogica dell'aggregato, delle caratteristiche di viscosità del legante e della miscela da porre in opera (es. dosaggi generalmente maggiori nelle miscele drenanti).

L'immissione degli attivanti di adesione deve essere realizzata con attrezzature e procedure idonee, tali da garantire il corretto dosaggio ed una uniforme dispersione nel legante.

31.4.4.2 Attivanti chimici funzionali (ACF)

Gli attivanti chimici funzionali (ACF), noti anche come "rigeneranti", sono composti chimici che devono essere utilizzati, ad insindacabile giudizio della DL, come additivi, nei conglomerati bituminosi che prevedono l'impiego di fresato prodotti con bitume normale oppure modificato.

Gli ACF sono additivi specificatamente formulati per migliorare la tecnologia del riciclaggio a caldo. Essi hanno la funzione di rigenerare le caratteristiche del bitume invecchiato proveniente dalla fresatura di pavimentazioni bituminose, svolgendo le seguenti azioni:

- disperdenti al fine di ottimizzare l'omogeneizzazione del legante nel conglomerato finale ed ottenere una miscela sufficientemente lavorabile;
- ricostituenti delle proprietà chimiche e fisiche del bitume invecchiato;
- attivanti di adesione;
- peptizzanti e diluenti nei confronti del bitume invecchiato ancora legato alle superfici degli elementi lapidei costituenti il conglomerato fresato;
- antiossidanti in contrapposizione agli effetti ossidativi, ai raggi ultravioletti e alle azioni termiche subite dalla pavimentazione.

Considerando che gli ACF svolgono anche la funzione di attivanti di adesione, nel caso in cui in un conglomerato bituminoso sia previsto l'impiego di ACF, l'aggiunta degli AA può essere omessa.
L'Appaltatore deve fornire alla DL la scheda tecnica dell'additivo ACF che intende impiegare, per permetterne l'accettazione sentito eventualmente anche il parere del progettista. In relazione alle caratteristiche dello stesso e alle specifiche condizioni di impiego, devono inoltre essere forniti una descrizione delle modalità di aggiunta dell'ACF presso l'impianto di produzione e il dosaggio di additivo da usare (da esprimere in funzione della percentuale di fresato impiegato), specificandolo nello studio preliminare della miscela di progetto.
L'immissione degli attivanti chimici funzionali deve essere realizzata con attrezzature e procedure idonee, tali da garantire il corretto dosaggio ed una uniforme dispersione nel legante.

31.4.4.3 Additivi chimici per conglomerati bituminosi tiepidi (ACT)

Gli additivi chimici per la produzione di conglomerati bituminosi tiepidi (ACT) sono composti chimici polifunzionali a formulazione complessa che vengono utilizzati come additivi nei conglomerati bituminosi tiepidi, anche in presenza di materiale riciclato proveniente dalla fresatura di pavimentazioni bituminose.
Essi svolgono una triplice azione in quanto permettono di:

- rigenerare le caratteristiche del bitume invecchiato presente nell'aggregato RA eventualmente impiegato (in alcuni casi);
- promuovere le proprietà di adesione del bitume agli aggregati;
- consentire l'abbassamento delle temperature di produzione, posa in opera e compattazione dei conglomerati bituminosi rispetto a quelle tradizionalmente impiegate, migliorando la lavorabilità delle miscele cosiddette "tiepide".

Nel caso in cui la tipologia di ACT utilizzata svolga sia la funzione di attivante di adesione che di rigeneranti del bitume invecchiato, qualora si preveda l'impego di conglomerato bituminoso di recupero l'aggiunta di attivanti chimici funzionali può essere omessa.

Con adeguato anticipo rispetto all'inizio dei lavori, l'Impresa deve fornire alla DL la scheda tecnica dell'additivo ACT che intende impiegare, per permetterne l'accettazione sentito eventualmente anche il parere del progettista. In relazione alle caratteristiche dello stesso e alle specifiche condizioni di impiego, devono inoltre essere forniti una descrizione delle modalità di aggiunta dell'ACT presso l'impianto di produzione e il dosaggio di additivo da usare, specificandolo nello studio preliminare della miscela di progetto
L'immissione degli additivi chimici per conglomerati bituminosi tiepidi deve essere realizzata con attrezzature e procedure idonee, tali da garantire il corretto dosaggio ed una uniforme dispersione nel legante.

31.4.5 Fibre

Le fibre impiegate in ambito autostradale sono di cellulosa (FC) oppure miste (es. vetro e cellulosa). In generale, è preferibile l'impiego di fibre di tipo misto, costituite da fibre di vetro pressate e agglomerate tramite l'impiego di prodotti addensanti quali ad esempio la cellulosa, aventi l'obiettivo di evitare la dispersione in aria della fibra di vetro. La DL, a suo insindacabile giudizio, si riserva la facoltà di autorizzare l'impiego di fibre differenti da quelle descritte.
Con adeguato anticipo rispetto all'inizio dei lavori, l'Appaltatore deve fornire alla DL la scheda tecnica delle fibre che intende impiegare, per permetterne l'accettazione. In relazione alle caratteristiche delle stesse e alle specifiche condizioni di impiego, devono inoltre essere forniti una descrizione delle modalità di aggiunta delle fibre presso l'impianto di produzione e il loro dosaggio, specificandolo nello studio preliminare della miscela di progetto
Le fibre vanno inserite, con procedure e attrezzature idonee, nella camera di miscelazione del conglomerato bituminoso, allo scopo di garantirne la disgregazione, il corretto dosaggio e una dispersione uniforme all'interno della miscela di conglomerato.

31.5 Criteri di accettazione delle miscele speciali

31.5.1 Usura con impiego di argilla espansa

Le miscele di usura confezionate con inerti di argilla espansa, conferiscono alla superficie stradale incrementi di caratteristiche di aderenza rispetto alle miscele con soli inerti naturali, ed una certa media fono-assorbenza.
La capacità fonoassorbente deve essere, in termini di assorbimento a, pari almeno a 0,2 alle frequenze di campionamento di 600 Hz e 0,3 alle frequenze di campionamento di 800 e 1000 Hz. Le misure andranno effettuate con apparecchiatura RI.MA. o similari.

31.5.1.1 Composizione granulometrica delle miscele

La miscela degli aggregati deve avere una composizione granulometrica compresa nel seguente fuso:

UNI EN 933-1	Passante totale in peso %
Setaccio 14	100
" 12,5	
" 10	82-93
" 8	
" 6,3	57-77
" 4	39-59
" 2	25-38
" 0,5	12-22
" 0,125	7-13
" 0,063	6-10

La percentuale di argilla espansa deve essere compresa tra il 10% ed il 15% in peso.
Dalla granulometria eseguita sulla pezzatura 3/11mm, la percentuale di trattenuto al setaccio UNI da 8 mm deve essere inferiore od uguale al 10% in peso; inoltre, la percentuale di passante al setaccio UNI con apertura 2 mm deve essere inferiore od uguale al 10% in peso.

L'utilizzazione di percentuali maggiori o minori di argilla espansa, con diverse caratteristiche meccaniche, di composizione e/o granulometriche per impieghi non specificati dalle presenti N.T.A., devono essere definite di volta in volta in fase di studio e di progetto con la D.L.

31.5.1.2 Contenuto di legante

Il tenore di bitume, di tipo Normale eo Hard, (§ 31.4.2) del tipo "A" riferito al peso totale degli aggregati deve essere compreso tra il 5,5% ed il 7,0%.

31.5.1.3 Aggregati

L'aggregato di argilla espansa dovrà possedere marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA della norma europea armonizzata UNI EN 15732 oppure alla UNI EN 13055 con sistema di attestazione di conformità 2+ e dichiarazione di prestazione DoP. Per le argille occorre il rispetto dei seguenti requisiti:

- Per usura chiusa: argilla espansa di tipo "resistente" pezzatura: 3/11 mm con resistenza del granulo allo schiacciamento $\geq$ 2,7 MPa (UNI EN 13055-2);
- valore di levigabilità VL. (UNI EN 1097-8) ≥ 65.

L'argilla espansa, in cantiere, deve essere convenientemente protetta dalla pioggia con teli di plastica o ammannita al coperto.

31.5.1.4 Posa in opera delle miscele

Valgono le stesse prescrizioni indicate per i conglomerati tradizionali (§ 31.9.2).

31.6 Criteri di accettazione per altri materiali e lavorazioni

31.6.1 Riduzione della fessurazione di riflessione

Nel caso di demolizione e ricostruzione anche parziale degli strati in conglomerato bituminoso, al fine di ridurre il fenomeno della fessurazione di riflessione (aumentando la durata a fatica) e prevenire possibili infiltrazioni di acqua proveniente dalla superficie stradale, nel caso di pavimentazioni:

- poste a cavallo di un giunto di ripresa longitudinale;
- che presentano fessurazioni sul fondo del cavo fresato;

è prevista la posa in opera di un geocomposito, ottenuto dall'accoppiamento di una geomembrana auto-termo-adesiva (realizzata con un compound bituminoso elastomerico SBS) con un geosintetico di rinforzo, dotato di idonee caratteristiche (vedi §31.6.1.1).
L'utilizzo del geocomposito può essere anche previsto sui giunti longitudinali fra lastra di pavimentazione composita polifunzionale (PCP) e pavimentazione semirigida/flessibile affiancata, prima della stesa della mano d'attacco nel caso di ricostruzione dell'usura drenante sovrastante.
Da un punto di vista esecutivo, l'applicazione del geocomposito deve avvenire su una superficie fresata perfettamente regolare garantendo l'assenza di una macrotessitura eccessiva attraverso la limitazione della velocità di avanzamento durante le operazioni di fresatura a freddo della pavimentazione, da definire in accordo alla DL in funzione del tipo di apparecchiatura di cui dispone l'Appaltatore.
Al termine della fresatura, deve essere eseguita una accurata rimozione del materiale residuo mediante spazzolatura a secco prevedendo, a discrezione della DL, una finitura con l'ausilio di getti di aria compressa. La profondità del piano di posa del geocomposito rispetto alla superficie della pavimentazione finita deve essere almeno pari a 7 cm.

Prima dell'applicazione del geocomposito sulla superficie fresata, si deve verificare che la pavimentazione sia perfettamente asciutta e che la temperatura superficiale sia ≥ 10 °C (condizioni ottimali di utilizzo si hanno per Tsup ≥ 20 °C).
Qualora non si verifichi una o entrambe le condizioni richiamate, la posa in opera del geocomposito non è consentita ed eventuali violazioni da parte dell'Appaltatore comporteranno l'applicazione di una penale del 10% sul prezzo della lavorazione oppure, ad insindacabile giudizio della DL, la completa rimozione e l'applicazione del nuovo geocomposito a perfetta regola d'arte a spese e cura dell'Appaltatore.
Nel caso di applicazione al di sopra di un giunto longitudinale, la larghezza trasversale minima del geocomposito deve essere pari ad almeno 50 cm (minimo 25 cm rispetto ad entrambi i lati della fessura, necessari per garantire un adeguato ancoraggio trasversale al geocomposito).
L'applicazione dei fogli di geocomposito deve avvenire garantendo una sovrapposizione di testa fra fogli consecutivi di almeno 15 cm effettuata in modo che il lembo superiore sia disposto lungo il senso di marcia della finitrice.
Prima della posa in opera dello strato in conglomerato bituminoso, i geocompositi devono essere sottoposti ad una compattazione preferibilmente con rullo gommato per favorire una perfetta adesione alla superficie fresata ed evitare la formazione di pieghe durante il passaggio della finitrice e dei mezzi di cantiere.
Al fine di garantire un ancoraggio ottimale del geocomposito al piano di posa, il conglomerato bituminoso sovrastante deve essere posto in opera ad una temperatura >150 °C e/o comunque rispondente con le specifiche riportate nella scheda tecnica del prodotto (temperature inferiori di stesa possono essere autorizzate ad insindacabile giudizio della DL) per promuovere un'adeguata fusione del compound bituminoso elastomerico e la conseguente attivazione dello speciale strato auto-termo-adesivo posto alla base del geocomposito. In caso di utilizzo in abbinamento con conglomerati bituminosi tiepidi, i geocompositi utilizzati dovranno garantire un ancoraggio ottimale anche a temperature compatibili con la lavorazione tiepida (120°C – 140°C). Relativamente ai requisiti richiesti per la miscela di conglomerato bituminoso applicata sopra il geocomposito e alle relative lavorazioni strettamente connesse, si rimanda a quanto prescritto al § 31.3.

31.6.1.1 Requisiti del geocomposito per fessure di riflessione

Il geocomposito deve essere conforme alla normativa UNI EN 15381 o UNI EN 14695 con sistema di attestazione di conformità di tipo 2+.

I geocompositi devono essere ottenuti dall'accoppiamento di una geomembrana auto-termo-adesiva (realizzata con un compound bituminoso elastomerico SBS) e di una armatura costituita da geosintetici di rinforzo (multistrato in poliestere non tessuto stabilizzato ad elevatissima grammatura e fibre di vetro multidirezionali e/o geogriglie in fibra di vetro).
I geocompositi devono essere dotati di una superficie inferiore auto-termo-adesiva (per favorire l'adesione con lo strato di conglomerato bituminoso sottostante) ricoperta da un film protettivo da asportare all'atto della messa in opera. Inoltre, i geocompositi devono essere provvisti di una superficie superiore ricoperta con un fine strato minerale per evitare (soprattutto in climi caldi) l'adesione alle ruote dei mezzi di cantiere e promuovere la solidarizzazione con lo strato di conglomerato bituminoso sovrastante al momento della stesa a caldo.
I geocompositi, forniti in rotoli opportunamente stoccati durante le lavorazioni e di larghezza pari ad almeno 1 m (50 cm nel caso di fessure dovute a giunti longitudinali), devono avere modalità di applicazione compatibili con le normali pratiche di manutenzione stradale e caratteristiche conformi alle specifiche riportate nella seguente tabella:

Caratteristica	Norma	Requisito
Spessore	UNI EN 1849-1	³ 2,5 mm
Resistenza a trazione L/T	UNI EN 12311-1	³ 35 kN/m
Allungamento a rottura L/T	UNI EN 12311-1	³ 4%
Resistenza alla compattazione di uno strato di congl. bitum.	UNI EN 14692	esito positivo
Impermeabilità dinamica ad una pressione di 500 kPa	UNI EN 14694	esito positivo

31.6.2 Rinforzo strutturale delle pavimentazioni

Nel caso di pavimentazioni che presentano dissesti di tipo strutturale, per i quali si rendano necessari interventi di ripristino della capacità portante realizzati tramite la sostituzione degli strati ammalorati, sul fondo del cavo fresato si potrà richiedere la posa in opera di geocompositi.
I geocompositi sono ottenuti dall'accoppiamento di una geomembrana auto-termo-adesiva (realizzata con un compound bituminoso elastomerico SBS) con un geosintetico di rinforzo, dotato di idonee caratteristiche (vedi §31.6.2.1).
L'applicazione del geocomposito, estesa alla singola corsia di marcia oppure a più corsie, può essere prevista per interventi di risanamento strutturale limitando la profondità della pavimentazione esistente da rimuovere mediante fresatura, apportando i seguenti benefici:

- Incremento della vita utile a fatica;
- Maggiore diffusione delle tensioni verticali sugli strati non legati;
- Contenere la risalita di fessure esistenti (fessurazione di riflessione) agendo come stress absorbing membrane interlayer (SAMI);
- Evitare infiltrazioni di acqua negli strati profondi e conseguenti risalite di materiale fino;
- Favorire lavorazioni notturne su tratte ad elevato traffico.

Da un punto di vista esecutivo, l'applicazione del geocomposito deve avvenire su una superficie fresata perfettamente regolare, garantendo l'assenza di una macrotessitura eccessiva attraverso la limitazione della velocità di avanzamento durante le operazioni di fresatura a freddo della pavimentazione, da definire in accordo alla DL in funzione del tipo di apparecchiatura di cui dispone l'Appaltatore.
Al termine della fresatura, deve essere eseguita una accurata rimozione del materiale residuo mediante spazzolatura a secco prevedendo, a discrezione della DL, una finitura con l'ausilio di getti di aria compressa. La profondità del piano di posa del geocomposito rispetto alla superficie della pavimentazione finita deve essere almeno pari a 7 cm.
Prima dell'applicazione del geocomposito sulla superficie fresata, si deve verificare che la pavimentazione sia perfettamente asciutta e che la temperatura superficiale sia ³ 10 °C (condizioni ottimali di utilizzo si hanno per T_{sup} ³ 20 °C). Qualora non si verifichino anche solo una delle condizioni richiamate, la posa in opera del geocomposito non è consentita ed eventuali violazioni da parte dell'Appaltatore comporteranno l'applicazione di una penale del 10% sul prezzo della lavorazione oppure, ad insindacabile giudizio della DL, la completa rimozione e l'applicazione del nuovo geocomposito a spese e cura dell'Appaltatore.
L'applicazione dei fogli di geocomposito deve avvenire in direzione longitudinale parallela all'asse della carreggiata, avendo cura di allineare i fogli e distenderli senza pieghe, garantendo una sovrapposizione longitudinale tra fogli adiacenti di almeno 10 cm ed una sovrapposizione di testa fra fogli consecutivi di almeno 15 cm effettuata in modo che il lembo superiore sia disposto lungo il senso di marcia della finitrice. È raccomandato lo sfalsamento dei sormonti di testa di almeno 50 cm al fine di evitarne la sovrapposizione.
Prima dell'applicazione dello strato in conglomerato bituminoso, i geocompositi devono essere sottoposti ad una compattazione preferibilmente con rullo gommato per favorire una perfetta

adesione alla superficie fresata ed evitare la formazione di pieghe durante il passaggio della finitrice e dei mezzi di cantiere.
Al fine di garantire un ancoraggio ottimale del geocomposito al piano di posa, il conglomerato bituminoso sovrastante deve essere posto in opera ad una temperatura ³ 150 °C (temperature inferiori di stesa possono essere autorizzate ad insindacabile giudizio della DL) per promuovere un'adeguata fusione del compound bituminoso elastomerico e la conseguente attivazione dello speciale strato auto-termo-adesivo posto alla base del geocomposito.
Relativamente ai requisiti richiesti per la miscela di conglomerato bituminoso applicata sopra il geocomposito e alle relative lavorazioni strettamente connesse, si rimanda a quanto prescritto nel § 31.3.

31.6.2.1 Requisiti del geocomposito per rinforzo strutturale

Il geocomposito deve essere conforme alla normativa UNI EN 15381 o UNI EN 14695 con sistema di attestazione di conformità di tipo 2+.

I geocompositi devono essere ottenuti dall'accoppiamento di una geomembrana auto-termo-adesiva (realizzata con un compound bituminoso elastomerico SBS) e di una armatura costituita da geosintetici di rinforzo (multistrato in poliestere non tessuto stabilizzato ad elevatissima grammatura e fibre di vetro multidirezionali e/o geogriglie in fibra di vetro).
I geocompositi devono essere dotati di una superficie inferiore auto-termo-adesiva (per favorire l'adesione con lo strato di conglomerato bituminoso sottostante) ricoperta da un film protettivo da asportare all'atto della messa in opera. Inoltre, i geocompositi devono essere provvisti di una superficie superiore ricoperta con un fine strato minerale per evitare (soprattutto in climi caldi) l'adesione alle ruote dei mezzi di cantiere e promuovere la solidarizzazione con lo strato di conglomerato bituminoso sovrastante al momento della stesa a caldo.
I geocompositi, forniti in rotoli opportunamente stoccati durante le lavorazioni e di larghezza pari ad almeno 1 m, devono avere modalità di applicazione compatibili con le normali pratiche di manutenzione stradale e caratteristiche conformi alle specifiche riportate nella seguente tabella:

Caratteristica	Norma	Requisito
Spessore	UNI EN 1849-1	³ 2,5 mm
Resistenza a trazione L/T	UNI EN 12311-1	³ 35 kN/m
Allungamento a rottura L/T	UNI EN 12311-1	³ 4%
Resistenza alla compattazione di uno strato di congl. bitum.	UNI EN 14692	esito positivo
Impermeabilità dinamica ad una pressione di 500 kPa	UNI EN 14694	esito positivo

La definizione degli interventi (profondità e posizionamento del geocomposito) viene effettuata su specifica indicazione progettuale fornita dalla DL (eventualmente supportata dalla struttura Pavimentazioni e Laboratori), la scelta del prodotto avviene anche in considerazione delle sopracitate indicazioni e la posa in opera in conformità alle prescrizioni fornite dal produttore o dalla DL.
Gli interventi di risanamento con geocomposito devono essere programmati in periodi in cui le condizioni metereologiche consentano una perfetta riuscita del lavoro. La DL, a suo insindacabile giudizio, potrà sospendere l'applicazione del geocomposito quando le condizioni climatiche non consentano una lavorazione a perfetta regola dell'arte.

31.6.3 Trattamenti superficiali d'irruvidimento

31.6.3.1 Microtappeti a freddo (tipo Macro Seal)

31.6.3.1.1 Descrizione

Il microtappeto a freddo è costituito dall'applicazione di un sottile strato di malta bituminosa impermeabile irruvidita.
L'impiego dello slurry-seal deve essere previsto al fine di ripristinare una condizione di aderenza accettabile su tappeti con CAT<45 o in particolari tratti ad elevata pericolosità (curve con raggi di curvatura piccoli, tratti in forte pendenza e /o tratte ad elevata incidentalità).
La malta è formata da una miscela di inerti particolarmente selezionati, impastati a freddo con un bitume modificato ed emulsionato.
La miscelazione e la stesa sono effettuate con una apposita macchina semovente ed il trattamento, che normalmente non richiede rullatura, può essere aperto al traffico quasi immediatamente.

31.6.3.1.2 Inerti

Essi risultano composti dall'insieme degli aggregati grossi degli aggregati fini e del filler che può essere proveniente dalla frazione fina o di additivazione. Gli aggregati grossi e fini sono costituiti da elementi ottenuti dalla lavorazione di materiali naturali (rocce, aggregati naturali tondeggianti, aggregati naturali a spigoli vivi).

Gli aggregati impiegati dovranno essere qualificati in conformità al Regolamento UE n°305/2011 sui prodotti da costruzione. Ciascuna fornitura dovrà essere accompagnata dalla marcatura CE ai sensi della norma europea armonizzata UNI EN 13043 con sistema di attestazione di conformità 2+.
Per l'aggregato grosso devono essere impiegati esclusivamente inerti frantumati di cava con:
- perdita in peso alla prova Los Angeles, eseguita sulle singole pezzature (UNI EN 1097-2), minore del 18% e non superiore al 16%;
- resistenza alla levigabilità PSV (Polish Stone Value) determinata su tali pezzature uguale o maggiore di 44 (UNI EN 1097-8).

L'aggregato fino sarà composto da sabbia di frantumazione. In ogni caso la qualità delle rocce e degli elementi litoidi da cui è ricavata per frantumazione la sabbia dovrà avere alla prova Los Angeles, (Norma UNI EN 1097-2), eseguita su granulato della stessa provenienza, la perdita in peso non superiore al 25%.
L'equivalente in sabbia determinato sulla sabbia o sulla miscela delle due dovrà essere maggiore od uguale all'80% (UNI EN 933-8).

In ogni caso la qualità delle rocce e degli elementi litoidi da cui è ricavata per frantumazione la sabbia deve avere alla prova Los Angeles (UNI EN 1097-2 eseguita su granulato della stessa provenienza, perdita in peso non superiore al 25%.
La somma dei trattenuti in peso delle sabbie impiegate ai setacci ISO 3310 con apertura maggiore di 2 mm non deve superare, nella curva granulometrica finale, il 10% in peso, quando le stesse sabbie provengono da rocce aventi un valore di VL. minore od uguale a 43.
L'equivalente in sabbia determinato sulla sabbia o sulla miscela delle due deve essere maggiore od uguale a 70% (UNI EN 933-8).

31.6.3.1.3 Additivi

Gli aggregati filler provenienti dalle sabbie potranno essere integrati con filler di apporto (normalmente cemento Portland 325) e devono soddisfare i requisiti richiesti al § 31.4.1.2 e § 31.4.1.3.

31.6.3.1.4 Miscele

Le miscele devono avere una composizione granulometrica compresa nei fusi di seguito elencati in funzione dello spessore finale richiesto:

Spessore minimo	9 mm	6 mm	4 mm
Setacci Serie UNI-EN 933/1			
14 passante %	100	100	100
10 " "	90-98	91-97	100
6,3 " "	72-87	72-88	100
4 " "	52-73	53-74	84-100
2 " "	36-54	35-54	60-84
0,5 " "	16-30	16-30	24-40
0,125 " "	6-14	6-15	8-16
0,063 " "	4-10	4-11	6-11

Miscele con spessori finali diversi devono essere concordate di volta in volta con la D.L.

31.6.3.1.5 Malta bituminosa

Il legante bituminoso deve essere costituito da un bitume modificato ed emulsionato al 60% a rottura controllata, modificata con elastomeri sintetici incorporati in fase continua (acqua) prima dell'emulsionamento (§ 31.4.2.3, tipo "B")
Per la realizzazione dell'emulsione si dovrà esclusivamente impiegare bitume di tipo "D2" (§ 31.4.2.5). L'impiego di altri tipi di bitumi potrà essere autorizzato esclusivamente dalla DL.
Devono essere impiegati additivi chimici per facilitare l'adesione tra il legante bituminoso e gli inerti, per intervenire sul tempo di rottura dell'emulsione.
Il loro dosaggio, ottimizzato con uno studio di laboratorio, deve essere in funzione delle condizioni esistenti al momento dell'applicazione e specialmente in relazione alla temperatura ambiente e del piano di posa.

31.6.3.1.6 Composizione e dosaggi della miscela

La malta bituminosa deve avere i seguenti requisiti:

Spessore minimo		9 mm	6 mm	4 mm
Dosaggio della malta	Kg/m^2	13-20	8-14	6-10
Dimensione max inerti	mm	10-12	7-9	5-6
Contenuto di bitume modificato residuo, % in peso sugli inerti	%	5-7,5	6-8	7-10

31.6.3.1.7 Acqua

L'acqua utilizzata nella preparazione della malta bituminosa a freddo deve essere dolce, limpida, non inquinata da materie organiche e qualsiasi altra sostanza nociva.

31.6.3.1.8 Confezionamento e posa in opera

Il confezionamento dell'impasto deve essere realizzato con apposita macchina impastatrice-stenditrice semovente costituita essenzialmente da:

- Serbatoio dell'emulsione bituminosa
- Tramoggia degli aggregati lapidei
- Tramoggia del filler
- Dosatore degli aggregati lapidei
- Nastro trasportatore
- Spruzzatore dell'emulsione bituminosa
- Spruzzatore dell'acqua
- Mescolatore
- Stenditore a carter

Le operazioni di produzione e stesa devono avvenire in modo continuo, connesso alla velocità di avanzamento della motrice, nelle seguenti fasi:

- ingresso della miscela di aggregati e del filler nel mescolatore
- aggiunta dell'acqua di impasto e dell'additivo
- miscelazione ed omogeneizzazione della miscela di inerti e del suo grado di umidità
- aggiunta dell'emulsione bituminosa
- miscelazione ed omogeneizzazione dell'impasto
- colamento dell'impasto nello stenditore a carter
- distribuzione dell'impasto nello stenditore, stesa e livellamento.

Prima di iniziare la stesa del microtappeto si deve procedere ad una energica pulizia della superficie stradale oggetto del trattamento, manualmente o a mezzo di mezzi meccanici: tutti i detriti e le polveri devono essere allontanati. In alcuni casi, a giudizio della D.L., si dovrà procedere ad una omogenea umidificazione della superficie stradale prima dell'inizio delle operazioni di stesa.
In particolari situazioni la D.L. potrà ordinare, prima dell'apertura al traffico, una leggera saturazione del microtappeto a mezzo di stesa di sabbia di frantoio (da 0,5 a 1 Kg di sabbia per m^2 di pavimentazione) ed eventualmente una modesta compattazione da eseguirsi con rulli in seguito specificati.
Al termine delle operazioni di stesa il microtappeto deve presentare un aspetto superficiale regolare ed uniforme esente da imperfezioni (sbavature, strappi, giunti di ripresa), una notevolissima scabrosità superficiale, una regolare distribuzione degli elementi litoidi componenti la miscela, assolutamente nessun fenomeno di rifluimento del legante.
In zone con sollecitazioni superficiali trasversali forti (curve ecc.) è opportuno che la malta bituminosa venga leggermente rullata prima dell'indurimento. La rullatura deve essere effettuata con apposito rullo gommato leggero a simulazione del traffico veicolare munito anche di piastra riscaldante per favorire l'evaporazione dell'acqua contenuta nella miscela stessa.
La produzione o la posa in opera del microtappeto deve essere interrotta con temperatura dell'aria inferiore ai 15°C ed in caso di pioggia.

31.6.3.2 Microtappeti a freddo (Tipo Macro Seal) fibrorinforzati

31.6.3.2.1 Descrizione

Il microtappeto fibrorinforzato a freddo è costituito dall'applicazione di un sottile strato di malta bituminosa impermeabile irruvidita additivata con fibre minerali (§ 31.4.4) da impiegare in zone soggette a forti sollecitazioni superficiali e trasversali (curve, salite, ecc.).

La malta è formata da una miscela di inerti particolarmente selezionati, impastati a freddo con un bitume modificato ed emulsionato.

La miscelazione e la stesa sono effettuate con una apposita macchina semovente ed il trattamento, che normalmente non richiede rullatura, può essere aperto al traffico quasi immediatamente.

31.6.3.2.2 Inerti

Valgono le prescrizioni § 31.6.3.1.2.

31.6.3.2.3 Additivi

Valgono le prescrizioni § 31.6.3.1.3.

31.6.3.2.4 Miscele

Valgono le prescrizioni § 31.6.3.1.4.

31.6.3.2.5 Fibre minerali

Mediante idonea apparecchiatura la malta bituminosa deve essere additivata con fibre minerali in percentuali in peso riferite agli inerti variabili tra lo 0,6% e 1,0 %.

31.6.3.2.6 Malta bituminosa

Valgono le prescrizioni § 31.6.3.1.5.

31.6.3.2.7 Composizione e dosaggi della miscela

La malta bituminosa deve avere i seguenti requisiti:

Spessore minimo		9 mm	6 mm	4 mm
Dosaggio della malta	Kg/m^2	13-20	8-14	6-10
Dimensione max inerti	mm	10-12	7-9	5-6
Contenuto di bitume modificato residuo, % in peso sugli inerti	%	5-7,5	6-8	7-10
Dosaggio fibre minerali, riferite agli inerti	%	0,6-1,0	0,6-1,0	0,6-1,0

31.6.3.2.8 Acqua

L'acqua utilizzata nella preparazione della malta bituminosa a freddo deve essere dolce, limpida, non inquinata da materie organiche e qualsiasi altra sostanza nociva.

31.6.3.2.9 Confezionamento e posa in opera

Vedi § 31.6.3.1.8.

31.6.3.3 Resina bicomponente ed inerti ad elevata rugosità ed alta resistenza all'abrasione (mono strato mono granulare)

31.6.3.3.1 Descrizione

Il trattamento consiste nell'operazione di irruvidimento del manto stradale da effettuare con inerti di elevate caratteristiche di resistenza all'abrasione ed all'urto, tramite resina bicomponente da applicare sulla pavimentazione preesistente.

31.6.3.3.2 Aggregati

Gli aggregati dovranno possedere marcatura CE e DoP secondo la norma europea armonizzata UNI EN 13242 con sistema di attestazione di conformità 2+.
L'aggregato deve essere bauxite calcinata rientrante nella classe granulometrica d/D = 1/4 mm.

In alternativa, previa approvazione della DL, si può utilizzare un aggregato naturale o industriale, rientrante nella stessa classe granulometrica, che risponda ai seguenti requisiti:

- resistenza alla frammentazione LA determinata mediante la prova Los Angeles (UNI EN 1097-2) LA £ 22;
- il valore di levigabilità PSV (UNI EN 1097-8) deve essere ³ 52;

31.6.3.3.3 Legante

Il legante sintetico deve essere composto da resine bicomponenti, generalmente a base epossi-amminica, e possedere caratteristiche specifiche che saranno valutate e approvate dalla DL prima dell'applicazione sulla base di una adeguata documentazione tecnica fornita dall'Appaltatore, eventualmente integrata da specifiche indagini di laboratorio. In particolare, il legante sintetico deve risultare perfettamente compatibile con il substrato a base bituminosa (conglomerato bituminoso) e gli aggregati.

31.6.3.3.4 Posa in opera

Preventivamente la superficie della strada deve essere vigorosamente spazzolata, per togliere la polvere e qualsiasi corpo estraneo. Inoltre, non devono essere presenti macchie di umidità (soprattutto in galleria) sulla superficie, eventualmente da rimuovere mediante getto d'aria calda.
Eventuali presenze d'olio sulla superficie stradale devono essere rimosse usando una soluzione detergente, seguita da un risciacquo con acqua pulita. Le strisce esistenti della segnaletica orizzontale, di materiale termoplastico, devono essere asportate mediante irradiatura e/o bocciardatura.
I due componenti della resina devono essere portati a temperature idonee per facilitarne la spruzzatura, secondo le prescrizioni del fornitore. La resina deve essere spruzzata sulla superficie stradale tramite un sistema a bassa pressione controllato elettronicamente che consenta un continuo monitoraggio dei parametri di miscelazione dei due componenti e quello di stesa da parte dell'operatore e che indichi istantaneamente con segnale sonoro e visivo la presenza, e la possibile causa, di una anomalia nel circuito.

Il sistema di miscelazione deve garantire una perfetta omogeneizzazione dei componenti della resina nonché un controllo costante del rapporto stechiometrico di miscelazione che consenta di verificare il rispetto della tolleranza indicato nella scheda di prodotto.
I dosaggi, espressi in kg/m², di resina e di graniglia da applicare sulle pavimentazioni variano in funzione del piano di posa interessato e della granulometria della graniglia da utilizzare e devono essere compresi nei limiti riportati nella seguente tabella:

Tabella 7.1

	RESINA kg/m^2	GRANIGLIA (dopo pulizia) kg/m^2
Granulometria 1/4 mm:	0.9¸3.0	5¸10

N.B.: I dosaggi dei materiali impiegati devono essere approvati dalla DL in funzione della tessitura superficiale del piano di posa.

La graniglia deve essere distribuita accuratamente attraverso una idonea attrezzatura approvata dalla DL. In particolare, il veicolo spargi graniglia deve avere la possibilità di controllare e variare la quantità della graniglia distribuita. Inoltre, gli pneumatici del veicolo utilizzato per l'applicazione della graniglia devono essere di larghezza adeguata al fine di prevenire un'eccessiva concentrazione del carico sulla superficie trattata.

31.6.3.4 Irruvidimento con macchina pallinatrice

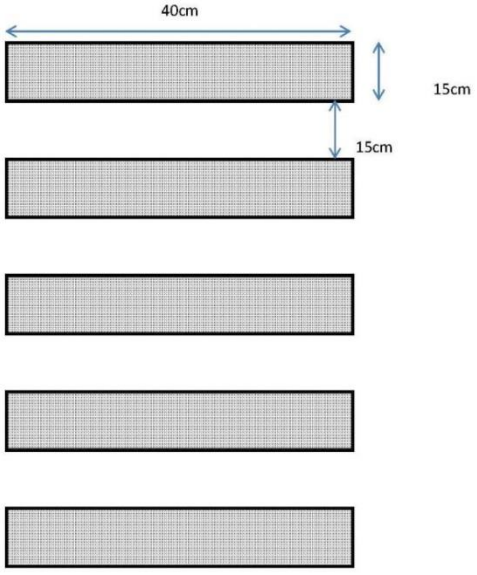
Le superfici con ridotto valore del coefficiente di aderenza trasversale CAT (vedi § 31.3.7.3) possono essere riportate a valori superiori con irruviditici a secco denominate pallinatrici che non lasciano superfici trattate con striature orientate in senso longitudinale e trasversale, per non incrementare il rumore di rotolamento e non creare l'effetto rotaia.

I pallini proiettati dalla macchina vanno recuperati per aspirazione e reimpiegati previa eliminazione delle particelle distaccate dai manti stradali, in modo da incrementare comunque i valori di macrotessitura HS ed ottenere il massimo incremento possibile per il CAT, in relazione al tipo di miscele presenti nel punto trattato. Le nuove misure dopo il trattamento andranno eseguite entro sessanta giorni dalla lavorazione.

La fase di pallinatura dovrà essere applicata in modo omogeneo e non dovrà produrre sulla superficie del manto aree di sgranatura.

31.6.3.5 Rumble strips

Le rumble strips sono delle bande sonore in grado di emettere un marcato rumore di rotolamento al passaggio degli pneumatici, causando al contempo una moderata vibrazione del veicolo.
Tali bande sonore, ottenute con una particolare tipologia di irruvidimento, vanno eseguite in corrispondenza dei margini della carreggiata (o di corsia nella mezzeria delle rampe di svincolo bidirezionali) e sono finalizzate a richiamare l'attenzione del conducente (es. nel caso di distrazione per uso di dispositivi elettronici, colpo di sonno) per contrastare fenomeni di svio del traffico veicolare.
Da un punto di vista esecutivo, l'intervento consiste in bande di fresatura, a geometria definita, che vengono realizzate da una fresa sagomata in maniera tale che il rullo fresante crei nel manto stradale delle strisce fresate di profondità non superiore a 10 mm, come da schema di riportato nella figura seguente.



La DL deve comunicare all'Appaltatore l'esatta posizione trasversale delle rumble strips sulla carreggiata.
In caso di esecuzione su nuova pavimentazione, le rumble strips possono essere realizzate solo trascorso un tempo minimo di 3 settimane dalla stesa della pavimentazione.
Le rumble strips sono da considerarsi in corso di sperimentazione, la DL, previo accordo con l'Appaltatore, si riserva la facoltà di modificare in qualsiasi momento la geometria di realizzazione.

31.6.4 Sigillatura di fessure o di giunti di strisciata

Gli interventi di sigillatura delle fessure presenti sulla pavimentazione longitudinalmente o trasversalmente devono essere effettuati tempestivamente in modo da bloccare o contenere il fenomeno di rottura appena questo si manifesta, evitando così la veloce degradazione del tappeto, soprattutto nei casi di distacco del giunto longitudinale di strisciata.
Se le lesioni sono molto diffuse la DL deve effettuare una attenta valutazione economica per stabilire l'intervento più idoneo tra quelli elencati nel seguito.

31.6.4.1 Sigillatura delle fessure della pavimentazione eseguita con bitume modificato e lancia termica

La sigillatura delle fessure delle pavimentazioni, eseguita con bitumi modificati colati a caldo, deve essere effettuata con idonee attrezzature in grado di effettuare operazioni di pulitura delle stesse fessure per tutta la profondità, riscaldamento delle pareti e colatura del legante fino alla loro completa otturazione.
In particolare, tali attrezzature devono essere costituite da una apparecchiatura per l'allargamento superficiale delle fessure, da un compressore che attraverso una lancia termica munita di un dispositivo di riscaldamento eroga aria calda e da una caldaia capace di mantenere costante ed uniforme la temperatura del prodotto.
Da un punto di vista operativo, per fessure di ampiezza compresa tra 3 mm e 12 mm, si procede preliminarmente all'allargamento superficiale delle fessure mediante idonea attrezzatura (dispositivi dotati di ruote dentate denominati "rotary impact routers" oppure, sebbene meno raccomandate, seghe diamantate) per una larghezza compresa tra 15 mm e 30 mm ed una profondità di almeno 20 mm.
Prima dell'applicazione del legante, le fessure devono essere perfettamente pulite ed asciugate al fine di garantire una adesione ottimale tra il legante ed i bordi della fessura stessa. A tale proposito, deve essere previsto un trattamento con un getto di aria calda per mezzo della lancia termica allo scopo di:
- ottenere la perfetta e profonda pulitura della fessura;
- eliminare eventuali tracce di umidità;
- riscaldare le pareti ad una temperatura di circa 80 °C evitando surriscaldamenti eccessivi che potrebbero danneggiare il legante presente nel conglomerato bituminoso circostante, indebolendo i bordi della fessura.

Il sigillante del tipo bitume modificato (vedi §31.4.2.3) uniformemente riscaldato alla temperatura di consistenza fluida deve essere versato con apposito dispositivo nell'interno della lesione fino alla sua completa otturazione assicurando la saturazione di eventuali microlesioni superficiali ai bordi della stessa lesione con la creazione di una striscia continua della larghezza variabile da 2 a 5 cm.
Questo tipo di intervento può essere anche prescritto prima della stesa di un tappeto di rinforzo quando il supporto presenta lesioni superficiali tali che non risulta conveniente realizzare interventi di sostituzione totale dello stesso supporto.
I leganti bituminosi impiegati dovranno essere marcati CE e dotati di DoP attestante la conformità alla norma europea armonizzata di riferimento UNI EN 14023 (allegato ZA).
Per una riuscita ottimale della sigillatura, l'intervento dovrebbe essere eseguito in primavera oppure in autunno e mai durante periodi estivi.
L'esecuzione della sigillatura deve essere sospesa immediatamente in caso di pioggia o di temperature superficiali della pavimentazione inferiori a 10 °C.

31.6.4.2 Sigillatura della linea di contatto tra cordolo e pavimentazione nei ponti e viadotti eseguita con bitume modificato e lancia termica

Si richiamano espressamente le norme di cui al precedente §31.6.4.1. Inoltre, in questo caso, occorre aver cura di asportare anche con sistemi tradizionali eventuali parti estranee di conglomerato bituminoso non addensato nella zona fra pavimentazione-cordolo (o New Jersey).

31.6.4.3 Sigillatura di lesioni longitudinali / trasversali o mediante nastro bituminoso preformato e autodesivo

31.6.4.3.1 Descrizione

Il nastro in bitume modificato preformato industrialmente deve essere impiegato per:
- sigillare e chiudere fessure superficiali al fine di impedire l'infiltrazione di acqua negli strati sottostanti;
- sigillare e collegare giunti di stesa e di ripresa per impedire la disgregazione del conglomerato bituminoso;
- impedire, nel caso di miscele drenanti, eventuali fenomeni di sgranamento superficiale in corrispondenza dei giunti e delle fessure superficiali.

Più in generale, il nastro autoadesivo può essere impiegato in tutti i casi di discontinuità della pavimentazione.

31.6.4.3.2 Composizione e caratteristiche geometriche

Il nastro è composto da bitume 70/100 modificato con una percentuale minima di polimeri SBSr pari al 16% in peso. La larghezza del nastro deve essere compresa tra 40 mm a 100 mm con spessore pari a 4 mm + 0.2 mm.

31.6.4.3.3 Requisiti di idoneità

Ogni fornitura dovrà essere accompagnata da scheda tecnica e scheda di sicurezza, e rispondere ai seguenti requisiti:
- Punto di rammollimento (UNI EN 1427) > 200°C
- Penetrazione (UNI EN 1426) £ 30 dmm

31.6.4.3.4 Posa in opera

La posa in opera del nastro deve essere eseguita su superfici asciutte e libere da impurità (es. oli contaminanti, polveri e detriti, residui di polverino di gomma degli pneumatici), con temperatura dell'aria ³ 10 °C (per temperature inferiori l'applicazione non è consentita).
Da un punto di vista esecutivo, il nastro viene semplicemente appoggiato sulla fessura per poi raggiungere un ancoraggio definitivo sotto l'azione dei carichi trasmessi dal traffico.
Terminata l'applicazione, la superficie del nastro deve essere cosparsa uniformemente con materiale idoneo (polvere di ardesia, calce, cemento, gesso o filler) per evitare nella fase iniziale fenomeni di adesione tra nastro e pneumatici che potrebbero comportare la rimozione o inficiare il corretto posizionamento al di sopra della fessura.
Il nastro non deve essere utilizzato:
- su fessure trasversali;
- su fessure di larghezza inferiore a 5 mm o superiore a 20 mm.

In tali casi le fessure devono essere sigillate con bitume modificato colato a caldo senza usare il nastro preformato (vedi §31.6.4.1).

In funzione della larghezza della fessura devono essere impiegati nastri di adeguata larghezza. In particolare, il rapporto tra la larghezza del nastro e la larghezza della fessura deve essere ³ 2,5. Ne consegue che nastri di diversa larghezza hanno campi di utilizzo di seguito elencati:

a) larghezza nastro pari a 40 mm: utilizzabile per fessure di larghezza £ 16 mm;
b) larghezza nastro pari a 40 mm: utilizzabile per fessure di larghezza £ 20 mm;
c) larghezza nastro pari a 100 mm: indicata solo in caso di sigillature particolari

31.7 Criteri di accettazione delle miscele

In requisiti previsti per le miscele in conglomerato bituminoso e per il loro materiali costituenti sono riportati nei paragrafi 31.3, 31.4 e 31.5.

Il conglomerato verrà confezionato in impianti fissi automatizzati, con idonee caratteristiche, mantenuti sempre perfettamente funzionanti in ogni loro parte. Tali impianti possono avere caratteristiche di funzionamento differenti (es. sistemi di riscaldamento indiretto degli aggregati provenienti da fresature di pavimentazioni ammalorate, alimentazione di tipo continuo Drum Mixer o di tipo discontinuo con sistema a vagliatura, doppio tamburo, ecc.). La produzione di ciascun impianto non dovrà essere spinta oltre la sua potenzialità, per garantire il perfetto essiccamento, l'uniforme riscaldamento della miscela ed una perfetta vagliatura che assicuri una idonea riclassificazione delle singole classi degli aggregati.

Ogni impianto dovrà assicurare il riscaldamento del bitume alla temperatura richiesta ed a viscosità uniforme fino al momento della mescolazione nonché il perfetto dosaggio sia del bitume che dell'additivo. In ogni caso, la temperatura di miscelazione dovrà essere inferiore a 175°C nel caso di impiego di bitumi modificati e inferiore di 20°C rispetto a quanto indicato nella UNI EN 13108 nel caso di bitumi normali di diverso grado.

Si farà uso di almeno 3 classi di aggregati (più l'eventuale aggiunta di CB di recupero) con predosatori in numero corrispondente alle classi impiegate. Il tempo di mescolazione sarà stabilito in funzione delle caratteristiche dell'impianto, in misura tale da permettere un completo ed uniforme rivestimento degli aggregati lapidei con il legante.

La temperatura degli aggregati all'atto della mescolazione dovrà essere compresa approssimativamente tra:

tra 140 °C e 170 °C per i conglomerati a caldo prodotti con bitume normale;
tra 150 °C e 180 °C per i conglomerati a caldo prodotti con bitume modificato Hard;
tra 120 °C e 140 °C per i conglomerati tiepidi.

Per la verifica delle suddette temperature gli essiccatori, le caldaie e le tramogge degli impianti dovranno essere muniti di termometri fissi perfettamente funzionanti e periodicamente tarati. L'umidità degli aggregati all'uscita dell'essiccatore non dovrà superare lo 0,5% in peso.

Il tempo di mescolazione della miscela e le dimensioni dell'impasto dovranno essere stabiliti in funzione delle caratteristiche dell'impianto e della miscela. Tali parametri devono essere definiti con l'obiettivo di ottenere un completo ed uniforme rivestimento degli aggregati da parte del legante, oltre maggiore riattivazione possibile del bitume contenuto nel conglomerato bituminoso di recupero eventualmente utilizzato. Per tale ragione, nel caso di produzioni di conglomerati bituminosi tiepidi potrebbero essere necessari tempi di mescolazione più elevati a causa delle minori temperature operative. In questo caso, il tempo di mescolazione potrà essere concordato con il fornitore dell'additivo. Qualora sia richiesto l'uso di attivanti chimici funzionali (ACF), attivanti di adesione e/o additivi chimici per la produzione di miscele tiepide, la loro immissione deve essere realizzata con

attrezzature e procedure idonee, tali da garantire il corretto dosaggio ed una uniforme dispersione nel legante.
Le fibre, se previste, vanno inserite con procedure e attrezzature idonee nella camera di miscelazione allo scopo di garantirne la disgregazione, il corretto dosaggio e una dispersione uniforme all'interno della miscela di conglomerato.

31.8 Documenti di prequalifica

Per la verifica preliminare di idoneità degli studi di progetto che l'Appaltatore intende adottare per ogni sito di produzione si deve trasmettere al Direttore dei Lavori, per approvazione almeno 15 giorni prima dell'inizio delle attività, la documentazione di seguito elencata.
La mancata presentazione della documentazione preliminare comporta la non autorizzazione all'inizio dell'esecuzione dei lavori, né saranno accettate eventuali lavorazioni svolte prima dell'approvazione delle modalità esecutive.

- La certificazione del sistema di controllo della produzione (FPC) per gli aggregati e per le miscele;
- il Piano Generale di Fabbricazione e Controlli dello stabilimento di produzione con l'indicazione delle tecnologie, metodologie e sistemi di controllo utilizzati in impianto (Piano Controllo della Qualità di produzione) per garantire la qualità attesa. Il piano dovrà essere corredato da una procedura che identifichi le modalità di qualifica dei fornitori nonché le modalità di identificazione e rintracciabilità dei prodotti e di tenuta sotto controllo delle strumentazioni di misura;
- Lo studio della miscela bituminosa nel rispetto dei contenuti del presente articolo di capitolato corredata da certificati conformità e di laboratorio, nello specifico**,** deve includere la documentazione a supporto dell'adempimento dei requisiti del DM CAM, con particolare riferimento a (vedi §31.3.5.3):
  - la percentuale complessiva di materia RRS utilizzata in ciascuna miscela strato secondo le modalità di certificazione indicate al §2.1.2 del DM CAM;
  - la tipologia e la percentuale di utilizzo di ciascuna materia RSS impiegata;
  - l'eventuale adozione di tecnologie per la produzione di conglomerati tiepidi (ad es. additivi, bitumi ad alta lavorabilità).
  - Marcatura CE, DOP e schede tecniche delle miscele (§ 31.3) e di tutti i materiali impiegati marcati CE(§ 31.4);
  - Curva granulometrica (valore % - § 31.3.2);
  - Contenuto di bitume (§ 31.3.3);
  - Contenuto delle fibre (§ 31.4.5);
  - Requisiti volumetrici e meccanici:
    - contenuto dei vuoti misurato su provini compattati con pressa giratoria a 3 livelli di rotazione - categoria e valore reale - (§ 31.3.6.1);
    - resistenza a trazione indiretta (ITS), coefficiente di trazione indiretta (CTI), sensibilità all'acqua stabilità (ITSR) con livello di compattazione N2 (§ 31.3.6.2);
    - modulo di rigidezza (§ 31.3.6.3);
    - sarà facoltà del Direttore dei Lavori, sentito il progettista, richiedere la prova per la determinazione del modulo dinamico (come norma del modulo complesso). Tale prova dovrà indicativamente essere eseguita alle temperature 0, 10, 15, 20 e 30 ed alle frequenze di 0,1 , 0,2 , 0,5 , 1,0 , 2,0 , 5,0 , 10, 20 Hz, con idonei sistemi dinamici (UNI EN 12697-26).

- Massa volumica teorica massima del conglomerato non compattato (Gmm) e massa volumica di campioni compattati con pressa giratoria (Gmb)
- Per le miscele di usura drenante: resistenza all'abrasione (§ 31.3.7.1);
- Per le miscele di usura: misura del volume dei vuoti nella miscela secca (VMA - Voids in Mineral Aggregate), la porzione di questi riempita di bitume (VFA - Voids Filled with Asphalt)
- Per le singole pezzature di aggregato i certificati di laboratorio a dimostrazione delle caratteristiche di cui al § 31.4;
- Per il conglomerato bituminoso di recupero la documentazione a supporto della cessazione di qualifica del rifiuto di cui all'art. 3 del DM 69/2018 come indicato al § 31.4.2;
- Per i bitumi i certificati di laboratorio a dimostrazione delle caratteristiche di cui al § 31.4.3;

- La descrizione dell'impianto utilizzato e del suo funzionamento per il confezionamento delle miscele con l'indicazione:
  - del layout dell'impianto e dei cumuli di aggregati;
  - delle temperature degli aggregati all'atto della miscelazione;
  - della modalità di misura dell'umidità degli aggregati (compreso fresato);
  - della distanza dal cantiere, del tempo totale del trasporto, della stima della temperatura delle miscele all'arrivo in cantiere (nel rispetto delle temperature limite delle miscele immediatamente dietro la finitrice di cui al § 31.9.2), del numero di mezzi da impiegare per garantire la continuità della stesa in funzione delle specifiche del progetto;
- I mezzi utilizzati per la posa ed il costipamento nel rispetto dei contenuti di cui al § 31.9.2.

Ad insindacabile giudizio della DL o se previsto negli elaborati progettuali, prima dell'inizio dei lavori, l'Appaltatore è tenuto a predisporre un campo prova per verificare l'idoneità delle miscele, dei mezzi d'opera e mettere a punto le modalità esecutive atte a raggiungere le caratteristiche finali richieste. La zona del campo prova e la superficie minima di stesa è scelta dalla DL o sarà definita negli elaborati progettuali.
La documentazione sopra riportata è da presentare anche per le miscele speciali di cui a § 31.5.
I requisiti d'accettazione potranno inoltre essere accertati con ulteriori prove a cura della Direzione Lavori sia in fase di prequalifica presso il fornitore (controllo non vincolante per l'autorizzazione), sia in corso d'opera, prelevando il materiale in sito o ancora presso il fornitore, prima e dopo avere effettuato le lavorazioni.

31.9 Modalità esecutive

In tutte le fasi esecutive, comprese le fasi di preparazione e di sistemazione finale delle aree, per gli aspetti e le problematiche relative a temi ambientali, quali impatti acustici e vibrazionali, emissioni in atmosfera, impatto sulle acque superficiali, sotterranee e sul suolo, impatti sulla componente fauna e vegetazione, si rimanda integralmente a quanto prescritto dalla Normativa Nazionale e Regionale vigente, alle prescrizioni degli Enti preposti alla tutela ambientale, nonché alle condizioni ambientali contenute nelle autorizzazioni ed alle disposizioni del Capitolato Ambientale allegato al progetto esecutivo.
In particolare, prima della posa in opera dei conglomerati bituminosi, è necessaria la programmazione delle lavorazioni impattanti al fine di informare preventivamente il territorio sulle attività che comportano disagi alla popolazione in termini di vibrazioni, rumore e produzione di polvere.
Laddove il progetto, il contratto o i documenti di gara prevedano l'utilizzo delle tecnologie dei conglomerati tiepidi per il confezionamento della miscela, i materiali utilizzati, le proprietà

meccaniche della miscela dovranno rispettare i requisiti definiti in detti documenti e le prescrizioni specifiche contenute in questo articolo di capitolato, con particolare riferimento alle temperature di stesa della miscela.
L'Appaltatore è tenuto a dimostrare, attraverso gli opportuni controlli in fase di esecuzione, il rispetto dei suddetti requisiti.

31.9.1 Preparazione della superficie di stesa

Prima della posa di uno strato di conglomerato bituminoso deve essere eseguita la preparazione della superficie di stesa per garantire una adeguata continuità all'interfaccia tra lo strato inferiore e lo strato di nuova realizzazione.
A tale scopo, in funzione del tipo di strato inferiore sul quale andrà realizzato il nuovo strato di conglomerato bituminoso, si procederà con l'applicazione di una mano di ancoraggio oppure di una mano d'attacco.
Le mani d'ancoraggio vengono applicate al di sopra di strati inferiori privi di bitume (misto granulare, misto cementato) impiegando un'emulsione bituminosa cationica da bitume normale, rispondente ai requisiti tecnici indicati nel paragrafo §31.4.2.4, con un dosaggio di bitume residuo compreso tra 0,5 e 1,0 kg/m^2.
Le mani d'attacco vengono applicate al di sopra degli strati inferiori legati a bitume (inclusi strati realizzati con miscele riciclate a freddo con emulsione bituminosa o bitume schiumato) impiegando emulsioni bituminose normali oppure modificate rispondenti ai requisiti tecnici indicati nei paragrafi §31.4.2.4 e §31.4.2.5. Le mani di attacco sono da applicare anche in caso di stese di uno strato in due passate.
A seconda che lo strato di conglomerato bituminoso che si deve realizzare sopra l'interfaccia contenga bitume normale oppure modificato, l'emulsione bituminosa utilizzata come mano d'attacco deve essere rispettivamente non modificata oppure modificata con polimeri, con un dosaggio di bitume residuo pari a:

- 0,25 kg/m^2 strati inferiori di recente esecuzione con superficie non fresata
- 0,50 kg/m^2 strati inferiori esistenti con superficie fresata o strati riciclati a freddo

Nei conglomerati bituminosi ad elevato tenore di vuoti si deve procedere con l'applicazione di una mano d'attacco al di sopra dello strato inferiore in conglomerato bituminoso eseguendo la spruzzatura a caldo di bitume "Hard" (rispondente ai requisiti tecnici indicati nel §31.4.2.3) con un dosaggio variabile tra 0,6 e 2 kg/m^2.
In condizioni ambientali particolari che non permettono una buona adesione tra il piano di posa e la mano d'attacco (ad esempio elevata umidità ambientale), previa autorizzazione da parte della DL, può essere impiegata in alternativa un'emulsione bituminosa modificata con polimeri (rispondente ai requisiti tecnici indicati nel §31.4.2.5) con un dosaggio di bitume residuo variabile tra 0,5 e 1,0 kg/m^2.
È prevista l'applicazione di una emulsione bituminosa non modificata oppure modificata con polimeri sulla base del criterio richiamato in precedenza, uniformemente distribuita sui bordi verticali, rispondente ai requisiti tecnici indicati nei paragrafi §31.4.2.4 e §31.4.2.5, con un dosaggio pari a 0,25 kg/m2 di bitume residuo.
Prima dell'applicazione della mano d'attacco, nel caso di superfici fresate, si deve eseguire una pulizia mediante spazzolatura meccanica e/o aspirazione, al fine di rimuovere tutte le impurità presenti.
Per garantire uniformità di distribuzione ed evitare la creazione di zone a maggiore o minore adesione, prima dell'applicazione dell'emulsione bituminosa deve essere verificato il corretto funzionamento della macchina spruzzatrice. È necessario attendere circa un'ora prima della

realizzazione dello strato superiore in conglomerato bituminoso a meno di diverse indicazioni da parte della Direzione Lavori.
Non è ammessa l'applicazione di mani d'ancoraggio e mani di attacco quando le condizioni meteorologiche generali possono compromettere la perfetta riuscita del lavoro (temperatura dell'aria inferiore a 5 °C, presenza di pioggia, superficie di stesa bagnata).
La mano d'attacco, dopo essere stata applicata sulla superficie di posa, deve essere sottoposta allo spandimento, con mezzi idonei, di graniglia, sabbia o filler, per proteggere la superficie dal passaggio dei mezzi di cantiere. Eventuali granuli non ancorati alla superficie devono essere rimossi prima della stesa dello strato di conglomerato bituminoso. La superficie così preparata deve essere interdetta alla circolazione dei mezzi, ad eccezione dei veicoli per il trasporto del conglomerato in fase di approvvigionamento delle finitrici.
Ai fini della verifica dei corretti dosaggi di bitume residuo impiegato per le mani di ancoraggio e per le mani d'attacco, ad insindacabile giudizio della DL, possono essere eseguiti controlli diretti durante l'applicazione eventualmente supportati da una documentazione che l'Appaltatore è tenuta a fornire per comprovare il quantitativo di materiale effettivamente utilizzato (es. certificati di pesatura delle autocisterne, bolle di consegna).

31.9.2 Posa in opera dello strato in conglomerato bituminoso

Il conglomerato bituminoso utilizzato per un generico strato deve essere steso sul piano finito dello strato sottostante dopo che sia stata accertata dalla DL la rispondenza di quest'ultimo ai requisiti di quota, sagoma, densità e portanza indicati in progetto. Questa prescrizione si applica anche per lo strato di base.
La posa in opera del conglomerato bituminoso viene effettuata a mezzo di macchine vibrofinitrici in perfetto stato di efficienza, dotate di automatismi di auto-livellamento e sistemi vibranti capaci di assicurare un adeguato addensamento iniziale tale da consentire il raggiungimento delle proprietà volumetriche finali dichiarate per la miscela.
Le vibrofinitrici devono lasciare uno strato finito perfettamente sagomato, privo di sgranamenti e fessurazioni, nonché esente da difetti dovuti a segregazione degli elementi litoidi più grossi.
Il trasporto del conglomerato bituminoso dall'impianto di produzione al cantiere di stesa deve avvenire mediante un numero di mezzi idonei sufficiente per alimentare senza interruzioni le macchine finitrici durante le operazioni di posa. I mezzi di trasporto, di adeguata portata, devono essere dotati di teloni di copertura per evitare i raffreddamenti superficiali eccessivi della miscela e formazione di crostoni, oltre a proteggere la massa trasportata dalla pioggia.
L'impianto di confezionamento del conglomerato deve essere collocato, preferibilmente, entro un raggio di 80 km dalla zona di stesa.
La posa in opera del conglomerato bituminoso deve essere sospesa in concomitanza di condizioni meteorologiche sfavorevoli tali da pregiudicare la perfetta riuscita delle lavorazioni, determinate da una temperatura della superficie di stesa < 10 °C ovvero dalla presenza di un film d'acqua continuo sul piano di posa.
L'Appaltatore deve rimuovere e ricostruire a propria cura e spese gli strati eventualmente compromessi per i motivi richiamati.

31.9.3 Temperature di miscelazione e stesa

La massima temperatura di miscelazione all'impianto di produzione del conglomerato bituminoso con bitume tal quale è inferiore di 20°C rispetto a quella massima imposta dalle normative della serie UNI EN 13108 in base al grado del bitume utilizzato. Nel caso di uso di conglomerato bituminoso

con bitumi duri secondo la norma UNI EN 13305, o bitumi modificati secondo la norma UNI EN 14023 la temperatura di miscelazione deve essere inferiore o uguale a 175°C.

La temperatura effettiva di miscelazione sarà scelta sulla base delle temperature esterne, delle caratteristiche dei materiali componenti e loro modalità di stoccaggio, della distanza del cantiere dall'impianto, in modo da avere la corretta temperatura di posa.

La temperatura massima di stesa verrà stabilita in progetto e dipenderà dal tipo di bitume utilizzato e dalla distanza tra la zona di esecuzione dei lavori e il più prossimo centro abitato. Nel caso in cui la temperatura non dovesse risultare stabilita, l'Appaltatore dovrà fare riferimento a quanto riportato in seguito che ha comunque validità di prescrizione generale.

- Per conglomerati bituminosi preparati con bitumi modificati aventi valori di viscosità superiori a 0,6 Pa*s a 160°C (conformi a quanto previsto al § 31.4.3.3), la temperatura massima all'atto della stesa - misurata immediatamente dietro alla finitrice – dovrà essere inferiore o uguale a 175°C. Per tali bitumi, la temperatura minima di compattazione non dovrà mai scendere sotto ai 140°C nel caso in cui non vengano impiegate tecnologie a tiepido e mai sotto ai 130°C nel caso in si impieghino queste ultime. Premesso ciò, il range di temperatura ottimale per l'impiego di tali bitumi potrà essere discusso con il fornitore della tecnologia sia in caso di utilizzo a caldo che a tiepido.

- Per conglomerati bituminosi preparati con bitumi modificati aventi valori di viscosità inferiori a 0,6 Pa*s a 160°C (conformi a quanto previsto al § 31.4.3.3), la temperatura massima all'atto della stesa - misurata immediatamente dietro alla finitrice – dovrà essere inferiore o uguale a 165°C. Per tali bitumi, la temperatura minima di compattazione non potrà mai scendere sotto ai 130°C nel caso in cui non vengano impiegate tecnologie a tiepido e mai sotto ai 120°C nel caso in si impieghino queste ultime.

- Per conglomerati bituminosi preparati con bitumi normali, la temperatura massima all'atto della stesa – controllata immediatamente dietro la vibrofinitrice - dovrà essere inferiore o uguale a 150°C. Per tali bitumi la temperatura di compattazione non dovrà scendere mai sotto ai 120°C nel caso non vengano utilizzate tecnologie a tiepido e mai sotto ai 100°C nel caso in cui vengano utilizzate queste ultime.

Per ciascuna tipologia di bitume, il raggiungimento dei limiti massimi e minimi previsti potrà essere ottenuto utilizzando una delle tecnologie a tiepido riportate in questo articolo di Capitolato (§§ 31.4.3.4 e 31.4.4.3).
il range ottimale di impiego potrà essere discusso con il fornitore della tecnologia e condiviso con la Direzione Lavori.
Nel caso in cui si presentino condizioni (es. metereologiche, logistiche) non favorevoli al contenimento delle temperature durante la fase di compattazione, l'Appaltatore potrà proporre alla Direzione Lavori temperature di stesa superiori a quelle qui previste senza comunque superare mai i 175°C, nel caso di bitumi modificati, e mai i 165°C nel caso di bitumi normali. La Direzione Lavori si riserva a suo insindacabile giudizio l'utilizzo di temperature diverse da quelle qui prescritte.

31.9.4 Formazione dei giunti

Nella stesa si deve porre la massima cura alla formazione dei giunti longitudinali preferibilmente ottenuti mediante tempestivo affiancamento di una strisciata alla precedente, eventualmente con l'impiego di due finitrici.

Qualora ciò non sia possibile il bordo della striscia già realizzata deve essere rivestito mediante spruzzatura di emulsione bituminosa cationica al 55% in peso (rispondente ai requisiti tecnici indicati nel §31.4.2.4) per assicurare la saldatura della striscia successiva. Se il bordo risulterà danneggiato o arrotondato, prima dell'applicazione dell'emulsione bituminosa, si deve procedere al taglio verticale con idonea attrezzatura.

La sovrapposizione dei giunti longitudinali tra i vari strati deve essere programmata e realizzata in maniera che essi risultino fra di loro sfalsati di almeno 10 cm e non cadano mai in corrispondenza delle due fasce della corsia di marcia di circa 1 m di larghezza, normalmente interessate dalle ruote dei veicoli pesanti. Tale sovrapposizione deve ricadere in corrispondenza della segnaletica orizzontale di delimitazione fra le corsie o al più al centro delle corsie stesse. Nel caso in cui uno strato sia steso in due passate queste devono essere sovrapposte nel più breve tempo possibile e comunque previa applicazione di idonea mano di attacco come indicato al precedente § 31.10.1.

Nel caso in cui gli interventi prevedano il rifacimento dello strato superficiale di corsie aventi larghezze inferiori alla larghezza delle finitrici normalmente utilizzate (circa 3 m) per i lavori di manutenzione (ad esempio corsia di emergenza di larghezza inferiore a 2,5 m), devono essere utilizzati mezzi di stesa adeguati, di cui l'Appaltatore deve dotarsi, per garantire che l'ubicazione del giunto longitudinale di stesa rispetti le condizioni prima descritte.

Relativamente a lavori di ricostruzione in fresatura dello strato superficiale, per garantire la massima continuità fra la stesa realizzata e lo strato superficiale esistente è necessario l'impiego di una idonea quantità di mano d'attacco costituita da emulsione bituminosa spruzzata anche sul bordo verticale dello scavo.

31.9.5 Compattazione

La compattazione deve avvenire con rullo metallico da effettuarsi subito a ridosso della stesa dello strato per evitare che il giunto longitudinale possa poi presentarsi aperto e per evitare eventuali irregolarità e/o ondulazioni.

I giunti trasversali derivanti dalle interruzioni giornaliere devono essere realizzati sempre previo taglio ed asportazione della parte terminale di azzeramento.
La compattazione del conglomerato bituminoso deve iniziare subito dietro la vibrofinitrice (sul materiale appena steso) e deve essere condotta a termine senza interruzioni con la metodologia più adeguata a ottenere un addensamento uniforme in ogni punto ed evitare fessurazioni e scorrimenti nello strato appena steso.

L'addensamento deve essere realizzato mediante l'utilizzo di rulli gommati e/o di rulli con ruote metalliche di idoneo peso e caratteristiche tecnologiche avanzate in modo da assicurare il raggiungimento delle massime densità ottenibili.
L'addensamento di norma dovrà essere realizzato con rulli dei seguenti tipi:

- strato di base e collegamento - rullo tandem vibrante più rullo gommato con almeno sette ruote e peso del rullo di 140 kN, oppure rullo combinato ferro-gomma. Per le operazioni di finitura dei giunti e riprese deve essere utilizzato un rullo tandem a ruote metalliche del peso massimo di 140 kN;
- strato di usura – rullo tandem vibrante con peso di almeno 100 kN, oppure combinato ferro-gomma. Per le operazioni di finitura dei giunti e riprese deve essere utilizzato un rullo tandem a ruote metalliche del peso massimo di 140 kN;
- strato di usura drenante - rulli metallici di peso massimo di 120 kN e caratteristiche tecnologiche avanzate in modo da assicurare il raggiungimento delle massime densità

ottenibili. Per le operazioni di finitura dei giunti e riprese può essere utilizzato un rullo tandem a ruote metalliche del peso massimo di 10 t.

In ogni caso l'Appaltatore avrà cura di assicurarsi che la compattazione sia condotta con la metodologia più adeguata a ottenere uniforme addensamento in ogni punto ed evitare fessurazioni e scorrimenti nello strato appena steso.

Al termine della compattazione gli strati di base, collegamento e usura devono avere una densità uniforme in tutto lo spessore non inferiore al 98% della densità di progetto (riferita al livello di compattazione N2 - vedi §31.3.5.1) determinata su un campione di miscela compattata in laboratorio ed appartenente alla stessa tipologia, stesso impianto di produzione, lotto/giornata lavorativa dello strato investigato (UNI EN 12697-6).

La superficie degli strati deve presentarsi priva di irregolarità ed ondulazioni. Un'asta rettilinea lunga 4 m posta in qualunque direzione sulla superficie finita di ciascuno strato deve aderirvi uniformemente, tollerando uno scostamento di 5 mm.

31.10 Controlli in corso d'opera

31.10.1 Controlli dell'Appaltatore

L'Appaltatore è tenuto a documentare in apposito report l'esito delle seguenti verifiche da trasmettere alla Direzione Lavori:

- verifica della compatibilità delle condizioni metereologiche, della temperatura ambientale e della temperatura dello strato su cui è posata la miscela;
- verifica della temperatura della miscela del conglomerato all'atto della stesa, controllata immediatamente dietro la finitrice di ogni mezzo giunto in cantiere;
- In ottemperanza ai CAM strade, l'Appaltatore dovrà altresì effettuare misurazioni dirette della temperatura di uscita della miscela bituminosa dall'impianto e registrare tali dati.
- rispondenza dei documenti di trasporto con le forniture all'arrivo in cantiere e la rispondenza delle caratteristiche per lo specifico impiego previsto a progetto e alla qualifica approvata dal Direttore dei Lavori;
- rispondenza dei mezzi d'opera utilizzati e delle modalità di posa alle specifiche di capitolato, di progetto e di qualifica;
- rispondenza della sagoma dello strato di pavimentazione alle previsioni progettuali a mezzo di opportuno rilevo di cui al § 31.10.1.1.

31.10.1.1 Controllo della sagoma pacchetto di pavimentazione

L'Appaltatore dovrà provvedere, a propria cura e spese, alla verifica topografica della sagoma degli strati di pavimentazione rispetto alle previsioni progettuali prima di procedere con la posa di ogni strato successivo. Il rilievo dovrà individuare, sia graficamente, sia in una apposita tabella suddivisa per wbs, i volumi di conglomerato bituminoso suddivisi per miscela e per fornitore. Il rilievo, ed ogni suo successivo aggiornamento da redigere su base mensile se in presenza di lavorazioni, deve essere trasmesso al Direttore dei Lavori in formato dwg.

31.10.2 Controlli della Direzione Lavori

La Direzione Lavori, in contraddittorio e con l'assistenza dell'Appaltatore, eseguirà i controlli descritti nei seguenti paragrafi.

La frequenza delle prove di seguito specificate deve ritenersi come minima e potrà essere infittita ad insindacabile giudizio del Direttore dei Lavori. Le prove aggiuntive che si rendono necessarie per aspetti legati all'organizzazione dell'Appaltatore saranno a suo onere.

Resta inteso che prima della posa del primo strato di conglomerato bituminoso deve essere verificata la regolarità e la portanza dello strato sottostante secondo le indicazioni del presente capitolato speciale.

I controlli indicati nel seguito per la verifica del singolo strato riguardano:

- la miscela sciolta prelevata in sito durante le operazioni di stesa;
- i materiali costituenti;
- lo strato finito.
- in ottemperanza ai CAM strade, documentazione relativa al Controllo periodico della Direzione Lavori (DL) presso l'impianto di produzione di conglomerato bituminoso, finalizzato a verificarne le modalità di gestione.

31.10.2.1 Miscela sciolta all'atto della stesa

Con frequenza giornaliera per ogni tipo di miscela e impianto di provenienza, indipendentemente dalle quantità posate, la Direzione Lavori effettuerà il prelievo di idoneo quantitativo per la costituzione da n. 3 provini di conglomerato bituminoso sciolto dalla vibrofinitrice durante la stesa per la verifica di:

- distribuzione granulometria degli aggregati (§ 31.3.2 o § 31.5 per miscele speciali) (UNI EN 12697-1, UNI EN 12697-39, UNI EN 933-1), confezionate con e senza fresato, sono ammessi valori delle singole percentuali dell'aggregato rispetto alle curve di progetto pari a;
  - X ±5 punti percentuali (dove X = valore percentuale corrispondente al passante al singolo setaccio di dimensioni maggiori o uguali a 2 mm)
  - Y ±3 punti percentuali (dove Y = valore percentuale corrispondente al passante al singolo setaccio di dimensioni minori di 2 mm e maggiori di 0,063 mm)
  - Z ±2 punti percentuali (dove Z = valore percentuale corrispondente al passante al setaccio di dimensioni pari a 0,063 mm)

  Violazioni dei limiti richiamati possono dar luogo, nel caso in cui l'anomalia si verifichi per almeno 3 setacci, in presenza anche di altri parametri fuori norma, all'applicazione di penali, a giudizio insindacabile della DL;
- contenuto di bitume (§ 31.3.3 o § 31.5 per miscele speciali) UNI EN 12697-1, UNI EN 12697-39). I valori limite ammessi devono rientrare nel valore di progetto ±0,3 punti percentuali;
- la percentuale dei vuoti su provini addensati il laboratorio con pressa giratoria per ciascuno dei 2 livelli di compattazione N1 e N2, esprimendo i risultati come media dei valori ottenuti su ciascun provino (§ 31.3.5.1, § 31.5 per miscele speciali), la % di vuoti della miscela secca (VMA) e la % di vuoti intergranulari riempiti con bitume (VFA). Per i valori di VMA e VFA non sono previsti parametri di accettazione e si prescrive alla Direzione Lavori di trasmettere copia di questi certificati alla Committente e al Progettista;
- requisiti meccanici su provini addensati il laboratorio con pressa giratoria: ITS (resistenza a trazione indiretta), CTI (coefficiente di trazione indiretta) e ITSR (sensibilità all'acqua) esprimendo i risultati come media dei valori ottenuti su ciascun provino;
- modulo di rigidezza su campioni addensati al 98% della densità riferita al livello di compattazione N2 determinata su un campione di miscela compattata in laboratorio ed appartenente alla stessa tipologia, stesso impianto di produzione, lotto/giornata lavorativa dello strato investigato (UNI EN 12697-26) .

- Resistenza all'abrasione PL. I provini cilindrici (D = 100 mm) di conglomerato bituminoso drenante destinati alla prova di resistenza all'abrasione devono essere compattati mediante compattatore Marshall applicando 50 colpi per faccia, secondo quanto prescritto dalla norma di riferimento UNI EN 12697-17. Il singolo provino (condizionato alla temperatura di 25 °C) è sottoposto ad una prova con apparecchiatura Los Angeles senza sfere in acciaio, considerando una velocità di rotazione di 33 giri/minuto, per un totale di 300 giri (UNI EN 12697-17). Al termine della prova la resistenza all'abrasione del conglomerato bituminoso drenante è associata alla perdita di peso (Particle Loss, PL), calcolata come media di 5 provini, che deve risultare conforme ai limiti di cui al § 31.3.6.1;
- rilevamento della temperatura della miscela all'atto della stesa controllata immediatamente dietro la vibrofinitrice secondo la UNI EN 12697-13. Se questa dovesse risultare inferiore alla temperatura minima prevista al § 31.9.2 (o in base alla tipologia di bitume/conglomerato utilizzato ed approvato in fase di qualifica), sull'intera tratta interessata da tali errate condizioni di posa in opera dovranno essere eseguite prove atte al rilevamento del grado di addensamento raggiunto dalla pavimentazione ad onere dell'Appaltatore

Per valori medi del Modulo di Rigidezza "E" esterni all'estremo inferiore compreso nell'intervallo indicato nella tabella al paragrafo §31.3.5.3 considerate le tolleranze ivi indicate, comporteranno, ad insindacabile giudizio del Direttore Lavori, la rimozione dello strato interessato e di quelli sovrastanti, nonché la successiva ricostruzione a cura e spese dell'Appaltatore.

La non rispondenza (uno o più parametri non conformi) ai suddetti requisiti comporterà l'applicazione di una penale pari al valore indicato al § 31.10.2.4 del costo dello strato sottoposto a prova. Tale costo verrà determinato utilizzando la larghezza complessiva dello strato e la lunghezza della tratta messa in opera nella giornata in cui è stato steso il conglomerato sottoposto a prova.

31.10.2.2 Materiali costituenti

I controlli inerenti ai materiali costituenti le tipologie di miscele bituminose sono afferenti:

- Il legante bituminoso;
- Gli aggregati lapidei e conglomerati bituminoso di recupero.

Per quanto riguarda ***il legante bituminoso*** è necessario eseguire un prelievo all'impianto per fornitore e prodotto al primo utilizzo e successivamente con cadenza bisettimanale, per la verifica delle caratteristiche approvate in qualifica nel rispetto dei limiti riportati nei § 31.4.2.2.2 per bitume tipo A, § 31.4.2.2.3 per bitume per schiumatura tipo A1, § 31.4.2.3 per bitume modificato hard con polimeri SBS tipo B, § 31.4.2.4 per emulsioni bituminose cationiche non modificate tipo C, C1 e C2, § 31.4.2.5 per emulsioni bituminose cationiche modificate tipo D1 e D2. Ai predetti limiti si applicano le tolleranze di seguito riportate:

- Punto di Rammollimento: variazione di 5 °C rispetto al limite inferiore e/o superiore.
- Penetrazione a 25°C: variazione di 5 mm rispetto al limite inferiore e/o superiore.
- Viscosità dinamica a 160 °C, $\dot{\gamma}$=100 s^{-1}: variazione di 0,1 Pa*s rispetto al limite inferiore e/o superiore.
- Ritorno elastico a 25 °C, 50 mm/min: variazione di 5 punti percentuali rispetto al limite inferiore e/o superiore.

La mancata rispondenza ad almeno una dei precedenti 4 requisiti può comportare l'applicazione della penale del prezzo dello strato corrispondente al campione contenente la partita di bitume non conforme di ciu al § 31.10.2.4.

Per quanto riguarda gli ***aggregati lapidei e i conglomerati bituminoso di recupero*** ove utilizzati, ogni 10.000 mc di miscele prodotte con lo stesso fornitore oppure con cadenza semestrale, occorre eseguire un prelievo all'impianto per la verifica del soddisfacimento dei requisiti tecnici riportati rispettivamente nel paragrafo § 31.4.1.3.
Per quanto concerne la frazione grossa degli aggregati lapidei, la mancata rispondenza ad almeno una delle seguenti caratteristiche:

- resistenza alla frammentazione LA;
- valore di levigabilità PSV

comporta la penalizzazione di cui al § 31.10.2.4 dei prezzi dei lotti di conglomerato bituminosi drenanti, confezionati con la partita di aggregato lapideo grosso a cui si riferiscono i controlli.
Relativamente alle prescrizioni riguardanti il fresato, la mancata rispondenza ad almeno una delle seguenti caratteristiche:

- requisiti dimensionali e granulometrici di ciascuna frazione di fresato;
- prescrizioni sugli impieghi ammessi in base alla provenienza dei conglomerati bituminosi di recupero di cui al § 31.4.1.1.3;

può comportare la penalizzazione di cui al § 31.10.2.4 dei prezzi del lotto di conglomerato bituminoso drenante confezionato con la partita di fresato a cui si riferiscono i controlli.

31.10.2.3 Strato finito

I controlli inerenti allo strato finito costituenti tutte le tipologie di miscele bituminose sono afferenti:

- La regolare esecuzione della stesa
- Gli spessori;
- La densità in sito
- Il modulo di rigidezza
- La capacità drenante

La verifica della ***regolare esecuzione della stesa*** si effettua visivamente su tutta la superficie di stesa escludendo la presenza di strati compromessi: anomalie di stesa o di compattazione, perdite di materiale, giunti longitudinali o trasversali di ripresa mal eseguiti, aperti o sgranati) o qualsiasi difformità rispetto ad una lavorazione che possa definirsi "a regola d'arte". Inoltre, la superficie degli strati deve presentarsi priva di irregolarità ed ondulazioni tale per cui un'asta rettilinea lunga 4 m posta in qualunque direzione sulla superficie finita di ciascuno strato deve aderirvi uniformemente, tollerando uno scostamento di 5 mm. Tale prova deve essere eseguita dalla Direzione Lavori in presenza di dubbi a seguito delle verifiche visive di cui sopra.
La presenza di strati compromessi comporta, a discrezione della DL, la rimozione e ricostruzione a cura e spese dell'Appaltatore dello strato stesso.

Lo ***spessore*** dello strato da controllare deve corrispondere allo spessore medio di progetto ordinato dalla DL; esso viene verificato su carote prelevate in contraddittorio, il cui spessore è misurato secondo la norma UNI EN 12697-36.
Al fine di ottenere un numero di misurazioni sufficientemente rappresentative dello spessore dello/gli strato/i in esame devono essere prelevate almeno 4 carote distribuite lungo un tratto elementare di lunghezza pari a 500 m (o pari alla lunghezza dell'intervento investigato se inferiore). Di norma si deve evitare di prelevare carote in prossimità dei bordi dell'intervento e/o dei giunti di lavorazione.
In caso di notevole varianza e/o discordanza dei risultati delle misure dallo spessore ordinato, si procede ad un approfondimento delle verifiche, eseguendo il prelievo di ulteriori carote a cura ed onere dell'Appaltatore.

Lo spessore medio è calcolato eseguendo la media aritmetica degli spessori dello strato considerato, misurati per ciascuna carota prelevata.
Nel caso di pacchetti di risanamento composti da più strati (base + binder + usura) è verificato lo spessore complessivo dello strato risultante, con esclusione dello strato di usura superficiale che è valutato a parte.
Sono ammesse le seguenti tolleranze rispetto allo spessore ordinato:

- 5% per gli strati di base o base + binder
- 7% per gli strati di binder ed usura e usura drenante

Qualsiasi insufficienza nello spessore di uno strato superiore alla tolleranza prevista, è penalizzata applicando una detrazione pari al valore dello strato considerato moltiplicato per la percentuale pari al triplo dei punti percentuali di cui lo spessore differisce per difetto da quanto ordinato, dedotta la relativa tolleranza percentuale sopra indicata (esempio: ammettendo una tolleranza del 7%, qualora la differenza di spessore risulti in difetto del 10%, la penale è pari a: (10% – 7%) ´ 3 = 9% del valore dello strato interessato dal controllo).
La penale è applicata alla superficie ispezionata dai carotaggi (larghezza delle corsie dell'intervento investigato per lunghezza investigata fra prima ed ultima carota di ogni tratto elementare).
Nel caso in cui la differenza con il valore di progetto superi il 25%, esclusa la tolleranza, il lavoro non è ritenuto accettabile e la DL, anche tenendo conto dell'estensione e della distribuzione delle tratte carenti, può richiederne il rifacimento a completa cura e spese dell'Appaltatore.

Sulle stesse carote utilizzate per il controllo degli spessori sono eseguiti controlli relativi alla **densità in sito**. La densità in sito, ottenuta come media dei valori misurati sulle singole carote, deve essere non inferiore al 98% della densità (riferita al livello di compattazione N2 - vedi §31.3.5.1) determinata su un campione di miscela compattata in laboratorio ed appartenente alla stessa tipologia, stesso impianto di produzione, lotto/giornata lavorativa dello strato investigato (UNI EN 12697-6).
Per valori inferiori al 98% della densità di progetto, è prevista l'applicazione di una penale pari al valore indicato al § 31.10.2.4 del prezzo dello strato interessato dal controllo (larghezza delle corsie dell'intervento investigato per lunghezza investigata fra prima ed ultima carota di ogni tratto elementare).
Ad insindacabile giudizio della DL, valori non conformi della densità in sito rispetto alla densità di progetto comportano la rimozione dello strato e la successiva ricostruzione a cura e spese dell'Appaltatore.

La penale è applicata alla superficie ispezionata dai carotaggi (larghezza delle corsie dell'intervento investigato per lunghezza investigata fra prima ed ultima carota di ogni tratto elementare).

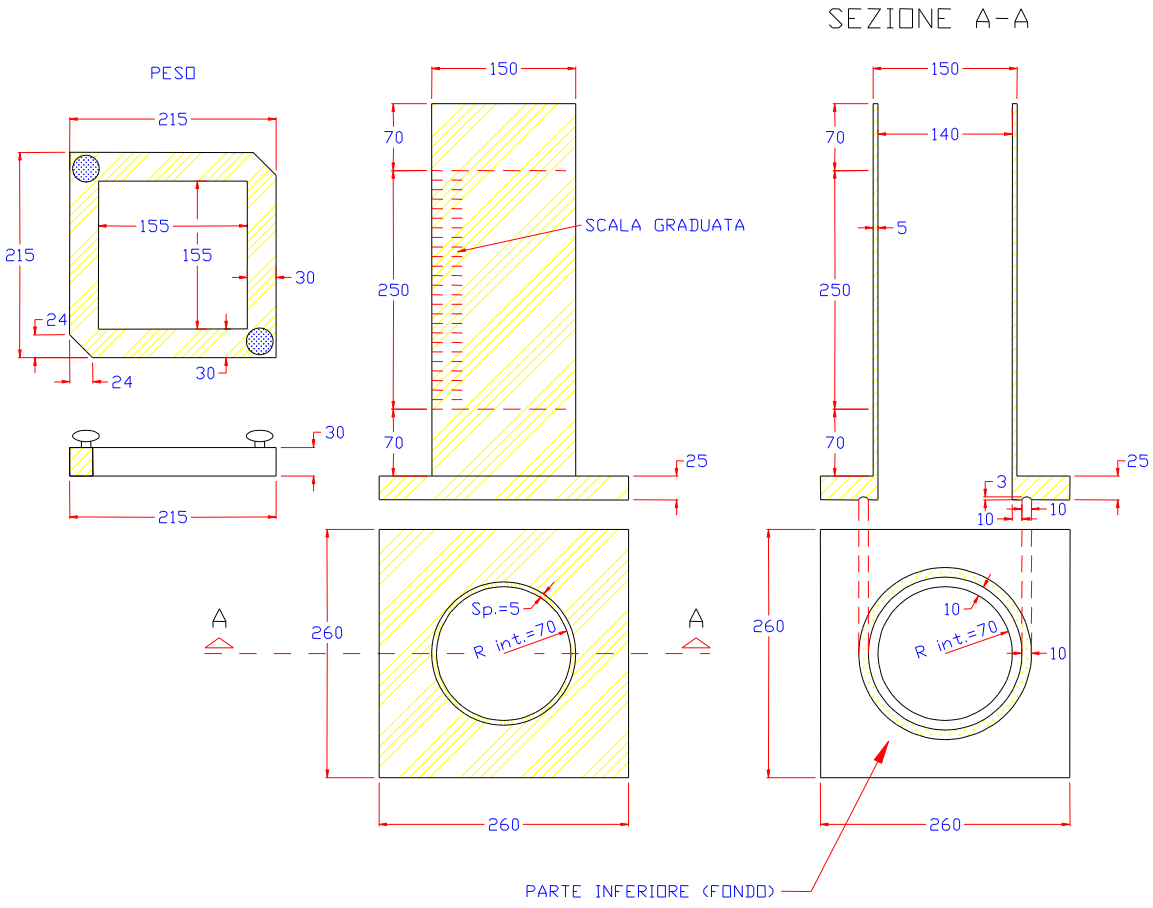
Per quanto riguarda i valori della ***capacità drenante*** media in sito, misurata con permeabilimetro a colonna d'acqua (metodo e frequenza descritti al successivo § 31.10.2.3.1) a ridosso dei lavori di stesa od al massimo entro 30 gg dall'apertura al traffico o dal termine della stesa, deve restituire i valori indicati al § 31.3.6.2.
La non rispondenza ai limiti indicati comporta l'applicazione di una penale al valore indicato al § 31.10.2.4 del costo dello strato investigato. Lo strato investigato corrisponde alla superficie ispezionata con la prova di capacità drenante calcolata come larghezza della corsia verificata moltiplicata per lunghezza tra prima e ultima prova del tratto.

31.10.2.3.1 Modalità di esecuzione della prova per il controllo della capacità drenante

Questa procedura descrive le modalità, il campo di applicazione, lo scopo, del sistema di misura della permeabilità di strati superficiali di pavimentazione dei conglomerati bituminosi ad elevata percentuale di vuoti drenanti.
La metodologia consiste nel misurare la capacità di smaltimento d'acqua di una pavimentazione mediante l'utilizzo di un contenitore cilindrico con dimensioni e forma definite, che viene posto sulla pavimentazione in esame e riempito con acqua.
Il tempo necessario per lo svuotamento di un dato volume d'acqua contenuta dal recipiente permette di misurare la permeabilità della pavimentazione.

APPARECCHIATURA DI PROVA
Per la esecuzione della prova vengono utilizzate le seguenti attrezzature e strumentazioni di seguito riportate:

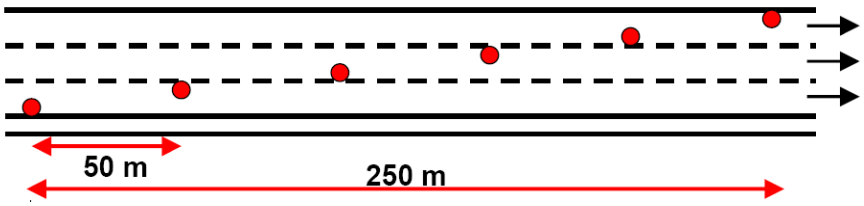
- Contenitore cilindrico (permeabilimetro), vedi figura seguente.
- Materiale plastico (tipo pongo), mastice o silicone per il fissaggio del permeabilimetro sulla pavimentazione
- Peso non minore di 5000 g.



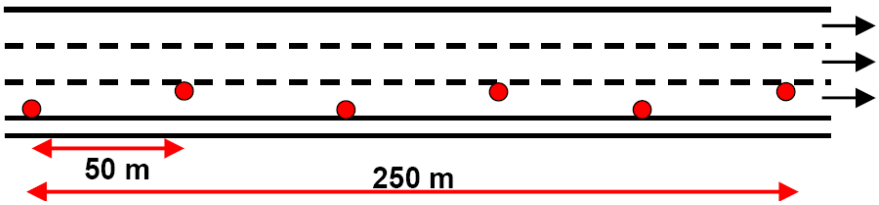
DESCRIZIONE E MODALITÀ DI ESECUZIONE DELLA PROVA
Si pone il permeabilimetro vuoto sulla pavimentazione in esame tracciando con un gesso cerato il bordo esterno ed il cerchio interno del permeabilimetro che rappresenta l'area di prova.
Tolto il permeabilimetro dall'area tracciata, esclusa quella di prova, si spalma accuratamente il silicone, sigillando i fori superficiali della pavimentazione; inoltre, sul fondo dello strumento, nella

parte solcata intorno al foro cilindrico, va applicato un filo di silicone, facendo attenzione che sia superiore alla profondità del solco di circa 2 mm.
Si pone lo strumento sulla pavimentazione, facendolo coincidere con i segni precedentemente effettuati, per evitare qualsiasi riduzione dell'area di prova; si applica un peso (non minore di 5000 g) per migliorare l'aderenza al suolo dello strumento.
Subito dopo, per eliminare l'aria contenuta nel conglomerato e per renderne uniforme la temperatura nell'area di prova, si effettua un primo riempimento del permeabilimetro; non appena il livello dell'acqua arriva allo zero della scala graduata (livello inferiore), si riempie nuovamente il permeabilimetro fino al bordo superiore, facendo in modo di far tracimare una certa quantità di acqua.
Non appena il livello dell'acqua arriva alla soglia superiore della scala graduata (altezza di 250 mm), si fa partire la rilevazione dell'intervallo di tempo che termina quando il livello d'acqua e sceso fino allo zero di gradazione.
Il rapporto tra la quantità d'acqua (in dm^3 nota) e l'intervallo di tempo trascorso (in minuti) rappresenta la capacità drenante espressa in dm^3/min.
Il valore singolo è ricavato dalla esecuzione di due prove distanti 1 metro (mediandone i due valori).
Si riportano di seguito i criteri di misura affinché le VERIFICHE DI DRENABILITÀ siano statisticamente significative:

- Effettuare (per siti di stesa di almeno 10.000 mq - pari ad 1 km di carreggiata su tratte a 2 corsie) almeno n. 6 "Punti di Misura" di drenabilità distanziati di circa 50 m ed alternati sul lato dx/sx della/e corsia/e oggetto delle verifiche (è opportuno, compatibilmente con le condizioni di segnaletica a disposizione, valutare tutto l'insieme delle corsie interessate) – Vedi schemi sottostanti –.



Esempio di schema di rilievo nel caso di intervento eseguito sull'intera carreggiata a tre corsie



Esempio di schema di rilievo nel caso di intervento eseguito sulla sola corsia di marcia o nel caso di indisponibilità della chiusura al traffico delle altre corsie interessate dall'intervento

- Per ciascuno dei "Punti di Misura" dovranno essere effettuate n.2 prove di drenabilità, da cui deriverà un Valore Medio rappresentativo della capacità drenante del "Punto di Misura"
- Non è consentito (risultati anormali) eseguire le prove in corrispondenza del giunto longitudinale di stesa o dei giunti trasversali di ripresa lavori
- Il DATO da utilizzare per la valutazione delle Performance sarà costituito dalla MEDIA dei 6 Valori Medi ricavati per ciascun "Punto di Misura", relativo pertanto ad un tratto di corsia lungo - circa 250 m ("sezione di misura").
- Per siti di dimensioni maggiori, ripetere tale "set" di prove un numero di volte proporzionale all'estensione, allocando alternativamente la "sezione di misura" su tutte le corsie lavorate.

- Per siti di lunghezza inferiore, si considereranno "set completi" (n.6 "Punti di misura") anche quelli composti da "Punti di misura" effettuati su interventi vicini interessati da lavorazione nella medesima giornata e quindi realizzati con la produzione giornaliera di miscela dell'impianto.

RISULTATI DELLE PROVE
Il valore di permeabilità - capacità drenante viene espresso in lt/min come valore medio (M) delle due prove effettuate nel punto della pavimentazione in esame.
M ±20%M rappresenta l'intervallo di capacità drenante entro cui devono cadere le due prove per poter essere ritenute valide.

31.10.2.4 Penali

Nella tavola sinottica seguente, sono riepilogate le penali di cui alle prove descritte dettagliatamente nel § 31.10.2 riguardanti la miscela sciolta, i materiali costituenti e lo strato finito delle miscele in conglomerato bituminoso.
Per lavorazioni non conformi, in alternativa all'applicazione delle penali, la DL si riserva, a suo insindacabile giudizio, la facoltà di rifacimento a cura e a spese dell'Appaltatore della lavorazione non conforme.
L'applicazione delle penali descritte nei successivi paragrafi non esclude quelle previste in altri articoli delle presenti NTA, in particolare quelle riferite ai controlli prestazionali con apparecchiature ad alto rendimento specificate al § 31.10.3.

TAVOLA SINOTTICA DELLE PENALI

MATERIALI COSTITUENTI	REQUISITI	PENALI
Legante bituminoso	Caratteristiche varie conformi a quanto prescritto	10%
Aggregato grosso, aggregato fino e aggregato filler (naturale e industriale)	LA e PSV	10%
Conglomerato bituminoso di recupero (fresato)	Caratteristiche varie conformi a quanto prescritto	10%
MISCELA SCIOLTA	REQUISITI	PENALI
Conglomerato bituminoso drenante, drenante strutturale, ipodrenante	Caratteristiche varie conformi a quanto prescritto	10%
STRATO FINITO	REQUISITI	PENALI
Regolare esecuzione della stesa	Conforme a quanto prescritto	-
Spessori degli strati	Ricompresi nei limiti prescritti	Variabile
Densità in sito	Ricompresa nei limiti prescritti	10%
Capacità drenante	Ricompresa nei limiti prescritti	10%

31.10.3 Controlli con apparecchiature ad alto rendimento sulla pavimentazione finita e penali

Qualora previsto a progetto, richiesto dalla Committente o dalla Direzione Lavori, il controllo della qualità della pavimentazione finita viene eseguito con apparecchiature ad alto rendimento attraverso la verifica della portanza, della aderenza e macrotessitura, della regolarità nel rispetto dei limiti di cui al § 31.3.7.1, § 31.3.7.2 e § 31.3.7.3.

31.10.3.1 Portanza

Le prove di deflessione dinamica con apparecchiatura Falling Weight Deflectometer (FWD) sono effettuate sulla pavimentazione finita nel caso di nuovi interventi e lavori di risanamento profondo che prevedano il rinnovo dell'intero pacchetto legato a bitume e sottobase legata, I risultati di tali prove devono essere conformi al § 31.3.7.1.
Per quanto riguarda le caratteristiche strutturali degli strati in conglomerato bituminoso messi in opera, il parametro di riferimento è il modulo elastico che viene ricavato interpretando una serie di misure di deflessione dinamica eseguite dal Centro Rilevamento Dati e Prove Materiali o da Laboratori terzi scelti dalla DL.
Per l'interpretazione delle misure di deflessione è necessario conoscere gli spessori degli strati della pavimentazione. La valutazione di tali spessori avviene tramite il rilievo in continuo della stratigrafia della pavimentazione eseguito mediante un'apparecchiatura radar ad alto rendimento eventualmente integrato da una serie di carotaggi pianificata dalla Committente, da eseguirsi in numero sufficiente a correlare il segnale rilevato con gli effettivi spessori. Le prove di deflessione dinamica devono essere eseguite sulla superficie finita della pavimentazione in un periodo di tempo variabile fra il 3° ed il 90° giorno dalla data di apertura al traffico.
Le prove di deflessione dinamica per il calcolo del modulo elastico sono interpretate mediante un idoneo programma di calcolo di Back-Analysis. Il valore ottenuto per gli strati legati a bitume deve essere riportato ad una temperatura di riferimento del conglomerato bituminoso pari a 20 °C.
Le prove dinamiche tipo FWD non devono essere eseguite nel caso di temperature superficiali della pavimentazione superiori a 30 °C, evitando nelle giornate calde (periodo primaverile ed estivo) le ore comprese tra le 10.00 ed il tramonto.
Le misure del bacino di deflessione con apparecchiatura FWD vengono effettuate sulla corsia interessata dal rilievo, con un passo minimo di 50 m per avere a disposizione un campione di dati statisticamente significativo. Eccezionalmente, per motivi operativi o di interferenza con il traffico, l'intervallo tra le prove può essere esteso fino ad un massimo di 100 m.
Per la valutazione delle caratteristiche strutturali si deve fare riferimento al valore medio del modulo espresso in MPa, ricavato dai moduli risultanti dalle misure puntuali di FWD, relativo a ciascuna tratta omogenea in cui è possibile suddividere l'intera lunghezza di stesa.
Per tratte omogenee si intendono quei tratti di pavimentazione nei quali ricadono almeno 4 punti di misura e nei quali i valori dei moduli elastici sono distribuiti statisticamente secondo una distribuzione "normale". Le tratte omogenee sono individuate da idoneo programma di calcolo.

Nel caso di lavori di risanamento profondo che prevedano il rinnovo dell'intero pacchetto legato a bitume e della sottobase legata, è possibile prevedere in aggiunta alle misure FWD anche l'esecuzione di prove di deflessione dinamica con apparecchiatura Traffic Speed Deflectometer (TSD).
Il rilievo con il TSD deve essere svolto sulla superficie finita della pavimentazione in un periodo di tempo variabile fra il 3° ed il 90° giorno dalla data di apertura al traffico. Il rilievo deve avvenire nelle prime ore del mattino, e comunque non oltre le ore 11:00. Sono da considerare validi solo i bacini di deflessione ottenuti con temperatura superficiale della pavimentazione inferiore a 30 °C.
I bacini di deflessione ottenuti con il TSD devono essere restituiti con un passo non inferiore a 10 m ed interpretati mediante un idoneo programma di calcolo di Back-Analysis. Poiché i bacini di deflessione misurati dal TSD sono diversi da quelli misurati dal FWD a causa delle diverse condizioni di misura (entità e modalità di applicazione del carico), ai corrispondenti valori dei moduli elastici non saranno applicati i limiti di accettazione e le penali illustrate al paragrafo §31.10.3.4.

31.10.3.2 Aderenza e macrotessitura

Le misure di CAT e MTD devono interessare almeno una corsia (marcia o marcia lenta) e essere effettuate in un periodo di tempo compreso tra il 15° ed il 180° giorno dall'apertura al traffico, ad eccezione dei conglomerati bituminosi aperti (drenanti e ipodrenanti), per i quali le misure vanno eseguite tra il 60° ed il 200° giorno dall'apertura al traffico.
Per quanto riguarda le misure di CAT e MTD, effettuate con lo SCRIM/SUMMS, deve essere rilevato almeno il 10% della lunghezza coperta da ogni singolo cantiere e le tratte da misurare (di lunghezza sempre superiore a 200 m) possono essere localizzate nei punti dove a giudizio della DL la tessitura e/o la rugosità risulti non sufficiente o dubbia.
Le misure di CAT e MTD devono essere effettuate con un "passo di misura" di 10 m e i valori misurati di CAT e MTD possono, eventualmente, essere mediati ogni 50 m per filtrare disomogeneità occasionali e localizzate delle superfici. I valori presi in considerazione sono quelli relativi all'allineamento di misura destro dell'apparato e riportati alla temperatura (dell'aria) di riferimento pari a 20 °C.
Per la valutazione delle caratteristiche di aderenza e macrotessitura superficiale si deve fare riferimento ai valori medi di CAT_{ASPI20} e MTD, ricavati dalle misure puntuali (passo 10 m) o dai valori già mediati ogni 50 m, relativi a ciascuna tratta omogenea in cui è possibile suddividere la tratta misurata.
Per tratte omogenee si intendono quei tratti di pavimentazione individuati da un idoneo programma di calcolo, nei quali ricadono almeno 4 valori dell'indicatore e per cui i valori dell'indicatore sono distribuiti statisticamente secondo una distribuzione "normale".
I valori medi di CAT_{ASPI20} e MTD ricavati per ciascuna tratta omogenea devono risultare in accordo con le prescrizioni sopra riportate.

31.10.3.3 Regolarità

Le misure del profilo longitudinale devono interessare almeno una corsia (marcia o marcia lenta) e essere eseguite in un periodo di compreso tra il 4° ed il 180° giorno dall'apertura al traffico utilizzando l'apparecchiatura ARAN (o equivalente).
Deve essere rilevato almeno il 50% della lunghezza coperta da ogni singolo cantiere e le tratte da misurare (di lunghezza sempre superiore a 200 m) possono essere localizzate nei punti dove a giudizio della DL la regolarità risulti non sufficiente o dubbia.
Il valore dell'indice IRI viene calcolato con un "passo" di 20 m a partire dal profilo longitudinale misurato ed è pari alla semisomma dei valori IRI destro e IRI sinistro riferiti ai due allineamenti di misura.
Per la valutazione della caratteristica di regolarità superficiale, nel caso di utilizzo dell'indice IRI, si deve fare riferimento ai valori medi, ricavati dai valori puntuali (passo 20 m), relativi a ciascuna tratta omogenea in cui è possibile suddividere la tratta misurata.
Per tratte omogenee si intendono quei tratti di pavimentazione, nei quali ricadono almeno 4 valori dell'indicatore e per cui i valori dell'indicatore sono distribuiti statisticamente secondo una distribuzione "normale". Le tratte omogenee sono individuate da un programma di calcolo collegato al programma di restituzione dei dati di regolarità.
I valori medi di IRI ricavati per ciascuna tratta omogenea devono risultare in accordo con le prescrizioni sopra riportate.

31.10.3.4 Penali

Portanza:

In funzione del valore medio del modulo del pacchetto di strati soggetto a prova, lo stesso pacchetto interessato viene penalizzato in maniera percentuale rispetto al costo secondo i valori elencati nella seguente tabella (valida nel caso di conglomerati bituminosi).

MODULO DI ELASTICITÀ (E) del pacchetto di strati legati a bitume soggetti a prova (T = 20 °C)	PENALITÀ per il pacchetto di strati soggetti a prova
E ≥ 5000 MPa	Prestazione valida
4000 MPa £ E < 5000 MPa	Detrazione del 10%
3500 MPa £ E < 4000 MPa	Detrazione del 20%
E < 3500 MPa	Detrazione del 50%

Aderenza e macrotessitura:

Qualora il valore medio di CAT_{ASPI20} o MTD, come definito in precedenza per ciascuna tratta omogenea (misure SCRIM o SUMMS), sia inferiore ai valori di CAT_{ASPI20} o MTD prescritti (vedi §31.3.7.2) ridotti di una tolleranza pari al 10%, il compenso previsto per lo strato di rotolamento (quello a diretto contatto con i pneumatici) viene penalizzato del 15% (da calcolare prendendo a riferimento la larghezza complessiva dello strato penalizzato anche se le misure interessano una sola corsia).

La tolleranza non è applicata per quanto riguarda il limite di MTD relativamente ai conglomerati drenanti (CBD, CBDS, IPD).

Qualora il valore medio di CAT_{ASPI20}, come definito in precedenza per ciascuna TRATTA OMOGENEA, sia inferiore ai seguenti valori di non accettabilità:

CAT_{ASPI20} = 40 per strati di usura drenanti (CBD, CBDS, IPD)
CAT_{ASPI20} = 45 per strati di usura "Normali" (CB) e "Hard" (CBH)
CAT_{ASPI20} = 50 per strati di usura antisdrucciolo (SMA)
CAT_{ASPI20} = 60 per "Trattamenti ad alta aderenza"

l'Appaltatore deve procedere gratuitamente all'asportazione completa con fresa dello strato per tutta la sua larghezza ed alla stesa di un nuovo strato che è comunque soggetto alle stesse condizioni di controllo ed agli stessi requisiti di aderenza e macrotessitura precedentemente descritti.

In alternativa a quest'ultima operazione (ad esclusione dei trattamenti ad alta aderenza) si può procedere all'effettuazione di trattamenti di irruvidimento per portare i/il valore/i deficitario/i al disopra della soglia di non accettabilità.

Se comunque al termine di tali operazioni di irruvidimento, pur nel caso in cui i valori di CAT_{ASPI20} e MTD siano risaliti al disopra dei valori di soglia di non accettabilità, ma non si raggiungano i valori prescritti (vedi §31.3.7.2) viene applicata la detrazione del 20% del prezzo.

Regolarità:

Qualora il valore medio di IRI, come definito in precedenza per ciascuna tratta omogenea, non soddisfi le condizioni richieste incrementate di una tolleranza pari al 5%, lo strato di rotolamento (quello a diretto contatto con gli pneumatici) viene penalizzato del 15% del suo costo (da calcolare prendendo a riferimento la larghezza complessiva dello strato penalizzato anche se le misure interessano una sola corsia). Tale criterio si applica nel caso in cui lo strato abbia uno spessore di

almeno 4 cm, altrimenti si prende a riferimento quello immediatamente sottostante che soddisfi tale condizione sempre se inferiore alla soglia di non accettabilità appresso specificata.
Qualora il valore medio di IRI, come definito in precedenza per ciascuna tratta omogenea, sia maggiore al seguente valore di non accettabilità:

IRI = 3,5 mm/m

l'Appaltatore deve procedere gratuitamente all'asportazione completa con fresa dello strato per tutta la sua larghezza ed alla stesa di un nuovo strato che sarà comunque soggetto alle stesse condizioni di controllo ed agli stessi requisiti di regolarità precedentemente descritti.
Sono escluse dalla valutazione quei tratti di intervento interessati dalla presenza di opere d'arte con giunti che influenzano la misura di regolarità.

Art. 31 NO CAM - Pavimentazioni in conglomerato bituminoso

31.1 Descrizione e campo di applicazione

Gli strati di pavimentazione in conglomerato bituminoso sono costituiti da una miscela di inerti (naturali, riciclati o industriali) accuratamente proporzionata in termini di peso o di volume (dalla dimensione massima dell'aggregato fino al filler), da legante bituminoso e eventualmente da additivi.

Tale miscela viene confezionata generalmente a caldo in impianti automatizzati a funzionamento di tipo continuo (*drum mixer*) o discontinuo (sistema a vagliatura), in modo da ottenere requisiti prestazionali prestabiliti in termini volumetrici, meccanici e funzionali dipendenti dallo strato di pavimentazione che viene realizzato.

I conglomerati bituminosi si distinguono in conglomerati bituminosi per strati di usura, conglomerati bituminosi per strati di collegamento (o binder) e conglomerati bituminosi per strati di base.

Essi possono essere inoltre possono essere classificati in funzione del tenore dei vuoti residui dopo la compattazione, differenziandosi tra conglomerati chiusi (*dense o gap*), semi-aperti ed aperti (o *open*). Gli strati di base e collegamento vengono tipicamente realizzati con miscele di tipo chiuso per assicurare prestazioni meccaniche adeguate e l'impermeabilizzazione degli strati sottostanti. Dall'altra parte, gli strati di usura possono essere costituiti da tutte e tre le tipologie di miscela.

Accanto al volume dei vuoti, le miscele per usura possono essere classificate anche in funzione del tipo di curva granulometrica, distinguendo tra miscele a curva continua (tipica delle miscele chiuse) e a curva discontinua caratteristica delle miscele aperte (dette *open-graded*), semi-aperte (dette *semi-open graded*), e degli SMA (dette anche antisdrucciolo o *gap-graded*). Le miscele a curva granulometrica discontinua presentano una discontinuità nella zona delle sabbie (riducendone il contenuto) la quale, a valle della posa in opera della miscela, garantisce una superiore formazione di cavità superficiali (rispetto alle dense) che forniscono benefici in termini di aderenza e macrotessitura.

Tali miscele vengono messe in opera mediante vibrofinitrici e vengono costipate mediante idonei rulli compattatori. Il loro spessore finale viene stabilito in fase di progettazione attraverso la verifica di resistenza ai diversi meccanismi di ammaloramento.

Le prescrizioni contenute nel presente articolo capitolato si applicano alle lavorazioni inerenti alla realizzazione degli strati in conglomerato bituminoso che in progetto non si prevede di effettuare sensi del D.M. 5 agosto 2024 così come modificato dal D.M.11 settembre 2025.

Tutte le prescrizioni incluse in questo articolo di Capitolato sono da ritenersi valide per tutte le viabilità autostradali e per le viabilità interferite o compensative destinate ad essere consegnate al termine dei lavori alle Amministrazioni Locali.

Qualora le prescrizioni dei Capitolati Speciali delle Amministrazioni Locali sanciscano parametri meno prestazionali rispetto a quelli indicati nel presente articolo, eventuali deroghe possono essere concesse dal Direttore dei Lavori, alla luce delle caratteristiche della viabilità interferita o compensativa, sentito comunque il Parere degli Organi Tecnici delle Amministrazioni interessate.

31.2 Normativa di riferimento

Conglomerato bituminoso di recupero – cessazione della qualifica di rifiuto

- DM n. 69 del 28 marzo 2018 - Regolamento recante disciplina della cessazione della qualifica di rifiuto di conglomerato bituminoso ai sensi dell'articolo 184-ter, comma 2 del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152.

Aggregati

- UNI EN 13043 - Aggregati per miscele bituminose e trattamenti superficiali per strade, aeroporti e altre aree soggette a traffico. Fornisce i requisiti per la valutazione di conformità
- UNI EN 932-1: Metodi di prova per determinare le proprietà generali degli aggregati. Metodi di campionamento.
- UNI EN 932-2: Metodi di prova per determinare le proprietà generali degli aggregati - Metodi per la riduzione dei campioni di laboratorio
- UNI EN 933-1: Prove per determinare le caratteristiche geometriche degli aggregati - Parte 1: Determinazione della distribuzione granulometrica - Analisi granulometrica per setacciatura
- UNI EN 933-3: Prove per determinare le caratteristiche geometriche degli aggregati - Parte 3: Determinazione della forma dei granuli - Indice di appiattimento
- UNI EN 933-4: Prove per determinare le caratteristiche geometriche degli aggregati - Parte 4: Determinazione della forma dei granuli - Indice di forma
- UNI EN 933-5: Prove per determinare le caratteristiche geometriche degli aggregati - Parte 5: Determinazione della percentuale di superfici frantumate negli aggregati grossi
- UNI EN 933-8 Prove per determinare le caratteristiche geometriche degli aggregati - Parte 8: Valutazione dei fini - Prova dell'equivalente in sabbia
- UNI EN 933-10 Prove per determinare le caratteristiche geometriche degli aggregati - Parte 10: Valutazione dei fini - Granulometria dei filler (setacciatura a getto d'aria)
- UNI EN 1097-2: Prove per determinare le proprietà meccaniche e fisiche degli aggregati - Parte 2: Metodi per la determinazione della resistenza alla frammentazione
- UNI EN 1097-5: Prove per determinare le proprietà meccaniche e fisiche degli aggregati - Parte 5: Determinazione del contenuto d'acqua per essiccazione in forno ventilato
- UNI EN 1097-8: Prove per determinare le proprietà meccaniche e fisiche degli aggregati – Parte 8: Determinazione del valore di levigabilità
- UNI EN 1367-1: Prove per determinare le proprietà termiche e la degradabilità degli aggregati - Parte 1: Determinazione della resistenza al gelo e disgelo
  UNI EN 13179: Prove sugli aggregati complementari (filler) utilizzati nelle miscele bituminose - Parte 1: Prova con anello e biglia

Conglomerato bituminoso di recupero – norme tecniche

- UNI EN 13108-8: Miscele bituminose - Specifiche del materiale - Parte 8: Conglomerato bituminoso di recupero
- UNI/TS 11688 – Criteri di qualificazione e impiego del conglomerato bituminoso di recupero proveniente dalla rimozione di pavimentazioni esistenti

Leganti bituminosi – Requisiti per valutazione di conformità

- UNI EN 12591 - Bitumi e leganti bituminosi - Specifiche per i bitumi per applicazioni stradali.
- UNI EN 14023 - Bitumi e leganti bituminosi - Quadro delle specifiche riguardanti i bitumi modificati da polimeri.
- UNI EN 13808 - Bitumi e leganti bituminosi - Quadro di riferimento delle specifiche per le emulsioni cationiche bituminose.

Additivi

- UNI 11837: Criteri di qualificazione, controllo e impiego di additivi per miscele legate a bitume per la formazione di strati di sovrastrutture per infrastrutture di trasporto.

Miscele bituminose

- UNI EN 13108-1: Miscele bituminose - Specifiche del materiale - Parte 1: Conglomerato bituminoso prodotto a caldo

- UNI EN 13108-5: Miscele bituminose - Specifiche del materiale - Parte 5: Conglomerato bituminoso antisdrucciolo chiuso
- UNI EN 13108-6: Miscele bituminose - Specifiche del materiale - Parte 6: Asfalto colato
- UNI EN 13108-7: Miscele bituminose - Specifiche del materiale - Parte 7: Conglomerato bituminoso ad elevato tenore di vuoti
- UNI EN 13108-31: Miscele bituminose - Specifiche dei materiali - Parte 31: Conglomerato bituminoso legato con emulsione bituminosa

Prove su miscele bituminose

- UNI EN 13108-20: Miscele bituminose - Specifiche del materiale - Parte 20: Prove di tipo
- UNI EN 12697-1: Miscele bituminose – Metodi di prova per conglomerati bituminosi a caldo – Parte 1: Contenuto di legante solubile
- UNI EN 12697-2: Miscele bituminose – Metodi di prova per conglomerati bituminosi a caldo – Parte 2: Determinazione della granulometria
- UNI EN 12697-5: Miscele bituminose – Metodi di prova per conglomerati bituminosi a caldo – Determinazione della massima densità
- UNI EN 12697-6: Miscele bituminose - Metodi di prova per conglomerati bituminosi a caldo - Determinazione della massa volumica in mucchio di provini bituminosi
- UNI EN 12697-8: Miscele bituminose - Metodi di prova per conglomerati bituminosi a caldo - Determinazione delle caratteristiche dei vuoti di provini bituminosi
- UNI EN 12697-11: Miscele bituminose - Metodi di prova per conglomerati bituminosi a caldo - Determinazione dell'affinità tra aggregato e bitume
- UNI EN 12697-12: Miscele bituminose - Metodi di prova per conglomerati bituminosi a caldo - Determinazione della sensibilità all'acqua dei provini bituminosi
- UNI EN 12697-13: Miscele bituminose - Metodi di prova per conglomerati bituminosi a caldo - Misurazione della temperatura
- UNI EN 12697-17: Miscele bituminose - Metodi di prova per conglomerati bituminosi a caldo - Perdita di particelle del provino di asfalto poroso
- UNI EN 12697-23: Miscele bituminose – Metodi di prova per conglomerati bituminosi a caldo - Determinazione della resistenza a trazione indiretta di provini bituminosi
- UNI EN 12697-24:2018: Miscele Bituminose – Metodi di prova per conglomerati bituminosi a caldo -Resistenza alla fatica
- UNI EN 12697-26: Miscele bituminose – Metodi di prova per conglomerati bituminosi a caldo -Rigidezza
- UNI EN 12697-31: Miscele bituminose - Metodi di prova per conglomerati bituminosi a caldo - Preparazione del provino con pressa giratoria
- UNI EN 12697-36: Miscele bituminose - Metodi di prova per conglomerati bituminosi a caldo - Determinazione dello spessore di una pavimentazione bituminosa
- UNI EN 12697-39: Miscele bituminose - Metodi di prova per conglomerati bituminosi a caldo - Contenuto di legante mediante ignizione
- UNI EN 12697-40: Miscele bituminose - Metodi di prova per conglomerati bituminosi a caldo - Drenabilità in sito
- UNI EN 12697-42: Miscele bituminose - Metodi di prova per conglomerati bituminosi a caldo - Quantità di materiale estraneo nel conglomerato bituminoso di recupero

Rilievi in alto rendimento

- C.N.R.-B.U. n. 90 (15/04/1983) - Misura della macro-rugosità superficiale con il sistema dell'altezza di sabbia

- C.N.R. B.U. 147 del (14/12/1992) – Norma per la misura delle caratteristiche superficiali delle pavimentazioni. Metodo di prova per la misura del coefficiente di aderenza con l'apparecchio SCRIM

31.3 Criteri di accettazione delle miscele

31.3.1 Marcatura CE

Le miscele in conglomerato bituminoso prodotte sia a caldo che a tiepido dovranno essere marcate CE attestante la conformità all'appendice ZA della UNI EN 13108 con sistema di attestazione di conformità 2+ inclusa di Dichiarazione di Prestazione (DoP).

Ogni fornitura di miscela in ingresso in cantiere dovrà essere corredata di Documento di Trasporto corredato da marcatura CE della miscela.

Gli aggregati e aggregati filler ottenuti mediante la lavorazione di materiali naturali, industriali o riciclati da utilizzare nei conglomerati bituminosi e trattamenti superficiali nelle strade e autostrade dovranno possedere marcatura CE e DoP secondo la norma europea armonizzata UNI EN 13043 con sistema di attestazione di conformità 2+.

La norma UNI EN 13043 non si applica al conglomerato bituminoso di recupero che dovrà essere classificato, preventivamente al suo impiego, in conformità alla norma UNI EN 13108-8.

Per ciò che riguarda la marcatura CE dei leganti bituminosi si rimanda a quanto riportato nel paragrafo 31.4.3.

31.3.2 Composizione granulometrica miscele

La composizione granulometrica (o curva granulometrica) delle miscele dovrà rispettare i fusi elencati in seguito. Per tutte le miscele la definizione della curva granulometrica di progetto dovrà avvenire impiegando almeno tre classi granulometriche di aggregato in aggiunta all'eventuale conglomerato bituminoso di recupero.
Nel caso di impiego delle scorie da acciaieria, la curva dovrà essere composta tenendo in considerazione la differenza di massa volumica tra queste e l'aggregato naturale o riciclato adottando quindi un approccio di definizione della curva in volume.
La seguente tabella riporta i fusi granulometrici delle miscele di tipo chiuso a cui riferirsi durante la composizione della curva di progetto.

Setacci* [mm]	Passante in peso o in volume [%]					
	STRATO DI BASE	STRATO DI COLLEGAMENTO	STRATO DI COLLEGAMENTO Aree di Servizio	STRATO DI USURA TIPO "A"	STRATO DI USURA TIPO "B"	STRATO DI USURA TIPO SMA
31.5	100-100	100-100	100-100	100-100	100-100	100-100
20	73-94	90-100	100-100	100-100	100-100	100-100
16**	-	-	-	-	-	-
14	51-76	70-87	90-100	90-100	100-100	-
12.5	-	-	-	-	100-100	90-100
10	40-64	58-78	77-94	77-94	90-100	55-75
8**		-	-	-	-	-
6.3	31-55	46-66	57-76	57-76	-	-
4	-	-	-	-	44-62	27-44

2	19-38	25-38	25-38	25-38	26-40	20-30
1**	-	-	-	-	-	-
0.5	8-21	11-21	12-22	12-22	14-22	13-23
0.25	5-16	7-17	9-17	9-17	10-16	9-17
0.063	4-8	4-8	6-10	6-10	6-10	8-13

* serie setacci appartenenti al gruppo di base più gruppo 2 (UNI EN 13043); **stacci non appartenenti al gruppo (*) i cui passanti dovranno comunque essere misurati per gli strati di usura e di collegamento per aree di servizio.

Strato di collegamento per aree di servizio – spessore finito pari a 4cm

Fuso A - usure da spessore strato finito pari a 4 - 6 cm

Fuso B - usure da spessore strato finito pari a 3 cm

Usura SMA – usura da spessore finito pari a 3-4 cm

Negli strati di usura si potrà prevedere anche l'utilizzo di miscele a curva discontinua di tipo aperto (conglomerato drenante) o di tipo semi-aperto (conglomerato ipodrenante) caratterizzate da una elevata percentuale di vuoti intercomunicanti che assicura un passaggio facilitato alle acque di pioggia.

I fusi granulometrici di queste miscele vengono riportati nella seguente tabella.

Setacci* [mm]	Passante in peso o in volume [%]		
	DRENANTE	DRENANTE STRUTTURALE	IPODRENANTE
20	100-100	100-100	100-100
16**	-	-	-
14	90-100	85-94	90-100
12.5**	-	-	-
10	37-60	38-53	52-65
8**	-	-	-
6.3	5-19	13-26	26-38
4	-	-	23-33
2	4-10	8-18	18-26
1**	-	-	-
0.5	4-8	6-12	12-18
0.25	4-8	6-10	10-15
0.063	4-8	4-8	6-10
Spessore strato finito (cm)	4-5	4-5	4-5

* serie setacci appartenenti al gruppo di base più gruppo 2 (UNI EN 13043);

**stacci non appartenenti al gruppo (*) i cui passanti dovranno comunque essere misurati.

31.3.3 Contenuto di bitume

La percentuale di bitume in peso riferita al peso degli aggregati (*) deve essere compresa nei seguenti intervalli definiti in funzione della tipologia di legante utilizzato.

Tipo di	Tipo di legante	Percentuale di bitume totale	

miscela	di aggiunta	Miscele a caldo e tiepide con solo aggregato naturale e industriale	Miscele a caldo preparate anche con conglomerato bituminoso di recupero(*)	Miscele tiepide preparate anche con conglomerato bituminoso di recupero(*)
Base Normale	Bitume A v. §31.4.2.2.2	4,0% - 5,8%	4,3% - 5,8%	4,3% - 5,8%
Collegamento Normale		4,5% - 6,3%	4,8% - 6,3%	4,8% - 6,3%
Usura Normale		5,0% - 6,7%	5,3% - 6,7%	5,3% - 6,7%
Base Hard	Bitume B v. §31.4.2.3	4,0% - 5,8%	4,3% - 5,8%	4,3% - 5,8%
Collegamento Hard		4,5% - 6,3%	4,8% - 6,3%	4,8% - 6,3%
Usura Hard		5,0% - 6,7%	5,3% - 6,7%	5,3% - 6,7%
Usura SMA		6,0% - 7,5%	-	-
Drenante	Bitume B v. §31.4.2.3	5,0% - 6,3%	5,0% - 6,3%	5,0% - 6,3%
Drenante strutturale				
Ipodrenante				

* I valori della percentuale di bitume totale possono essere ulteriormente incrementati a insindacabile giudizio della DL qualora il contenuto di conglomerato bituminoso di recupero dovesse superare il 25% negli strati di base e binder (sia Normale che Hard).

Nel caso di impiego di aggregati particolarmente porosi la percentuale massima di bitume può essere elevata di 0,5% in peso. Nel caso di impiego di scorie da acciaieria, il dosaggio del bitume vergine dovrà avvenire considerando la differenza di massa volumica di questi rispetto agli inerti di altra origine.
Il valore della percentuale di bitume della miscela di progetto approvata è quello da prendere a riferimento per i controlli in corso d'opera.

31.3.4 Contenuto delle fibre

I conglomerati bituminosi a curva discontinua (CBD, CBDS, IPD, CBDST, SMA vedi § 31.4.2.1) dovranno essere obbligatoriamente additivati con fibre di natura minerale (vetro) o miste (vetro + agglomerante) aventi le proprietà indicate al § 31.4.4, con lo scopo di ridurre la percolazione e il trasudamento del bitume, di aumentarne lo spessore della pellicola che riveste l'aggregato, nonché di migliorare le prestazioni delle miscele agendo come elementi rinforzanti. L'aggiunta di fibre dovrà avvenire mediante idonee apparecchiature in concentrazione compresa tra lo 0,3 e 0,5% in peso rispetto agli aggregati, o comunque a concentrazioni suggerite dal fornitore. Il fornitore dovrà anche indicare modalità ottimali di mescolazione delle fibre con l'aggregato (ad es. tempo di mescolazione, momento di aggiunta nel mescolatore).

31.3.5 Materiali ammessi nel confezionamento della miscela

A meno di specifiche indicazioni previste in progetto esecutivo, le miscele in conglomerato bituminoso potranno essere confezionate con materiali di primo impiego oppure utilizzando una combinazione di questi con materiali recuperati, riciclati e sottoprodotti (RRS), rispettando i requisiti e le modalità di impiego previste in questo articolo di Capitolato.

31.3.5.1 Materiali RRS ammessi

Secondo quanto riportato nell'art.183 del D.lgs.152/2006, il conglomerato bituminoso di recupero viene classificato, a valle della cessazione della qualifica di rifiuto ai sensi dell'art. 184-ter e del DM 69/2018, come un materiale riciclato o recuperato. Ulteriori chiarimenti in merito alle definizioni relative al CB di recupero vengono riportati al § 31.4.2.1. I requisiti di accettazione e le modalità di utilizzo in impianto del conglomerato bituminoso di recupero vengono riportati nel paragrafo 31.4.2. In questo caso, il confezionamento delle miscele potrà prevedere l'impiego di attivanti chimici funzionali (ACF) da utilizzarsi secondo quanto riportato al § 31.4.4.2.

Tutte le attività inerenti alla determina di cessazione della qualitfica di rifiuto CB di recupero sono a onere esclusivo dell'Appaltatore.

Le scorie da acciaieria sono classificabili sia come sottoprodotto (artt. 183 e 184-bis del D.lgs. 152/2006) che come materiale recuperato (art. 184-ter del D.lgs. 152/2006).

Per quanto concerne le scorie da acciaieria, è preferibile l'impiego di materiale di classe granulometrica con dimensione (*d/D*) avente d maggiore o uguale a 4 mm (es. classi granulometriche 4/6, 4/8, 8/12, 8/16 classificate ai sensi della UNI EN 13043).

Per quanto riguarda ulteriori RRS, l'accettazione di un materiale alternativo a quanto non esplicitato in questo articolo, sarà effettuata dalla DL, a proprio insindacabile giudizio e con il supporto della struttura Ingegneria delle Pavimentazioni, previa dimostrazione della fattibilità tecnica e della rispondenza delle miscele a tutti i requisiti previsti, per lo specifico strato, in progetto e nel presente articolo.

Indipendentemente dalla provenienza, tutti gli aggregati impiegati nel confezionamento delle miscele bituminose dovranno rispettare i requisiti previsti al paragrafo 31.4.1.

31.3.5.2 Quantitativi di materiali RRS ammessi

Le tabelle successive riportano indicati i quantitativi massimi consentiti per ciascun materiale RRS in funzione del tipo di miscela prodotto e del tipo di bitume impiegato. Stabilito il quantitativo di materiale RRS previsto, la restante parte dovrà provenire da materiale di primo impiego conforme a quanto riportato in questo articolo di Capitolato.

La seguente tabella si riferisce alle miscele di tipo chiuso.

Tipo di miscela	Tipo di bitume	Tipo di materia RRS ammessa	Quantitativo di ciascuna materia RSS ammesso [%peso]
Base Normale	Bitume A §31.4.3.2.2	CB di recupero (o RA)	≤ 40%
Collegamento Normale		CB di recupero (o RA)	≤ 35%
Usura Normale		CB di recupero (o RA)	≤ 20%
Base Hard	Bitume B §31.4.3.3	CB di recupero (o RA)	≤ 30%
Collegamento Hard		CB di recupero (o RA)	≤ 25%

Usura Hard		CB di recupero (o RA)	≤ 15%
Usura SMA		Scoria da acciaieria	*

* Per le modalità operative si rimanda alla struttura Ingegneria delle Pavimentazioni.

Mentre, la seguente tabella si riferisce alle miscele per usura di tipo aperto o semi-aperto.

Tipo di miscela	Tipo di bitume	Tipo di materia RRS ammessa	Quantitativo di ciascuna materia RSS ammesso [%]
Drenante Drenante strutturale Ipodrenante	Bitume B §31.4.3.3	CB di recupero (o RA)	≤ 15%

In entrambe le tabelle di cui sopra, la colonna "Quantitativo complessivo di materia RSS ammesso [%]" riporta il contenuto complessivo di materia recuperata, riciclata e sottoprodotto che è possibile utilizzare in ciascun tipo di miscela. È lasciata all'appaltatore la facoltà di proporre miscele contenenti percentuali di conglomerato bituminoso (CB) di recupero superiori ai valori indicati in questo articolo. La DL, a proprio insindacabile giudizio e con il supporto della struttura Ingegneria delle Pavimentazioni, valuterà l'eventuale approvazione di tali proposte, previa verifica tecnica dell'isoprestazione rispetto ai materiali confezionati nel rispetto dei valori massimi di CB di recupero ammessi dal presente articolo.

31.3.6 Requisiti volumetrici e meccanici

La miscela di progetto deve essere analizzata mediante apparecchio di taglio giratorio (comunemente definito come pressa giratoria) secondo la norma ASTM D6925 adottando i seguenti parametri di prova:

- Angolo di rotazione esterno: 1.25°
- Velocità di rotazione: 30 rotazioni al minuto
- Pressione verticale: 600 kPa
- Diametro della fustella (*): 150 mm (strato di base e di strato di collegamento)
- Diametro della fustella: 100 mm (strati di usura chiusi, drenante e ipodrenante)

(*) per strato di collegamento per aree di servizio (aggregati con D ≤ 16 mm) è ammesso l'uso di fustelle con diametro 100 mm

31.3.6.1 Pressa giratoria - Vuoti

I provini compattati mediante pressa giratoria devono rispettare le specifiche tecniche riportate nella seguente tabella in termini di volume di vuoti d'aria residui (UNI EN 12697-8) in funzione del livello di compattazione.

Livello di compattazione	BASE NORMALE	BASE HARD
N1	% Vuoti a 10 rotazioni: 12 ÷ 15	% Vuoti a 10 rotazioni: 12 ÷ 15
N2	% Vuoti a 100 rotazioni: 3 ÷ 5 (*)	% Vuoti a 120 rotazioni: 3 ÷ 5 (*)

N3	% Vuoti a 180 rotazioni: □ 2	% Vuoti a 200 rotazioni: □ 2
	COLLEGAMENTO NORMALE	COLLEGAMENTO HARD
N1	% Vuoti a 10 rotazioni: 12 ÷ 15	% Vuoti a 10 rotazioni: 12 ÷ 15
N2	% Vuoti a 100 rotazioni: 3 ÷ 5 (*)	% Vuoti a 120 rotazioni: 3 ÷ 5 (*)
N3	% Vuoti a 180 rotazioni: □ 2	% Vuoti a 200 rotazioni: □ 2
	USURA NORMALE	USURA HARD
N1	% Vuoti a 10 rotazioni: 12 ÷ 15	% Vuoti a 10 rotazioni: 12 ÷ 15
N2	% Vuoti a 130 rotazioni: 3 ÷ 5 (*)	% Vuoti a 150 rotazioni: 3 ÷ 5 (*)
N3	% Vuoti a 220 rotazioni: □ 2	% Vuoti a 240 rotazioni: □ 2
		USURA SMA
N1		% Vuoti a 10 rotazioni: 8 ÷ 12
N2		% Vuoti a 100 rotazioni: 2 ÷ 4 (*)
N3		% Vuoti a 180 rotazioni: □ 2
		USURA DRENANTE
N1		% Vuoti a 10 rotazioni: ³ 28
N2		% Vuoti a 50 rotazioni: ³ 23
N3		% Vuoti a 130 rotazioni: ³ 20
		DRENANTE STRUTTURALE
N1		% Vuoti a 10 rotazioni: ³ 25
N2		% Vuoti a 50 rotazioni: ³ 20
N3		% Vuoti a 130 rotazioni: ³ 16
		IPODRENANTE
N1		% Vuoti a 10 rotazioni: ³ 20
N2		% Vuoti a 50 rotazioni: ³ 15
N3		% Vuoti a 130 rotazioni: ³ 10

(*) Dg = Densità giratoria di progetto (da impiegare per il calcolo del grado di addensamento della pavimentazione in opera)

31.3.6.2 Resistenza a trazione indiretta e sensibilità all'acqua

I provini derivanti dalla miscela ottimale compattati mediante pressa giratoria a livello di compattazione N2 (o N-design) devono essere sottoposti a prova di resistenza a trazione indiretta alla temperatura di 25 °C secondo la norma UNI EN 12697-23 (ITS: resistenza a trazione indiretta, CTI: coefficiente di trazione indiretta). La sensibilità all'acqua viene misurata mediante perdita di resistenza a trazione dopo condizionamento in acqua tramite il parametro ITSR (*Indirect Tensile Strength Ratio*) misurato secondo la norma UNI EN 12697-12. I requisiti richiesti alle diverse miscele sono riassunti nella seguente tabella.

Miscele	ITS (MPa)	CTI (MPa)	ITSR (%)
Base-collegamento-usura con bitume normale	0.75 – 1.60*	³ 70	³ 80
Base-collegamento-usura con bitume Hard	0.95 – 1.90*	³ 80	³ 90
SMA	³ 0.70	³ 50	³ 90
Drenante	³ 0.38	> 20	> 90
Drenante strutturale	³ 0.40	> 22	> 90
Ipodrenante	³ 0.50	> 25	> 90

(*) In fase di controllo delle prestazioni, qualora i provini vengano confezionati previo riscaldamento del campione di conglomerato, i valori di soglia massimi ITS vanno aumentati del 10%, per tenere in considerazione dell'aumento di rigidezza determinato dal secondo riscaldamento.

31.3.6.3 Modulo di rigidezza

I conglomerati bituminosi Hard (confezionati sia a caldo che con tecnologia tiepida) per strati di base e di collegamento devono essere sottoposti ad un controllo prestazionale per la determinazione del Modulo di Rigidezza "E" alla temperatura di 20 °C secondo la norma UNI EN 12697-26, Appendice C. Le prove sono eseguite in configurazione di trazione indiretta (IT-CY), applicando, ad ogni ciclo di carico, una deformazione orizzontale di trazione (indiretta) pari a 5 ± 0.2 µm su provini compattati con pressa giratoria al 98% della densità ottenuta a livello di compattazione N2.

Miscela	E_{min} (20 °C)	E_{max} (20 °C)
Base Hard	³ 7000 MPa	£ 14000 MPa
Collegamento Hard	³ 5500 MPa	£ 11000 MPa

Al fine di tenere in considerazione il minor livello di compattazione delle miscele, ai limiti inferiori dell'intervallo viene applicata una tolleranza per difetto pari al 15%. Qualora il valore ottenuto dovesse presentare un valore compreso tra il 15 ed il 20% dell'estremo inferiore dell'intervallo della miscela oggetto di studio, sarà compito del Direttore Lavori contattare il progettista per verificare l'eventuale effetto della ridotta rigidezza sulla durata complessiva del pacchetto. Per valori superiori al 20%, la miscela dovrà essere ottimizzata per rispettare il requisito di rigidezza sopra riportato.

31.3.7 Tipologie e requisiti specifici delle usure ad elevato tenore di vuoti

I conglomerati bituminosi ad elevato tenore di vuoti vengono denominati anche usura drenante, drenante strutturale e ipodrenante. Essi risultano caratterizzati da una elevata percentuale di vuoti intercomunicanti che assicura il deflusso facilitato alle acque piovane migliorando la visibilità e riducendo il rischio di aquaplaning durante la guida in presenza di precipitazioni atmosferiche. Le

diverse tipologie di conglomerati bituminosi ad elevata percentuale di vuoti sono riportate nella seguente tavola sinottica.

Miscele	Tipologia Mono strato	Spessori (cm)	Drenabilità	
			Alta	Bassa
Usura Drenante (CBD)	X	4	X	
Usura Drenante strutturale (CBDS)	X	4	X	
Ipodrenante (IPD)	X	4		X

I limiti definiti per la capacità drenante delle diverse miscele vengono riportati al paragrafo 31.3.7.2.

31.3.7.1 Resistenza all'abrasione

I provini cilindrici (D = 100 mm) di conglomerato bituminoso ad elevato tenore di vuoti destinati alla prova di resistenza all'abrasione devono essere compattati mediante compattatore Marshall applicando 50 colpi per faccia, secondo quanto prescritto dalla norma di riferimento UNI EN 12697-17. Il singolo provino (condizionato alla temperatura di 25 °C) è sottoposto ad una prova con apparecchiatura Los Angeles senza sfere in acciaio, considerando una velocità di rotazione di 33 giri/minuto, per un totale di 300 giri (UNI EN 12697-17).
Al termine della prova la resistenza all'abrasione del conglomerato bituminoso è associata alla perdita di peso (Particle Loss, PL), calcolata come media di 5 provini, che deve risultare £ 20%.

31.3.7.2 Capacità drenante

La capacità drenante media in sito suddivisa per tipologia di miscela, misurata con permeametro a colonna d'acqua con le modalità indicate al § 31.10.2.3, deve risultare conforme ai valori riportati nella seguente tabella.

Miscele	Capacità drenante (litri/min)
Usura Drenante (CBD)	³ 20
Usura Drenante strutturale (CBDS)	³ 10
Ipodrenante (IPD)	³ 2

31.3.8 Requisiti per le verifiche con apparecchiature ad alto rendimento del pacchetto di strati legati a bitume

Qualora previsto a progetto, richiesto dalla Committente o dalla Direzione Lavori, il controllo della qualità della pavimentazione finita viene eseguito con apparecchiature ad alto rendimento attraverso la verifica della portanza, dell'aderenza, della macrotessitura e della regolarità.
Il non raggiungimento dei valori riportati nei paragrafi 31.3.8.1, 31.3.8.2 e 31.3.8.3 comporterà l'applicazione delle penali di cui al paragrafo 31.10.3.4.

31.3.8.1 Portanza

Il valore medio del modulo del pacchetto di strati soggetto a prova (riportata alla temperatura di riferimento di T = 20°C) nelle modalità indicate al paragrafo 31.10.3.1 deve risultare maggiore o uguale a 5000 MPa.

31.3.8.2 Aderenza e macrotessitura

Il Coefficiente di Aderenza Trasversale (CAT) è misurato con l'apparecchiatura *Sideway-Force Coefficient Routine Investigation Machine* (SCRIM) o *Survey Machine for Macrotexture & Skid* (SUMMS) (Norma CNR B.U. n° 147 del 14.12.92). La relazione tra il valore CAT prescritto, denominato CAT_{ASPI} e quello definito dalla norma CNR, denominato CAT_{CNR} è la seguente:

$$CAT_{ASPI} = 100 \cdot CAT_{CNR}$$

Per tenere conto degli effetti della temperatura, i valori misurati del CAT_{ASPI} alla generica temperatura vengono riportati a quelli relativi alla temperatura di riferimento CAT_{ASPI20} mediante la seguente relazione proposta dal *Transportation Road Research Laboratory* – TRRL:

$$CAT_{ASPI20} = CAT_{ASPI} \cdot \left(0.548 + \frac{44.69}{t+80}\right)^{-1}$$

Dove: CAT_{ASPI20} = valore del CAT alla temperatura di riferimento (20 °C)
t = temperatura dell'aria durante la misura in °C
CAT_{ASPI} = valore del CAT misurato

I valori minimi di CAT_{ASPI20}, distinti per tipologia di materiale, sono riportati nella seguente tabella:

MATERIALE	CAT_{ASPI20}
Conglomerati bituminosi "Normali" e "Hard" per usura (tipo CB, CBH)	³ 58
Conglomerati bituminosi antisdrucciolo SMA	³ 60
Conglomerati bituminosi "Normali" e "Hard" per binder (tipo CB, CBH): provvisori	³ 45
Conglomerati bituminosi drenanti, drenanti strutturali, ipodrenanti (tipo CBD, CBDS, IPD)	³ 53
Trattamenti ad alta aderenza (tipo TAA)	³ 85

La macrotessitura superficiale è prescritta in termini di *Mean Texture Depth* (MTD) (noto anche come Altezza in Sabbia, HS). Tale parametro, definito dalla norma UNI EN ISO 13473-1, è calcolato in funzione delle misure di *Mean Profile Depth* (MPD) eseguite mediante profilometro laser installato su apparecchiatura SCRIM/SUMMS.

Nella seguente tabella sono riportati i valori minimi di HS differenziati per tipologia di miscela.

MATERIALE	MTD
Conglomerati bituminosi "Normali" e "Hard" per usura (tipo CB, CBH)	³ 0,3 mm
Conglomerati bituminosi antisdrucciolo SMA	³ 0,6 mm
Conglomerati bituminosi "Normali" e "Hard" per binder (tipo CB, CBH): provvisori	³ 0,2 mm
Conglomerati bituminosi drenanti, drenanti strutturali, ipodrenanti (tipo CBD, CBDS, IPD)	³ 0,8 mm
Trattamenti ad alta aderenza (tipo TAA)	³ 0,3 mm

31.3.8.3 Regolarità

La regolarità della superficie di rotolamento dei pneumatici è valutata mediante l'indice IRI (International Roughness Index), calcolato (come definito dalla World Bank nel 1986 - The International Road Roughness Experiment) a partire dal profilo longitudinale della pavimentazione, e dovrà essere inferiore od uguale a 1,8 mm/m nel caso di intervento con strato di superficie steso su tutta la carreggiata, ed inferiore od uguale a 2,0 mm/m nel caso di intervento limitato a una parte della carreggiata.
Queste prescrizioni valgono per:

- Conglomerati Bituminosi tipo CB, CBH
- Conglomerati Bituminosi rigenerati in sito di cui all'articolo 30 del presente Capitolato
- Conglomerati Bituminosi drenanti tipo CBD, CBDS, IPD

La valutazione della regolarità di un intervento può essere effettuata solo se lo spessore dello strato/pacchetto nuovo o ricostruito è di almeno 4 cm.

31.4 Criteri di accettazione dei materiali costituenti

I materiali di provenienza esterna al cantiere o che l'Appaltatore approvvigionerà da terzi dovranno essere qualificati in conformità al Regolamento UE n°305/2011 sui prodotti da costruzione.

31.4.1 Aggregati

Gli aggregati e aggregati filler ottenuti mediante la lavorazione di materiali naturali o industriali da utilizzare nei conglomerati bituminosi e trattamenti superficiali nelle strade e autostrade dovranno possedere marcatura CE e DoP secondo la norma europea armonizzata UNI EN 13043 con sistema di attestazione di conformità 2+. La certificazione CE e la DoP dovranno essere consegnati alla Direzione Lavori prima dell'inizio all'inizio dei lavori e ad ogni cambio di lotto di aggregato. Ad ogni modo, la Direzione Lavori ha la facoltà di richiedere tale documentazione in ogni fase delle lavorazioni.

31.4.1.1 Prescrizioni comuni per gli aggregati marcati CE secondo UNI EN 13043

La miscela di inerti è costituita dall'insieme degli aggregati grossi e degli aggregati fini ed eventuali additivi (filler) nel rispetto delle composizioni granulometriche di cui al § 31.3.2.

Le frazioni di aggregato grosso e fine possono essere costituite da inerti aventi provenienza e natura petrografica diversa. Il proporzionamento tra le diverse provenienze dovrà comunque rispettare i limiti previsti al § 31.3.5.2. Indipendentemente dalla provenienza e dalla natura petrografica, la miscela di aggregati composta secondo quanto previsto nella definizione della miscela di progetto dovrà rispettare i requisiti previsti in questo articolo di Capitolato.

La zona destinata allo stoccaggio e movimentazione degli aggregati lapidei sarà preventivamente e convenientemente sistemata per annullare la presenza di sostanze argillose e ristagni di acqua che possono compromettere la pulizia degli aggregati. Inoltre, i cumuli delle diverse classi e tipologie di aggregati (es. naturali, industriali) dovranno essere nettamente separati tra di loro attraverso setti separatori di altezze e distanze adeguate, in modo da effettuare l'operazione di rifornimento dei predosatori eseguita con la massima cura.

31.4.1.2 Aggregati naturali e industriali per conglomerati bituminosi di base, collegamento e usura confezionati con bitume "Normale" e "Hard" marcati CE secondo UNI EN 13043

Nelle miscele dovranno essere utilizzati aggregati aventi le caratteristiche riportate nella tabella seguente. Le prescrizioni riportate si applicano alle singole classi utilizzate nel confezionamento della miscela.

Caratteristica	Norma di prova	Base	Collegamento	Usura Usura drenante SMA/ipodrenante
Appiattimento dell'aggregato grosso d ≥ 2mm	UNI EN 933-3	FI_{15}	FI_{15}	FI_{15}
Forma aggregato grosso d ≥ 2mm	UNI EN 933-4	SI_{15}	SI_{15}	SI_{15}
Percentuale superfici frantumate aggregato grosso d ≥ 4mm, senza facce arrotondate	UNI EN 933-5	≥ 90%	≥ 90%	100 %
Resistenza alla frammentazione aggregato grosso	UNI EN 1097-2	LA_{25}	LA_{25}	LA_{18}
Resistenza alla levigazione aggregato grosso (*)	UNI EN 1097-8	--	--	PSV_{42}
Resistenza all'abrasione superficiale	UNI EN 1097-8 Appendice A	--	--	AAV_{20}
Resistenza al gelo / disgelo	UNI EN 1367-1 o 2	F_2	F_2	F_1
Assorbimento d'acqua(**)	UNI EN 1097-06	WA_{24} ≤ 1,5%	WA_{24} ≤ 1,5%	WA_{24} ≤ 1,5%
Equivalente in sabbia sulle singole pezzature di aggregato fine	UNI EN 933-8	SE ≥ 70%	SE ≥ 70%	SE ≥ 70%
Intervallo di "anello e palla" dell'aggregato filler	EN 13179-1	$\Delta_{R\&B}$ 8/25	$\Delta_{R\&B}$ 8/25	$\Delta_{R\&B}$ 8/25

(*) Il trattenuto al setaccio da 2 mm derivante dalle pezzature fini (D £ 4 mm) non deve essere maggiore del 10% qualora gli aggregati provengano da rocce aventi un valore di levigabilità PSV < 42. (**) A suo insindacabile giudizio, la DL si riserva di accettare aggregati con assorbimento d'acqua differente.

In aggiunta a quanto sopra si prescrive altresì:

- AFFINITA' TRA AGGREGATO E BITUME
  Per lo strato di usura lo spogliamento in acqua (con eventuali attivanti di adesione) deve essere 0% (UNI EN 12697-11). In casi particolari, cioè in presenza di aggregati ad elevata acidità, la DL si riserva di richiedere sistemi di indagine più approfonditi.

- AGGREGATO FILLER
  L'aggregato filler proveniente dalla macinazione di rocce preferibilmente calcaree o costituiti da cemento, calce idrata, calce idraulica, polvere di asfalto, ceneri volanti, rocce sintetiche o artificiali, deve avere una granulometria (UNI EN 933-10) tale da soddisfare i seguenti requisiti:

  Setaccio 2 mm - Passante in peso 100%
  Setaccio 0,125 mm - Passante in peso compreso nell'intervallo 85-100 %
  Setaccio 0,063 mm - Passante in peso compreso nell'intervallo 70-100 %

  Della quantità di additivo minerale passante per via umida al setaccio 0,063 mm più del 50% deve passare allo stesso setaccio anche a secco. Lo stiffening power (UNI EN 13179-1) deve fornire un valore $\Delta_{R\&B}$ compreso tra 8 °C e 25 °C.
  L'indice di plasticità (UNI CEN ISO/TS17892-12) deve risultare non plastico (NP).

- ARGILLA ESPANSA
  La resistenza del granulo allo schiacciamento (UNI EN 13055-2) per l'usura drenante e drenante strutturale con argilla espansa di tipo strutturale avente una pezzatura 7/15 deve essere non inferiore a 3,5 MPa.

31.4.2 Conglomerato bituminoso di recupero

31.4.2.1 Recupero ambientale e modalità di classificazione

Per conglomerato bituminoso di recupero si intende il conglomerato bituminoso recuperato mediante la fresatura a freddo o la demolizione degli strati della pavimentazione.

Salvo se non diversamente previsto, il conglomerato bituminoso derivante dalla fresatura a freddo (o dalla demolizione) di pavimentazioni in conglomerato bituminoso viene inizialmente classificato come rifiuto ai sensi dell'art. 184-ter del Decreto Legislativo n. 152 del 03.04.2006. Al fine di poterne prevedere il reimpiego l'Appaltatore dovrà pertanto mettere in pratica, a sua cura e spese, le prove previste nel DM 69/2018 ai fini della cessazione della qualifica di rifiuto. A valle della quale il materiale assume la definizione di granulato di conglomerato bituminoso (GCB).

In considerazione del fatto che l'utilizzo del conglomerato bituminoso di recupero è ammesso unicamente a seguito alla cessazione della qualifica di rifiuto, si chiarisce che in questo articolo di Capitolato, salvo indicazioni specifiche, i termini conglomerato bituminoso di recupero (o fresato) e granulato di conglomerato bituminoso vengono utilizzati in maniera sovrapponibile.

Il conglomerato bituminoso derivante dalle demolizioni (modalità prima indicate) che non rispetta i requisiti del DM 69/2018 dovrà essere smaltito presso discarica autorizzata a cura e onere dell'Appaltatore.

Il granulato di conglomerato bituminoso che non rispetta i requisiti previsti in questo articolo di Capitolato potrà comunque essere valutato per l'idoneità al reimpiego nei rilevati stradali o nelle fondazioni stradali legate e non legate nei limiti e nelle modalità indicate in progetto e negli articoli 3, 29 e 30 del presente Capitolato.

La mancata conformità delle prescrizioni riportate nei successivi paragrafi comporta il divieto di utilizzare il conglomerato bituminoso di recupero nelle miscele a cui si riferisce il presente articolo di Capitolato.

Per essere utilizzato, ciascun cumulo di conglomerato bituminoso di recupero dovrà essere classificato ai sensi della UNI EN 13108-8 secondo quanto riportato al paragrafo 31.4.2.4. Ogni

fornitura dovrà essere accompagnata da documentazione tecnica, prodotta a onere dell'Appaltatore, che ne attesti le caratteristiche tecniche e l'avvenuto recupero ambientale.

31.4.2.2 Provenienze ammesse e specificazioni per l'impiego

Nell condizioni di rispetto dei requisiti di questo articolo di Capitolato e qualora il progetto lo preveda, l'Appaltatore è obbligatoriamente tenuto ad impiegare prioritariamente GCB proveniente dalle lavorazioni del cantiere oggetto dei lavori di appalto o di proprietà della stazione Appaltante. Il reimpiego deve comunque avvenire nei limiti di cui al § 31.3.5.2. e secondo quanto previsto in questo articolo di Capitolato.

Nel caso in caso in cui questo GCB non fosse disponibile, l'Appaltatore è autorizzato a utilizzare GCB dall'esterno nei limiti e nel rispetto di quanto indicato nel presente Capitolato.

La tracciabilità del CB di recupero viene regolamentata secondo quanto previsto dal DM 69/2018 e secondo la normativa ambientale vigente. L'Appaltatore è tenuto a presentare documentazione che consenta la tracciabilità del materiale costituente il Lotto di GCB utilizzato nel confezionamento della miscela.

Una volta stabiliti i requisiti di provenienza per cantiere, la formazione dei cumuli in impianto dovrà essere eseguita tenendo in considerazione i requisiti di provenienza del GCB previsti per ciascuno strato riportati nella seguente tabella.

Miscele in CB	Provenienza GCB
Base e collegamento	Qualsiasi strato della pavimentazione
Usure chiuse su viabilità esterna a rete autostradale	Usure
Usure chiuse su rete autostradale	Usure autostradali
Collegamento per aree di servizio	Usure autostradali
Usura Drenante Usura Ipodrenante	Usura Drenante autostradale Usura Ipodrenante autostradale Usura SMA Autostradale

Allo scopo di evitare il rischio di contaminazione con materiali provenienti da strati inferiori, la fresatura dello strato di usura deve avvenire in maniera controllata ed interessare uno spessore di almeno 0,5 cm inferiore rispetto allo spessore dello strato di usura da rimuovere.

31.4.2.3 Prescrizioni per i cumuli

Il conglomerato bituminoso di recupero posto in riserva dovrà essere accuratamente stoccato in cumuli ben distinti e separati tra loro, in funzione della provenienza (e dello strato), e separati dagli altri inerti di origine naturale o industriale.
Dovrà preferibilmente essere destinato allo stoccaggio in cumulo separato anche il fresato derivante da conglomerati contenenti RSS che possano alterare le operazioni di predosatura (come nel caso delle scorie) prediligendo la separazione per provenienza.
Tutti i cumuli dovranno essere nettamente separati tra loro e in modo da consentire la massima cura durante le operazioni di rifornimento dei predosatori.

Si raccomanda di tenere la zona destinata allo stoccaggio del fresato riparata dall'acqua piovana mediante specifiche coperture oppure mediante qualsiasi altra soluzione che consenta il rispetto dei

requisiti richiesti in termini di tenore di umidità al momento del conferimento del materiale nel mescolatore. Tale soluzione è obbligatoria nel caso in cui i cumuli sono conservati per periodi superiori ad un mese.

La zona di stoccaggio deve essere preventivamente sistemata per annullare la presenza di sostanze argillose e ristagni di acqua che possono compromettere la pulizia del materiale.

L'umidità del fresato, determinata ad una temperatura di essiccazione non superiore a 50 °C, prima di essere introdotto nell'impianto di produzione deve essere:

- umidità aggregato RA £ 4% per miscele bituminose a caldo con % di aggregato RA £ 30%
- umidità aggregato RA £ 3% per miscele bituminose tiepide con % di aggregato RA £ 30%
- Per percentuali superiori al 30% l'umidità dell'aggregato RA dovrà essere in ogni caso £ 3%.

Per valori di umidità superiori a quelli richiamati l'impiego del fresato deve essere sospeso.

31.4.2.4 Classificazione secondo la norma UNI EN 13108-8

I cumuli di granulato di conglomerato bituminoso distinti come indicato nel §31.4.2.2 dovranno inizialmente essere lavorati meccanicamente mediante operazioni di frantumazione e granulazione e vagliatura.
Al fine di favorire l'ottimate reimpiego nelle curve granulometriche indicate al § 31.3.2, i cumuli per base e collegamento dovranno essere costituti da materiale interamente passante al setaccio 31,5 mm (U 31,5), mentre quelli destinati all'utilizzo negli strati di usura e collegamento per aree di servizio dovranno essere costituiti da materiale interamente passante al setaccio 20 mm (U 20).
Per l'ottimizzazione della curva granulometrica del fresato e del legante presente e per consentire lavorazioni uniformi, nel caso di utilizzo di materiali provenienti da fresature diverse sia per provenienza che per natura, potrebbe essere necessaria, prima del suo impiego, una ulteriore granulazione; occorre tener presente che tale operazione determina un ulteriore aumento delle parti fini nel materiale. Il volume massimo dei cumuli così suddivisi potrà essere, in accordo al DM 69/2018, pari a 3.000 m^3.
Ciascun cumulo di fresato deve essere classificato, a cura ed onere dell'Appaltatore con certificati di laboratorio, in conformità alla norma UNI EN 13108-8 in termini di granulometria della miscela di aggregati, tipo e contenuto di legante bituminoso, oltre alle caratteristiche in termini di penetrazione media (UNI EN 1426) e punto di rammollimento (UNI EN 1427).

Il cumulo viene così designato granulometricamente dalla sigla U RA d/D (in cui U esprime la dimensione minima in mm del setaccio attraverso cui passa il 100% dei granuli di fresato, d/D è riferito alla classe granulometrica dell'aggregato contenuto nel fresato).
Nel caso di miscele con contenuto di fresato superiore al 25% e per le usure, per aumentare l'uniformità del conglomerato bituminoso finale, si auspica l'uso di unicamente la frazione grossa 20 RA 0/14 mm (contraddistinta da una spiccata presenza di aggregato grosso tradotta da una percentuale di trattenuto al setaccio 6,3 mm ³65%. L'Appaltatore, in funzione della tipologia di impianto di cui dispone e delle sue condizioni di utilizzo, dovrà in ogni caso adottare tutti gli accorgimenti possibili in fase di produzione al fine di ottimizzare l'uniformità del conglomerato bituminoso.

Oltre alle operazioni descritte finora, l'Appaltatore, a sua cura e spese, dovrà procedere alla classificazione dei cumuli in termini di contenuto di materie estranee secondo la EN UNI 12697-42. Sono ammessi esclusivamente conglomerati bituminosi di recupero appartenenti alla categoria F_1 di cui al § 4.1 della EN 13108-8. Il contenuto di calcestruzzo, laterizi, materiale di sottofondo, malta

di cemento e matallo non deve essere maggiore dell'1% in massa, mentre il contenuto di materiali sintetici, legno e plastica non deve essere maggiore dello 0,1% in massa. Quantità eccessive di materie estranee dovranno essere rimosse a cura ed onere dell'Appaltatore, al fine di far rientrare il conglomerato bituminoso di recupero nella richiesta categoria F_1.

Infine, occorre che l'Appaltatore, a sua cura e spese, dichiari l'omogeneità di ogni cumulo ai sensi del § 5.4 della UNI EN 13108-8. L'omogeneità del cumulo deve essere determinata a partire dalla variabilità delle percentuali di aggregati grossi e fini e di fini presenti nel conglomerato bituminoso di recupero, dal contenuto di legante del conglomerato bituminoso di recupero e la penetrazione, dal punto di rammollimento o dalla viscosità del legante recuperato dal conglomerato bituminoso di recupero.
Il campionamento per le operazioni di cui sopra deve essere effettuato su ogni cumulo su incrementi di campione come definito nella norma UNI EN 932-1 come richiamato al § 5.5 della norma UNI EN 13108-8.

31.4.2.5 Classificazione secondo la specifica tecnica UNI/TS 11688

Sui cumuli del conglomerato bituminoso di recupero di cui è previsto l'utilizzo per il confezionamento delle miscele, distinti per caratteristiche omogenee di provenienza e granulometria, devono altresì essere determinate, a cura ed onere dell'Appaltatore a mezzo di certificato di laboratorio, le caratteristiche di cui alla seguente tabella previa estrazione con solvente del bitume dal fresato oggetto di prova, utilizzando il metodo descritto in UNI EN 12697-1.

Caratteristica	Standard	Base	Collegamento	Drenante, ipodrenante	Usura chiusa
Appiattimento dell'aggregato grosso d ≥ 2mm	UNI EN 933-3	FI_{15}	FI_{15}	FI_{15}	FI_{15}
Forma aggregato grosso d ≥ 2mm	UNI EN 933-4	SI_{15}	SI_{15}	SI_{15}	SI_{15}
Resistenza alla frammentazione aggregato grosso	UNI EN 1097-2	LA_{25}	LA_{25}	LA_{18}	LA_{20}
Resistenza alla levigazione aggregato grosso	UNI EN 1097-8	--	--	PSV_{42}	PSV_{42}
Resistenza all'abrasione superficiale	UNI EN 1097-8	--	--	AAV_{20}	AAV_{20}
Resistenza al gelo / disgelo	UNI EN 1367-1 o 2	F_2	F_2	F_1	F_1

Nel caso di miscele preparate con bitumi normali i limiti di accettazione indicati si intendono validi per un campione composto da aggregati vergini e aggregati riciclati secondo le percentuali costitutive della miscela secca. Sono accettati anche aggregati riciclati che già in frazione unica rientrano nei limiti della tabella sopra.

Di contro, nel caso di miscele preparate con bitumi modificati hard e comunque utilizzate, come da progetto, su viabilità interna alla rete autostradale, i limiti di accettazione indicati si intendono validi per un campione in frazione unica, ossia composto unicamente da aggregati di GCB.

Tali prove sono da eseguire per ogni cumulo e il campionamento deve essere effettuato su incrementi di campione come definito nella norma UNI EN 932-1.

31.4.3 Leganti bituminosi

31.4.3.1 Descrizione e campo di applicazione

I leganti bituminosi di base per usi diretti o per modifiche successive con polimeri o altri trattamenti sono quei leganti per uso stradale costituiti da bitumi prodotti in raffineria mediante distillazione primaria (topping e vacuum); conversione (cracking termico, *visbreaking*) del greggio di petrolio.

I leganti bituminosi usati senza alcun trattamento (nel seguito denominati "normali") sono ottenuti dalla diretta raffinazione del petrolio. I leganti bituminosi modificati sono bitumi ai quali, utilizzando sistemi di tipo meccanico e/o chimico, vengono aggiunti polimeri di diversa natura che ne modificano le caratteristiche fisiche e meccaniche.
Le sigle dei materiali impiegati nelle presenti Norme Tecniche di Appalto (NTA) e i rispettivi campi di applicazione sono definiti nelle Tavole Sinottiche di seguito riportate:

- Tavola Sinottica 1 – conglomerati bituminosi, miscele e trattamenti in cui vengono impiegati i leganti di cui al presente Articolo;
- Tavola Sinottica 2 – tipi di leganti utilizzati nei conglomerati bituminosi, nelle miscele e nei trattamenti;
- Tavola Sinottica 3 – polimeri utilizzati nelle modifiche e additivi eventualmente impiegati nella produzione sia dei conglomerati bituminosi che delle miscele riciclate.

TAVOLA SINOTTICA 1
Conglomerati bituminosi, miscele e trattamenti

Sigla	*Descrizione*
CB	Conglomerato bituminoso con bitume normale per strati di base, collegamento ed usura
CBH	Conglomerato bituminoso ad alta resistenza a fatica per strati di base, collegamento ed usura, con bitume Hard modificato con polimeri SBS
CBD	Conglomerato bituminoso drenante
CBDS	Conglomerato bituminoso drenante strutturale
IPD	Conglomerato bituminoso ipodrenante
SMA	Conglomerato bituminoso antisdrucciolo (Stone Mastic Asphalt)
MRFS	Miscela riciclata a freddo con bitume schiumato e cemento
MRFE	Miscela riciclata a freddo con emulsione bituminosa e cemento
TAA	Trattamenti ad alta aderenza
S	Sigillature
MAD	Mano di attacco per conglomerati bituminosi drenanti
MAF	Mano di attacco a freddo per conglomerati bituminosi chiusi
MA	Mani di ancoraggio

TAVOLA SINOTTICA 2
Leganti bituminosi e leganti sintetici

Categoria Leganti	*Paragrafo*	*Sigla Legante*	*Campi di applicazione (vedi Tavola Sinottica 1)*
Bitume normale per usi diretti	§31.4.2.2.2	A	CB
Bitume normale per schiumatura	§31.4.2.2.3	A1	MRFS
Bitume modificato Hard con polimeri SBS	§31.4.2.3	B	CBH, CBD, CBDS, IPD, CBHT, SMA, MAD, S
Bitume ad elevata lavorabilità per conglomerato tiepido	§31.4.2.6	BA	CBH, CBD, CBDS, IPD, CBHT, SMA, MAD, S
Emulsione bituminosa cationica non modificata	§31.4.2.4	C C1 C2	MAF MA, MAF MRFE
Emulsione bituminosa cationica modificata	§31.4.2.5	D1 D2	MAF MRFE

TAVOLA SINOTTICA 3
Polimeri e Additivi

Sigla	*Polimeri*
SBS	Elastomeri tipo Stirene-Butadiene-Stirene

Sigla	*Paragrafo*	*Additivi*	*Campi di applicazione (vedi Tavola Sinottica 1)*
AA	§31.4.3.1	Attivanti di adesione	Conglomerati bituminosi con aggregati di natura acida
ACF	§31.4.3.2	Attivanti Chimici Funzionali	Conglomerati bituminosi con impiego di fresato (*)
FC	§31.4.4	Fibre di cellulosa	CBD, CBDS, IPD, SMA
FM	§31.4.4	Fibre miste	CBD, CBDS, IPD, SMA

(*) Fresato = conglomerato bituminoso di recupero (UNI EN 13108-8)

31.4.3.2 Bitumi normali per usi diretti

I bitumi normali impiegati senza alcun tipo di trattamento o modifica sono quei bitumi per uso stradale ottenuti dalla raffinazione del greggio di petrolio.

31.4.3.2.1 Specifiche sulla conformità dei bitumi normali

I bitumi normali per usi diretti di cui ai seguenti § 31.4.2.2.2 e 31.4.2.2.3, per essere ritenuti idonei e quindi impiegabili, dovranno essere dotati obbligatoriamente di marcatura CE e DoP secondo la Norma UNI EN 12591 con sistema di attestazione di conformità di tipo 2+.

31.4.3.2.2 Bitume normale - tipo "A"

I bitumi normali per usi diretti vengono impiegati per il confezionamento di conglomerati bituminosi tradizionali a caldo e debbono appartenere alla classe di penetrazione 50/70 (tipo "A"). La DL, a suo

insindacabile giudizio, si riserva la facoltà di autorizzare l'impiego di leganti appartenenti a classi di penetrazione differenti, in relazione a specifiche esigenze progettuali.
I principali requisiti tecnici che i bitumi di tipo "A" devono rispettare sono definiti nelle norme UNI EN 12591 e UNI/TR 11361 e sono riportati nella seguente tabella.

Bitume normale per usi diretti – Tipo "A"

Caratteristiche	Unità	Metodo di prova	Valore
Penetrazione a 25°C	0.1mm	UNI EN 1426	50-70
Punto di rammollimento	°C	UNI EN 1427	46-54
Punto di rottura (Fraass)	°C	UNI EN 12593	£ -8
Viscosità dinamica a 160 °C	Pa*s	UNI EN 13302	0.05-0.20
Valori dopo RTFOT (*)			
Variazione di massa	%	UNI EN 12607-1	£ 0.5
Penetrazione residua a 25°C	%	UNI EN 1426 UNI EN 12607-1	³ 50
Incremento del Punto di rammollimento	°C	UNI EN 1427 UNI EN 12607-1	£ 9

(*) Rolling Thin Film Oven Test (UNI EN 12607-1)

31.4.3.2.3 Bitume normale per schiumatura - tipo "A1"

Il bitume schiumato si ottiene iniettando, all'interno di un'apposita camera di espansione, bitume caldo (> 160°C), acqua e aria in pressione.
A contatto con il bitume caldo, l'acqua subisce un cambiamento di stato da liquido a gassoso, espandendosi e producendo una schiuma costituita da bolle di bitume piene di vapore acqueo che rendono il legante più adatto alla miscelazione con gli aggregati in quanto caratterizzato da una minore viscosità.
Per la produzione di bitume schiumato devono essere utilizzati solo bitumi appartenenti alla classe di penetrazione 70/100 (tipo "A1"), rispondenti ai requisiti tecnici definiti dalle norme UNI EN 12591 e UNI/TR 11361 e riportati nella seguente tabella.

Bitume normale per schiumatura – Tipo "A1"

Caratteristiche	Unità	Metodo di prova	Valore
Penetrazione a 25°C	0.1 mm	UNI EN 1426	70-100
Punto di rammollimento	°C	UNI EN 1427	43-51
Punto di rottura (Fraass)	°C	UNI EN 12593	£ -10
Viscosità dinamica a 160 °C	Pa*s	UNI EN 13302	0.01-0.15
Valori dopo RTFOT			
Variazione di massa	%	UNI EN 12607-1	£ 0.8
Penetrazione residua a 25 °C	%	UNI EN 1426 UNI EN 12607-1	³ 50
Incremento del punto di rammollimento	°C	UNI EN 1427 UNI EN 12607-1	£ 11

(*) Rolling Thin Film Oven Test (UNI EN 12607-1)

La DL, a suo insindacabile giudizio, si riserva la facoltà di autorizzare l'impiego di leganti bituminosi appartenenti a classi di penetrazione differenti, in relazione a specifiche esigenze progettuali.
In ogni caso, il solo valore di penetrazione e il rispetto delle caratteristiche riportate nella

tabella sopra non sono sufficienti per qualificare un legante per l'impiego in una miscela schiumata ma risulta necessario testare anche la propensione alla schiumatura dello stesso attraverso la valutazione del rapporto di espansione e del tempo di semi-trasformazione, così come definitivi al seguente § 31.4.2.2.3.1.
Nello specifico, i bitumi da impiegare per la schiumatura devono rispettare i limiti riportati in questa ulteriore tabella.

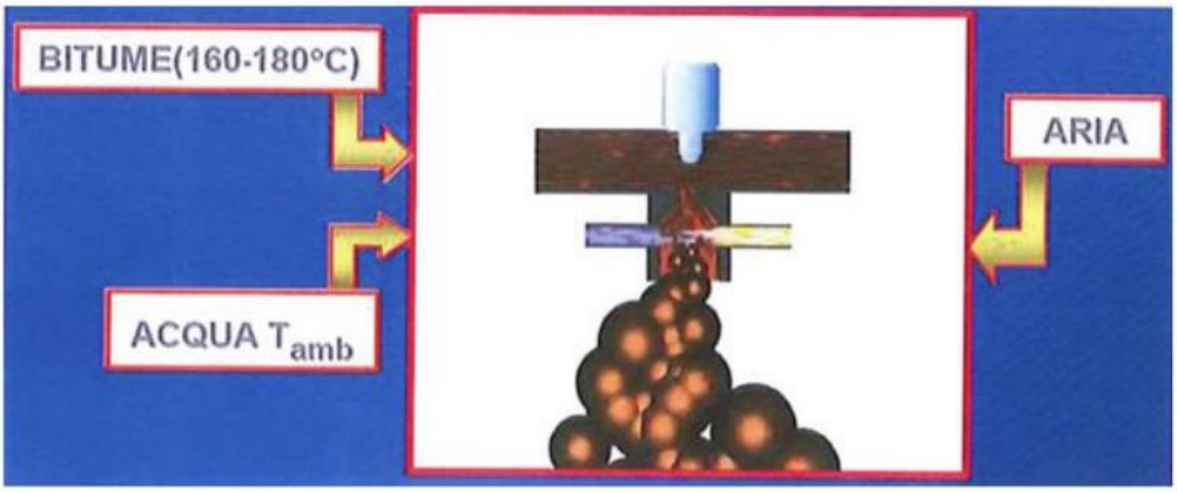
Propensione alla schiumatura dei bitumi

Caratteristiche	Unità	Metodo di prova	Valore
Rapporto di espansione (EXPANSION RATIO) (*)	-	(metodologia di prova interna ASPI – § 31.4.2.2.3.1)	³ 20
Tempo di semi-trasformazione (HALF LIFE) (**)	sec	(metodologia di prova interna – § 31.4.2.2.3.1)	³ 25

(*) Le caratteristiche di espansione ottimali del bitume devono essere determinate in un campo di temperature variabile tra 170 e 190 °C (prima dell'espansione), e con percentuali di acqua compresa tra 1% e 4% in peso sul bitume.
(**) Tempo necessario per dimezzare l'espansione del bitume

31.4.3.2.3.1 Caratterizzazione di un bitume schiumato

SCOPO E CAMPO DI APPLICAZIONE
Lo scopo è quello di determinare la percentuale di acqua richiesta per ottimizzare le caratteristiche di schiumatura di un bitume, ovvero espansione e tempo di dimezzamento.
Il bitume schiumato può essere prodotto una volta che è stata impostata la portata dell'acqua per la schiumatura (temperatura, pressione dell'acqua e aria sono parametri definiti).
La presente procedura si applica per determinare le proprietà di schiumatura di un bitume tal quale, in fase di qualifica e/o durante la fase dei controlli delle miscele bituminose.
PRINCIPIO
L'apparecchiatura di prova composta da "Camera d'espansione/ugello" (fig.1) è in grado di produrre bitume schiumato simile a quello prodotto dagli impianti installati sulle macchine operatrici impiegati nelle lavorazioni di risanamento profondo:



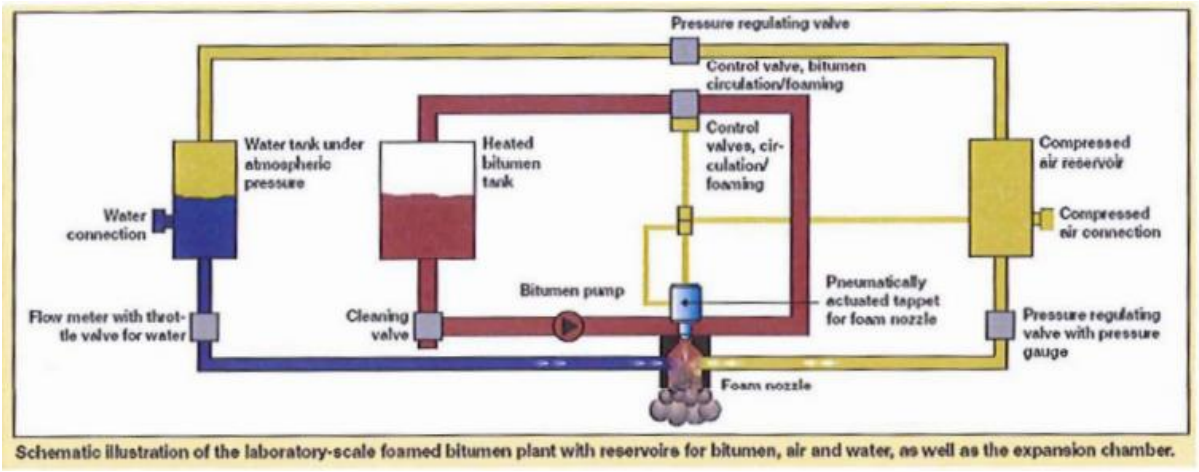


Fig. 1

Il processo consiste nel combinare bitume caldo e acqua, in piccola percentuale sul peso del legante, dentro una camera d'espansione. Quando le particelle d'acqua vengono a contatto con il bitume caldo, si ha un aumento della temperatura dell'acqua fino a che questa raggiunge il suo punto di ebollizione. A seguito di questo processo si ha il passaggio di stato dell'acqua dallo stato liquido al gassoso; il risultato è la formazione di bolle piene di vapore acqueo ricoperte da un sottile film di bitume che conferiscono al bitume un aspetto schiumoso. Il risultato finale è che la schiuma incrementa la superficie specifica del bitume e riduce considerevolmente la sua viscosità rendendo il legante più adatto alla miscelazione con gli aggregati freddi e umidi.

APPARECCHIATURA DI PROVA

- Impianto di laboratorio tipo "Schiumatura Wirtgen modello WLB010"
- Bilancia della portata di 1000 g avente risoluzione 1.0 g
- Contenitore metallico di forma cilindrica avente un diametro di 300 mm ± 25 mm ed un'altezza minima di 350 mm
- Asta metallica graduata con una gradazione intervallata di 50 mm ± 1 mm
- Cronometro avente precisione 1/60 di minuto
- Termometro avente scala da 0 °C a 300 °C e risoluzione ± 1 °C

ALLESTIMENTO DELL'APPARECCHIATURA DI PROVA

La fase consiste nell'approntare l'unità di schiumaggio alle connessioni esterne, occorre:

- Collegare l'unità ad una sorgente di corrente elettrica;
- Collegare l'unità ad una sorgente di aria compressa (pressione minima 6 bar continui);
- Avviare l'interruttore di alimentazione.

Successivamente occorre procedere seguendo le seguenti fasi.

Riempimento del serbatoio d'acqua

Il serbatoio dell'acqua deve preliminarmente spurgato dell'aria presente nel sistema attraverso l'apertura della valvola di spurgo, successivamente si deve aprire il rubinetto per l'alimentazione dell'acqua e procedere al riempimento del serbatoio.

Riscaldamento del bitume

Il serbatoio del bitume deve essere preriscaldato ad una temperatura minima di 100 °C, quindi aggiungere bitume precedentemente scaldato in stufa a 180 °C.

Circolo del bitume del sistema
La pompa del bitume deve essere avviata quando il bitume è ben miscelato e fluido, la pompa ha raggiunto la temperatura operativa e vi è pressione di aria nel sistema.

Impostazione del timer
Il timer di uscita, che regola il tempo di apertura della valvola bitume all'ingresso della camera di espansione (consentendo che una quantità di bitume venga scaricata nella camera di espansione), è impostata di volta in volta che si procede con una nuova prova in quanto è funzione della portata di bitume presente.

Controllo della portata del bitume
Controllare con regolarità la portata di uscita del bitume.

Impostazione del flusso d'acqua per la schiumatura
Sistemare il contenitore sotto l'ugello per raccogliere l'acqua per la schiumatura. Operare manualmente agendo sugli interruttori dell'aria e dell'acqua per l'avvio del flusso dell'acqua. La portata può essere regolata alla base del flussometro e verificata, con il misuratore, la quantità del flusso dell'acqua in litri/ora.
La portata è calcolata secondo la seguente espressione:

$$Qacqua = (Qbit \cdot Wadd \cdot 3.6)/100$$

Dove:

$Qacqua$ = portata acqua (l/h)
$Qbit$ = portata bitume (g/s)
$Wadd$ = contenuto schiuma acqua (%)

PROCEDIMENTO DI PROVA

Selezionare la temperatura alla quale si intende determinare le caratteristiche di schiumatura (normalmente a 180 °C). Riscaldare per almeno 5 minuti il bitume alla temperatura impostata e poi procedere con la produzione di schiuma. Per ciascuna temperatura misurare le caratteristiche di schiumatura ai seguenti valori di iniezione d'acqua in peso sul bitume: 1%, 2%, 3% e 4%.
Per ogni percentuale di acqua riferita al legante bituminoso si eseguono due prove e si misura l'altezza (expansion) della schiuma di bitume e il tempo di semi-trasformazione (half-time) e se ne ottiene il valore medio secondo quanto segue:

- Impostare sul timer dell'apparecchiatura il tempo di scarica di 500 g di bitume secondo il seguente rapporto:

  $$Tin = 500\ g/Qbit$$

  Dove:
  Tin = tempo di iniezione (s)
  $Qbit$ = portata bitume (g/s)

- Scaricare la quantità di schiuma in un contenitore metallico;
- Usare l'asta graduata, in dotazione con l'apparecchiatura, per misurare la massima espansione raggiunta nel contenitore: si determina così il rapporto di espansione cioè il rapporto tra il volume raggiunto allo stato schiumoso e il volume finale del legante una volta che la schiuma si è dissipata;
- Misurare, con un cronometro, il tempo in secondi impiegato dalla schiuma a ridursi a metà del suo volume massimo: si determina così il tempo di dimezzamento del bitume;
- Per ogni percentuale d'acqua utilizzata, la prova deve essere ripetuta due volte.

ESPRESSIONE DEI RISULTATI
Pe ogni percentuale di acqua riferita al legante bituminoso si eseguono due prove e si misurano:

3. L'altezza della schiuma di bitume (expansion), attraverso il controllo a vista sull'asta graduata;
4. Il tempo di semi-trasformazione (half-time) misurato con il cronometro.

Si ottiene così, per ogni percentuale di acqua, il valore medio delle due prove.
Il rapporto tra l'espansione del legante bituminoso e il tempo di semi-trasformazione è la capacità del legante bituminoso di "schiumare".

RISULTATI DELLE PROVE
I valori di expansion e half-time corrispondono alla media dei valori ottenuti per ogni percentuale di acqua.
Condizione di accettabilità: scarto di ripetibilità (RDS%) per expansion deve essere ≤ 10 e per half-time ≤ 30 e i due risultati devono rispondere alle seguenti prescrizioni da capitolato:

A. Il valore di expansion ≥ 20
B. Il valore di half-time ≥ 25 s

I risultati sono riportati nel foglio rilevamento dati e rapporto di prova.

31.4.3.3 Bitume modificato hard con polimeri SBS – tipo "B"

I bitumi modificati con polimeri per essere ritenuti idonei e quindi impiegabili, dovranno essere dotati obbligatoriamente di marcatura CE secondo la Norma UNI EN 14023 con sistema di attestazione di conformità di tipo 2+.

I leganti bituminosi modificati sono leganti per uso stradale costituiti da bitumi normali miscelati con diverse tipologie di polimero, in specifici impianti industriali.
I bitumi modificati sono in grado di fornire un miglioramento complessivo delle proprietà fisico-chimiche rispetto ai bitumi normali.
Nelle presenti NTA, il legante di tipo "B" è un bitume modificato Hard con polimeri Stirene Butadiene Stirene (SBS). La DL, a suo insindacabile giudizio, si riserva la facoltà di autorizzare l'impiego di leganti bituminosi modificati con altre tipologie di polimeri e/o ottenuti con processi di modifica diversi, in relazione a specifiche esigenze progettuali.
I bitumi modificati Hard devono essere tassativamente impiegati, salvo diversa indicazione della DL, nelle miscele indicate nella Tavola Sinottica 2 di cui al § 31.4.2.1.
I principali requisiti tecnici che tali leganti devono rispettare sono definiti nelle norme UNI EN 14023 e UNI/TR 11478 e sono riportati nella seguente tabella:

Bitume modificato Hard con polimeri SBS – Tipo "B"

Caratteristiche	Unità	Metodo di prova	Valore
Penetrazione a 25°C	0.1mm	UNI EN 1426	45-80
Punto di rammollimento	°C	UNI EN 1427	³ 70
Punto di rottura (Fraass)	°C	UNI EN 12593	£ -12
Viscosità dinamica a 160 °C	Pa*s	UNI EN 13302 UNI EN 13702	0.15-0.8
Ritorno elastico a 25□C	%	UNI EN 13398	³ 80
Stabilità allo stoccaggio (variazione del punto di rammollimento)	°C	UNI EN 13399	£ 3
Valori dopo RTFOT (*)			

Variazione di massa	%	UNI EN 12607-1	£ 0.8
Penetrazione residua a 25°C	%	UNI EN 1426 UNI EN 12607-1	³ 40
Incremento del punto di rammollimento	°C	UNI EN 1427 UNI EN 12607-1	£ 5

(*) Rolling Thin Film Oven Test (UNI EN 12607-1)

31.4.3.4 Leganti bituminosi ad alta lavorabilità

Questo tipo di leganti sono additivati con polimeri elastomerici di tipo SBS (o elastomeri equivalenti) e con idonei additivi di varia natura (es. resine cristalline o prodotti simili). Il polimero SBS consente di ridurre la termo-dipendenza del legante mantenendo adeguati livelli di rigidezza ed elasticità nel campo delle alte temperature di esercizio e migliora in generale la risposta meccanica del legante. Gli additivi consentono di migliorare le caratteristiche di lavorabilità in condizioni poco ottimali e favoriscono l'adesione agli aggregati lapidei. Questa tipologia di bitumi può essere utilizzata nel range di temperature tipico delle miscele preparate a caldo, oppure a temperature ribassate (fino a circa 30°C), necessarie a ridurre le emissioni che si generano durante le operazioni di produzione, trasporto e stesa. Il legante dovrà essere prodotto in appositi impianti capaci di disperdere ottimamente la fase polimerica all'interno della fase bituminosa e di garantire una consistenza delle proprietà del legante riportate nella tabella in seguito. Lo stoccaggio dovrà avvenire in apposito serbatorio riscaldato, coibentato e preventivamente svuotato dal bitume preesistente.
I bitumi ad alta lavorabilità dovranno essere dotati obbligatoriamente di marcatura CE secondo la Norma UNI EN 14023 con sistema di attestazione di conformità di tipo 2+. I principali requisiti tecnici che tali leganti devono rispettare sono definiti nelle norme UNI EN 14023 sono riportati nella tabella al § 31.4.3.3 relativo ai bitumi modificati hard modificati con SBS.

31.4.3.5 Emulsioni bituminose cationiche non modificate – tipo "C", "C1" e "C2"

Le emulsioni bituminose cationiche non modificate per essere ritenute idonee e quindi impiegabili, dovranno essere dotati obbligatoriamente di marcatura CE secondo la Norma UNI EN 13808 con sistema di attestazione di conformità di tipo 2+.

Le emulsioni bituminose cationiche non modificate vengono utilizzate nelle seguenti applicazioni:

- mani di ancoraggio MA (legante "C1")
- mani di attacco a freddo MAF (legante "C" e "C1") applicate all'interfaccia di strati in conglomerato bituminoso di tipo chiuso confezionati con bitume normale
- miscele riciclate a freddo MRFE (legante "C2") con emulsione bituminosa e cemento.

I principali requisiti tecnici che tali leganti devono rispettare sono definiti nelle norme UNI EN 13808 e UNI/TR 11362 e sono riportati nella seguente tabella:

Emulsioni bituminose cationiche non modificate – Tipo "C", "C1" e "C2"

Caratteristiche	Unità	Metodo di prova	Legante "C"	Legante "C1"	Legante "C2"
Contenuto di legante	%	UNI EN 1428	63-67	53-57	58-62
Indice di rottura	-	UNI EN 13075-1	da 70 a 155 (classe 3)	da 110 a 195 (classe 4)	-
Miscelazione con cemento	g	UNI EN 12848	-	-	£ 2 (classe 10)

Sedimentazione (7 giorni di stoccaggio)	%	UNI EN 12847	£ 10 (classe 3)	£ 10 (classe 3)	£ 10 (classe 3)
CARATTERISTICHE DEL BITUME RESIDUO (UNI EN 13074-1)					
Penetrazione a 25°C	0.1 mm	UNI EN 1426	£ 100	£ 220	£ 100
Punto di rammollimento	°C	UNI EN 1427	³ 43	³ 35	³ 43

La DL, a suo insindacabile giudizio, si riserva la facoltà di autorizzare l'impiego di emulsioni bituminose cationiche caratterizzate da un contenuto di legante diverso da quello riportato nella precedente tabella, a condizione che siano rispettati sia il dosaggio finale richiesto per la specifica lavorazione che le caratteristiche del bitume residuo.
Le emulsioni bituminose di tipo "C" sono designate con la sigla C65B3 secondo la norma UNI EN 13808, le emulsioni bituminose di tipo "C1" sono designate con la sigla C55B4 e le emulsioni bituminose di tipo "C2" sono designate con la sigla C60B10.

31.4.3.6 Emulsioni bituminose cationiche modificate - tipo "D1" e "D2"

Le emulsioni bituminose cationiche modificate per essere ritenute idonee e quindi impiegabili, dovranno essere dotati obbligatoriamente di marcatura CE secondo la Norma UNI EN 13808 con sistema di attestazione di conformità di tipo 2+.

Le emulsioni bituminose cationiche modificate vengono utilizzate nelle seguenti applicazioni:

- mani di attacco a freddo MAF (legante "D1") per conglomerati bituminosi di tipo chiuso confezionati con bitume modificato
- miscele riciclate a freddo MRFE (legante "D2") con emulsione bituminosa e cemento.

I principali requisiti tecnici che tali leganti devono rispettare sono definiti nelle norme UNI EN 13808 e UNI/TR 11362 e sono riportati nella seguente tabella:

Emulsioni bituminose cationiche modificate – Tipo "D1" e "D2"

Caratteristiche	Unità	Metodo di prova	Legante "D1"	Legante "D2"
Contenuto di legante	%	UNI EN 1428	63-67	58-62
Indice di rottura	-	UNI EN 13075-1	da 70 a 155 (classe 3)	-
Miscelazione con cemento	g	UNI EN 12848	-	≤ 2 (classe 10)
Sedimentazione (7 giorni di stoccaggio)	%	UNI EN 12847	£ 10 (classe 3)	£ 10 (classe 3)
CARATTERISTICHE DEL BITUME RESIDUO (UNI EN 13074-1)				
Penetrazione a 25 °C	0.1 mm	UNI EN 1426	£ 100	£ 100
Punto di rammollimento	°C	UNI EN 1427	³ 50	³ 55
Ritorno elastico a 25 □C	%	UNI EN 13398	³ 50	³ 50
Energia di coesione con "force ductility" a 10 °C	J/cm^2	UNI EN 13587 UNI EN 13703	³ 1	³ 1

La DL, a suo insindacabile giudizio, si riserva la facoltà di autorizzare l'impiego di emulsioni bituminose cationiche modificate caratterizzate da un contenuto di legante diverso da quello riportato

nella precedente tabella, a condizione che siano rispettati sia il dosaggio finale richiesto per la specifica lavorazione che le caratteristiche del bitume residuo.
Le emulsioni bituminose di tipo "D1" sono designate con la sigla C65BP3 secondo la norma UNI EN 13808 e le emulsioni bituminose di tipo "D2" sono designate con la sigla C60BP10.

31.4.4 Additivi per conglomerati bituminosi

Allo scopo di migliorare le caratteristiche, le proprietà e le prestazioni dei conglomerati bituminosi possono essere aggiunti additivi in concentrazione variabile.
L'aggiunta di additivi può avvenire direttamente nel processo di produzione dei conglomerati bituminosi e/o nel legante bituminoso fornito all'impianto.
La natura e le proprietà degli additivi utilizzati devono essere conformi ai requisiti della norma UNI 11837 che non è una norma di marcatura CE. L'Appaltatore deve presentare le prove indicate al prospetto 5 della UNI 11837 per determinare le prestazioni e gli effetti degli additivi sui conglomerati bituminosi rispetto a miscele non additivate.

In generale, a parità di caratteristiche tecniche, si dovrà preferire prodotti più sostenibili dal punto di vista ambientale.

31.4.4.1 Additivi attivanti di adesione (AA)

Gli attivanti di adesione (AA) sono sostanze chimiche che hanno la funzione di favorire l'adesione tra il bitume e l'aggregato (agenti tensioattivi di adesività).

Il loro utilizzo può essere previsto nel confezionamento di conglomerati bituminosi che prevedono, ad esempio, l'impiego di aggregati vergini di natura acida (es. aggregati porfirici, silicei) oppure nei casi in cui la miscela presenti una suscettività al danno prodotto dall'acqua. Gli attivanti di adesione danno inoltre un contributo all'adesione anche nel caso in cui si eseguano lavorazioni in condizioni meteorologiche non favorevoli oppure in presenza di aggregati umidi oppure quando la pavimentazione è esposta a condizioni severe (temperature basse, frequente spargimento di sali fondenti ecc.). In ogni caso, in funzione della natura degli aggregati, dell' ubicazione della pavimentazione e dello strato interessato dall'intervento, la DL si riserva la facoltà di definire, a suo insindacabile giudizio, le circostanze in cui dovranno essere impiegati gli attivanti di adesione.

Con adeguato anticipo rispetto all'inizio dei lavori, l'Appaltatore deve fornire alla DL la scheda tecnica dell'additivo AA che intende impiegare, per permetterne l'accettazione. In relazione alle caratteristiche dello stesso, alle specifiche condizioni di impiego e alla natura degli aggregati, devono inoltre essere forniti una descrizione delle modalità di aggiunta dell'AA presso l'impianto di produzione e il dosaggio di additivo da usare, specificandolo nello studio preliminare della miscela di progetto. In linea generale, il dosaggio varia in funzione della natura mineralogica dell'aggregato, delle caratteristiche di viscosità del legante e della miscela da porre in opera (es. dosaggi generalmente maggiori nelle miscele drenanti).

L'immissione degli attivanti di adesione deve essere realizzata con attrezzature e procedure idonee, tali da garantire il corretto dosaggio ed una uniforme dispersione nel legante.

31.4.4.2 Attivanti chimici funzionali (ACF)

Gli attivanti chimici funzionali (ACF), noti anche come "rigeneranti", sono composti chimici che devono essere utilizzati, ad insindacabile giudizio della DL, come additivi, nei conglomerati bituminosi che prevedono l'impiego di fresato prodotti con bitume normale oppure modificato.
Gli ACF sono additivi specificatamente formulati per migliorare la tecnologia del riciclaggio a caldo. Essi hanno la funzione di rigenerare le caratteristiche del bitume invecchiato proveniente dalla

fresatura di pavimentazioni bituminose, svolgendo le seguenti azioni:

- disperdenti al fine di ottimizzare l'omogeneizzazione del legante nel conglomerato finale ed ottenere una miscela sufficientemente lavorabile;
- ricostituenti delle proprietà chimiche e fisiche del bitume invecchiato;
- attivanti di adesione;
- peptizzanti e diluenti nei confronti del bitume invecchiato ancora legato alle superfici degli elementi lapidei costituenti il conglomerato fresato;
- antiossidanti in contrapposizione agli effetti ossidativi, ai raggi ultravioletti e alle azioni termiche subite dalla pavimentazione.

Considerando che gli ACF svolgono anche la funzione di attivanti di adesione, nel caso in cui in un conglomerato bituminoso sia previsto l'impiego di ACF, l'aggiunta degli AA può essere omessa.
L'Appaltatore deve fornire alla DL la scheda tecnica dell'additivo ACF che intende impiegare, per permetterne l'accettazione sentito eventualmente anche il parere del progettista. In relazione alle caratteristiche dello stesso e alle specifiche condizioni di impiego, devono inoltre essere forniti una descrizione delle modalità di aggiunta dell'ACF presso l'impianto di produzione e il dosaggio di additivo da usare (da esprimere in funzione della percentuale di fresato impiegato), specificandolo nello studio preliminare della miscela di progetto.
L'immissione degli attivanti chimici funzionali deve essere realizzata con attrezzature e procedure idonee, tali da garantire il corretto dosaggio ed una uniforme dispersione nel legante.

31.4.4.3 Additivi chimici per conglomerati bituminosi tiepidi (ACT)

Gli additivi chimici per la produzione di conglomerati bituminosi tiepidi (ACT) sono composti chimici polifunzionali a formulazione complessa che vengono utilizzati come additivi nei conglomerati bituminosi tiepidi, anche in presenza di materiale riciclato proveniente dalla fresatura di pavimentazioni bituminose.
Essi svolgono una triplice azione in quanto permettono di:

- rigenerare le caratteristiche del bitume invecchiato presente nell'aggregato RA eventualmente impiegato (in alcuni casi);
- promuovere le proprietà di adesione del bitume agli aggregati;
- consentire l'abbassamento delle temperature di produzione, posa in opera e compattazione dei conglomerati bituminosi rispetto a quelle tradizionalmente impiegate, migliorando la lavorabilità delle miscele cosiddette "tiepide".

Nel caso in cui la tipologia di ACT utilizzata svolga sia la funzione di attivante di adesione che di rigeneranti del bitume invecchiato, qualora si preveda l'impego di conglomerato bituminoso di recupero l'aggiunta di attivanti chimici funzionali può essere omessa.

Con adeguato anticipo rispetto all'inizio dei lavori, l'Impresa deve fornire alla DL la scheda tecnica dell'additivo ACT che intende impiegare, per permetterne l'accettazione sentito eventualmente anche il parere del progettista. In relazione alle caratteristiche dello stesso e alle specifiche condizioni di impiego, devono inoltre essere forniti una descrizione delle modalità di aggiunta dell'ACT presso l'impianto di produzione e il dosaggio di additivo da usare, specificandolo nello studio preliminare della miscela di progetto
L'immissione degli additivi chimici per conglomerati bituminosi tiepidi deve essere realizzata con attrezzature e procedure idonee, tali da garantire il corretto dosaggio ed una uniforme dispersione nel legante.

31.4.5 Fibre

Le fibre impiegate in ambito autostradale sono di cellulosa (FC) oppure miste (es. vetro e cellulosa). In generale, è preferibile l'impiego di fibre di tipo misto, costituite da fibre di vetro pressate e agglomerate tramite l'impiego di prodotti addensanti quali ad esempio la cellulosa, aventi l'obiettivo di evitare la dispersione in aria della fibra di vetro. La DL, a suo insindacabile giudizio, si riserva la facoltà di autorizzare l'impiego di fibre differenti da quelle descritte.
Con adeguato anticipo rispetto all'inizio dei lavori, l'Appaltatore deve fornire alla DL la scheda tecnica delle fibre che intende impiegare, per permetterne l'accettazione. In relazione alle caratteristiche delle stesse e alle specifiche condizioni di impiego, devono inoltre essere forniti una descrizione delle modalità di aggiunta delle fibre presso l'impianto di produzione e il loro dosaggio, specificandolo nello studio preliminare della miscela di progetto
Le fibre vanno inserite, con procedure e attrezzature idonee, nella camera di miscelazione del conglomerato bituminoso, allo scopo di garantirne la disgregazione, il corretto dosaggio e una dispersione uniforme all'interno della miscela di conglomerato.

31.5 Criteri di accettazione delle miscele speciali

31.5.1 Usura con impiego di argilla espansa

Le miscele di usura confezionate con inerti di argilla espansa, conferiscono alla superficie stradale incrementi di caratteristiche di aderenza rispetto alle miscele con soli inerti naturali, ed una certa media fono-assorbenza.
La capacità fonoassorbente deve essere, in termini di assorbimento a, pari almeno a 0,2 alle frequenze di campionamento di 600 Hz e 0,3 alle frequenze di campionamento di 800 e 1000 Hz. Le misure andranno effettuate con apparecchiatura RI.MA. o similari.

31.5.1.1 Composizione granulometrica delle miscele

La miscela degli aggregati deve avere una composizione granulometrica compresa nel seguente fuso:

UNI EN 933-1	Passante totale in peso %
Setaccio 14	100
" 12,5	
" 10	82-93
" 8	
" 6,3	57-77
" 4	39-59
" 2	25-38
" 0,5	12-22
" 0,125	7-13
" 0,063	6-10

La percentuale di argilla espansa deve essere compresa tra il 10% ed il 15% in peso.
Dalla granulometria eseguita sulla pezzatura 3/11mm, la percentuale di trattenuto al setaccio UNI da 8 mm deve essere inferiore od uguale al 10% in peso; inoltre, la percentuale di passante al setaccio UNI con apertura 2 mm deve essere inferiore od uguale al 10% in peso.

L'utilizzazione di percentuali maggiori o minori di argilla espansa, con diverse caratteristiche meccaniche, di composizione e/o granulometriche per impieghi non specificati dalle presenti N.T.A., devono essere definite di volta in volta in fase di studio e di progetto con la D.L.

31.5.1.2 Contenuto di legante

Il tenore di bitume, di tipo Normale o Hard, (§ 31.4.2) del tipo "A" riferito al peso totale degli aggregati deve essere compreso tra il 5,5% ed il 7,0%.

31.5.1.3 Aggregati

L'aggregato di argilla espansa dovrà possedere marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA della norma europea armonizzata UNI EN 15732 oppure alla UNI EN 13055 con sistema di attestazione di conformità 2+ e dichiarazione di prestazione DoP. Per le argille occorre il rispetto dei seguenti requisiti:

- Per usura chiusa: argilla espansa di tipo "resistente" pezzatura: 3/11 mm con resistenza del granulo allo schiacciamento $\geq$ 2,7 MPa (UNI EN 13055-2);
- valore di levigabilità VL. (UNI EN 1097-8) ≥ 65.

L'argilla espansa, in cantiere, deve essere convenientemente protetta dalla pioggia con teli di plastica o ammannita al coperto.

31.5.1.4 Posa in opera delle miscele

Valgono le stesse prescrizioni indicate per i conglomerati tradizionali (§ 31.9.2).

31.6 Criteri di accettazione per altri materiali e lavorazioni

31.6.1 Riduzione della fessurazione di riflessione

Nel caso di demolizione e ricostruzione anche parziale degli strati in conglomerato bituminoso, al fine di ridurre il fenomeno della fessurazione di riflessione (aumentando la durata a fatica) e prevenire possibili infiltrazioni di acqua proveniente dalla superficie stradale, nel caso di pavimentazioni:

- poste a cavallo di un giunto di ripresa longitudinale;
- che presentano fessurazioni sul fondo del cavo fresato;

è prevista la posa in opera di un geocomposito, ottenuto dall'accoppiamento di una geomembrana auto-termo-adesiva (realizzata con un compound bituminoso elastomerico SBS) con un geosintetico di rinforzo, dotato di idonee caratteristiche (vedi §31.6.1.1).
L'utilizzo del geocomposito può essere anche previsto sui giunti longitudinali fra lastra di pavimentazione composita polifunzionale (PCP) e pavimentazione semirigida/flessibile affiancata, prima della stesa della mano d'attacco nel caso di ricostruzione dell'usura drenante sovrastante.
Da un punto di vista esecutivo, l'applicazione del geocomposito deve avvenire su una superficie fresata perfettamente regolare garantendo l'assenza di una macrotessitura eccessiva attraverso la limitazione della velocità di avanzamento durante le operazioni di fresatura a freddo della pavimentazione, da definire in accordo alla DL in funzione del tipo di apparecchiatura di cui dispone l'Appaltatore.
Al termine della fresatura, deve essere eseguita una accurata rimozione del materiale residuo mediante spazzolatura a secco prevedendo, a discrezione della DL, una finitura con l'ausilio di getti di aria compressa. La profondità del piano di posa del geocomposito rispetto alla superficie della pavimentazione finita deve essere almeno pari a 7 cm.

Prima dell'applicazione del geocomposito sulla superficie fresata, si deve verificare che la pavimentazione sia perfettamente asciutta e che la temperatura superficiale sia ≥ 10 °C (condizioni ottimali di utilizzo si hanno per Tsup ≥ 20 °C).
Qualora non si verifichi una o entrambe le condizioni richiamate, la posa in opera del geocomposito non è consentita ed eventuali violazioni da parte dell'Appaltatore comporteranno l'applicazione di una penale del 10% sul prezzo della lavorazione oppure, ad insindacabile giudizio della DL, la completa rimozione e l'applicazione del nuovo geocomposito a perfetta regola d'arte a spese e cura dell'Appaltatore.
Nel caso di applicazione al di sopra di un giunto longitudinale, la larghezza trasversale minima del geocomposito deve essere pari ad almeno 50 cm (minimo 25 cm rispetto ad entrambi i lati della fessura, necessari per garantire un adeguato ancoraggio trasversale al geocomposito).
L'applicazione dei fogli di geocomposito deve avvenire garantendo una sovrapposizione di testa fra fogli consecutivi di almeno 15 cm effettuata in modo che il lembo superiore sia disposto lungo il senso di marcia della finitrice.
Prima della posa in opera dello strato in conglomerato bituminoso, i geocompositi devono essere sottoposti ad una compattazione preferibilmente con rullo gommato per favorire una perfetta adesione alla superficie fresata ed evitare la formazione di pieghe durante il passaggio della finitrice e dei mezzi di cantiere.
Al fine di garantire un ancoraggio ottimale del geocomposito al piano di posa, il conglomerato bituminoso sovrastante deve essere posto in opera ad una temperatura ≥ 150 °C e/o comunque rispondente con le specifiche riportate nella scheda tecnica del prodotto (temperature inferiori di stesa possono essere autorizzate ad insindacabile giudizio della DL) per promuovere un'adeguata fusione del compound bituminoso elastomerico e la conseguente attivazione dello speciale strato auto-termo-adesivo posto alla base del geocomposito.
In caso di utilizzo in abbinamento con conglomerati bituminosi tiepidi, i geocompositi utilizzati dovranno garantire un ancoraggio ottimale anche a temperature compatibili con la lavorazione tiepida (120°C – 140°C). Relativamente ai requisiti richiesti per la miscela di conglomerato bituminoso applicata sopra il geocomposito e alle relative lavorazioni strettamente connesse, si rimanda a quanto prescritto al § 31.3.

31.6.1.1 Requisiti del geocomposito per fessure di riflessione

Il geocomposito deve essere conforme alla normativa UNI EN 15381 o UNI EN 14695 con sistema di attestazione di conformità di tipo 2+.

I geocompositi devono essere ottenuti dall'accoppiamento di una geomembrana auto-termo-adesiva (realizzata con un compound bituminoso elastomerico SBS) e di una armatura costituita da geosintetici di rinforzo (multistrato in poliestere non tessuto stabilizzato ad elevatissima grammatura e fibre di vetro multidirezionali e/o geogriglie in fibra di vetro).
I geocompositi devono essere dotati di una superficie inferiore auto-termo-adesiva (per favorire l'adesione con lo strato di conglomerato bituminoso sottostante) ricoperta da un film protettivo da asportare all'atto della messa in opera. Inoltre, i geocompositi devono essere provvisti di una superficie superiore ricoperta con un fine strato minerale per evitare (soprattutto in climi caldi) l'adesione alle ruote dei mezzi di cantiere e promuovere la solidarizzazione con lo strato di conglomerato bituminoso sovrastante al momento della stesa a caldo.
I geocompositi, forniti in rotoli opportunamente stoccati durante le lavorazioni e di larghezza pari ad almeno 1 m (50 cm nel caso di fessure dovute a giunti longitudinali), devono avere modalità di applicazione compatibili con le normali pratiche di manutenzione stradale e caratteristiche conformi alle specifiche riportate nella seguente tabella:

Caratteristica	Norma	Requisito
Spessore	UNI EN 1849-1	³ 2,5 mm
Resistenza a trazione L/T	UNI EN 12311-1	³ 35 kN/m
Allungamento a rottura L/T	UNI EN 12311-1	³ 4%
Resistenza alla compattazione di uno strato di congl. bitum.	UNI EN 14692	esito positivo
Impermeabilità dinamica ad una pressione di 500 kPa	UNI EN 14694	esito positivo

31.6.2 Rinforzo strutturale delle pavimentazioni

Nel caso di pavimentazioni che presentano dissesti di tipo strutturale, per i quali si rendano necessari interventi di ripristino della capacità portante realizzati tramite la sostituzione degli strati ammalorati, sul fondo del cavo fresato si potrà richiedere la posa in opera di geocompositi.
I geocompositi sono ottenuti dall'accoppiamento di una geomembrana auto-termo-adesiva (realizzata con un compound bituminoso elastomerico SBS) con un geosintetico di rinforzo, dotato di idonee caratteristiche (vedi §31.6.2.1).
L'applicazione del geocomposito, estesa alla singola corsia di marcia oppure a più corsie, può essere prevista per interventi di risanamento strutturale limitando la profondità della pavimentazione esistente da rimuovere mediante fresatura, apportando i seguenti benefici:

- Incremento della vita utile a fatica;
- Maggiore diffusione delle tensioni verticali sugli strati non legati;
- Contenere la risalita di fessure esistenti (fessurazione di riflessione) agendo come stress absorbing membrane interlayer (SAMI);
- Evitare infiltrazioni di acqua negli strati profondi e conseguenti risalite di materiale fino;
- Favorire lavorazioni notturne su tratte ad elevato traffico.

Da un punto di vista esecutivo, l'applicazione del geocomposito deve avvenire su una superficie fresata perfettamente regolare, garantendo l'assenza di una macrotessitura eccessiva attraverso la limitazione della velocità di avanzamento durante le operazioni di fresatura a freddo della pavimentazione, da definire in accordo alla DL in funzione del tipo di apparecchiatura di cui dispone l'Appaltatore.
Al termine della fresatura, deve essere eseguita una accurata rimozione del materiale residuo mediante spazzolatura a secco prevedendo, a discrezione della DL, una finitura con l'ausilio di getti di aria compressa. La profondità del piano di posa del geocomposito rispetto alla superficie della pavimentazione finita deve essere almeno pari a 7 cm.
Prima dell'applicazione del geocomposito sulla superficie fresata, si deve verificare che la pavimentazione sia perfettamente asciutta e che la temperatura superficiale sia ³ 10 °C (condizioni ottimali di utilizzo si hanno per T_{sup} ³ 20 °C). Qualora non si verifichino anche solo una delle condizioni richiamate, la posa in opera del geocomposito non è consentita ed eventuali violazioni da parte dell'Appaltatore comporteranno l'applicazione di una penale del 10% sul prezzo della lavorazione oppure, ad insindacabile giudizio della DL, la completa rimozione e l'applicazione del nuovo geocomposito a spese e cura dell'Appaltatore.
L'applicazione dei fogli di geocomposito deve avvenire in direzione longitudinale parallela all'asse della carreggiata, avendo cura di allineare i fogli e distenderli senza pieghe, garantendo una sovrapposizione longitudinale tra fogli adiacenti di almeno 10 cm ed una sovrapposizione di testa fra fogli consecutivi di almeno 15 cm effettuata in modo che il lembo superiore sia disposto lungo il senso di marcia della finitrice. È raccomandato lo sfalsamento dei sormonti di testa di almeno 50 cm al fine di evitarne la sovrapposizione.
Prima dell'applicazione dello strato in conglomerato bituminoso, i geocompositi devono essere sottoposti ad una compattazione preferibilmente con rullo gommato per favorire una perfetta

adesione alla superficie fresata ed evitare la formazione di pieghe durante il passaggio della finitrice e dei mezzi di cantiere.
Al fine di garantire un ancoraggio ottimale del geocomposito al piano di posa, il conglomerato bituminoso sovrastante deve essere posto in opera ad una temperatura ³ 150 °C (temperature inferiori di stesa possono essere autorizzate ad insindacabile giudizio della DL) per promuovere un'adeguata fusione del compound bituminoso elastomerico e la conseguente attivazione dello speciale strato auto-termo-adesivo posto alla base del geocomposito.
Relativamente ai requisiti richiesti per la miscela di conglomerato bituminoso applicata sopra il geocomposito e alle relative lavorazioni strettamente connesse, si rimanda a quanto prescritto nel § 31.3.

31.6.2.1 Requisiti del geocomposito per rinforzo strutturale

Il geocomposito deve essere conforme alla normativa UNI EN 15381 o UNI EN 14695 con sistema di attestazione di conformità di tipo 2+.

I geocompositi devono essere ottenuti dall'accoppiamento di una geomembrana auto-termo-adesiva (realizzata con un compound bituminoso elastomerico SBS) e di una armatura costituita da geosintetici di rinforzo (multistrato in poliestere non tessuto stabilizzato ad elevatissima grammatura e fibre di vetro multidirezionali e/o geogriglie in fibra di vetro).
I geocompositi devono essere dotati di una superficie inferiore auto-termo-adesiva (per favorire l'adesione con lo strato di conglomerato bituminoso sottostante) ricoperta da un film protettivo da asportare all'atto della messa in opera. Inoltre, i geocompositi devono essere provvisti di una superficie superiore ricoperta con un fine strato minerale per evitare (soprattutto in climi caldi) l'adesione alle ruote dei mezzi di cantiere e promuovere la solidarizzazione con lo strato di conglomerato bituminoso sovrastante al momento della stesa a caldo.
I geocompositi, forniti in rotoli opportunamente stoccati durante le lavorazioni e di larghezza pari ad almeno 1 m, devono avere modalità di applicazione compatibili con le normali pratiche di manutenzione stradale e caratteristiche conformi alle specifiche riportate nella seguente tabella:

Caratteristica	Norma	Requisito
Spessore	UNI EN 1849-1	³ 2,5 mm
Resistenza a trazione L/T	UNI EN 12311-1	³ 35 kN/m
Allungamento a rottura L/T	UNI EN 12311-1	³ 4%
Resistenza alla compattazione di uno strato di congl. bitum.	UNI EN 14692	esito positivo
Impermeabilità dinamica ad una pressione di 500 kPa	UNI EN 14694	esito positivo

La definizione degli interventi (profondità e posizionamento del geocomposito) viene effettuata su specifica indicazione progettuale fornita dalla DL (eventualmente supportata dalla struttura Pavimentazioni e Laboratori), la scelta del prodotto avviene anche in considerazione delle sopracitate indicazioni e la posa in opera in conformità alle prescrizioni fornite dal produttore o dalla DL.
Gli interventi di risanamento con geocomposito devono essere programmati in periodi in cui le condizioni metereologiche consentano una perfetta riuscita del lavoro. La DL, a suo insindacabile giudizio, potrà sospendere l'applicazione del geocomposito quando le condizioni climatiche non consentano una lavorazione a perfetta regola dell'arte.

31.6.3 Trattamenti superficiali d'irruvidimento

31.6.3.1 Microtappeti a freddo (tipo Macro Seal)

31.6.3.1.1 Descrizione

Il microtappeto a freddo è costituito dall'applicazione di un sottile strato di malta bituminosa impermeabile irruvidita.
L'impiego dello slurry-seal deve essere previsto al fine di ripristinare una condizione di aderenza accettabile su tappeti con CAT<45 o in particolari tratti ad elevata pericolosità (curve con raggi di curvatura piccoli, tratti in forte pendenza e /o tratte ad elevata incidentalità).
La malta è formata da una miscela di inerti particolarmente selezionati, impastati a freddo con un bitume modificato ed emulsionato.
La miscelazione e la stesa sono effettuate con una apposita macchina semovente ed il trattamento, che normalmente non richiede rullatura, può essere aperto al traffico quasi immediatamente.

31.6.3.1.2 Inerti

Essi risultano composti dall'insieme degli aggregati grossi degli aggregati fini e del filler che può essere proveniente dalla frazione fina o di additivazione. Gli aggregati grossi e fini sono costituiti da elementi ottenuti dalla lavorazione di materiali naturali (rocce, aggregati naturali tondeggianti, aggregati naturali a spigoli vivi).

Gli aggregati impiegati dovranno essere qualificati in conformità al Regolamento UE n°305/2011 sui prodotti da costruzione. Ciascuna fornitura dovrà essere accompagnata dalla marcatura CE ai sensi della norma europea armonizzata UNI EN 13043 con sistema di attestazione di conformità 2+.
Per l'aggregato grosso devono essere impiegati esclusivamente inerti frantumati di cava con:
- perdita in peso alla prova Los Angeles, eseguita sulle singole pezzature (UNI EN 1097-2), minore del 18% e non superiore al 16%;
- resistenza alla levigabilità PSV (Polish Stone Value) determinata su tali pezzature uguale o maggiore di 44 (UNI EN 1097-8).

L'aggregato fino sarà composto da sabbia di frantumazione. In ogni caso la qualità delle rocce e degli elementi litoidi da cui è ricavata per frantumazione la sabbia dovrà avere alla prova Los Angeles, (Norma UNI EN 1097-2), eseguita su granulato della stessa provenienza, la perdita in peso non superiore al 25%.
L'equivalente in sabbia determinato sulla sabbia o sulla miscela delle due dovrà essere maggiore od uguale all'80% (UNI EN 933-8).

In ogni caso la qualità delle rocce e degli elementi litoidi da cui è ricavata per frantumazione la sabbia deve avere alla prova Los Angeles (UNI EN 1097-2 eseguita su granulato della stessa provenienza, perdita in peso non superiore al 25%.
La somma dei trattenuti in peso delle sabbie impiegate ai setacci ISO 3310 con apertura maggiore di 2 mm non deve superare, nella curva granulometrica finale, il 10% in peso, quando le stesse sabbie provengono da rocce aventi un valore di VL. minore od uguale a 43.
L'equivalente in sabbia determinato sulla sabbia o sulla miscela delle due deve essere maggiore od uguale a 70% (UNI EN 933-8).

31.6.3.1.3 Additivi

Gli aggregati filler provenienti dalle sabbie potranno essere integrati con filler di apporto (normalmente cemento Portland 325) e devono soddisfare i requisiti richiesti al § 31.4.1.2 e § 31.4.1.3.

31.6.3.1.4 Miscele

Le miscele devono avere una composizione granulometrica compresa nei fusi di seguito elencati in funzione dello spessore finale richiesto:

Spessore minimo	9 mm	6 mm	4 mm
Setacci Serie UNI-EN 933/1			
14 passante %	100	100	100
10 " "	90-98	91-97	100
6,3 " "	72-87	72-88	100
4 " "	52-73	53-74	84-100
2 " "	36-54	35-54	60-84
0,5 " "	16-30	16-30	24-40
0,125 " "	6-14	6-15	8-16
0,063 " "	4-10	4-11	6-11

Miscele con spessori finali diversi devono essere concordate di volta in volta con la D.L.

31.6.3.1.5 Malta bituminosa

Il legante bituminoso deve essere costituito da un bitume modificato ed emulsionato al 60% a rottura controllata, modificata con elastomeri sintetici incorporati in fase continua (acqua) prima dell'emulsionamento (§ 31.4.2.3, tipo "B")
Per la realizzazione dell'emulsione si dovrà esclusivamente impiegare bitume di tipo "D2" (§ 31.4.2.5). L'impiego di altri tipi di bitumi potrà essere autorizzato esclusivamente dalla DL.
Devono essere impiegati additivi chimici per facilitare l'adesione tra il legante bituminoso e gli inerti, per intervenire sul tempo di rottura dell'emulsione.
Il loro dosaggio, ottimizzato con uno studio di laboratorio, deve essere in funzione delle condizioni esistenti al momento dell'applicazione e specialmente in relazione alla temperatura ambiente e del piano di posa.

31.6.3.1.6 Composizione e dosaggi della miscela

La malta bituminosa deve avere i seguenti requisiti:

Spessore minimo		9 mm	6 mm	4 mm
Dosaggio della malta	Kg/m^2	13-20	8-14	6-10
Dimensione max inerti	mm	10-12	7-9	5-6
Contenuto di bitume modificato residuo, % in peso sugli inerti	%	5-7,5	6-8	7-10

31.6.3.1.7 Acqua

L'acqua utilizzata nella preparazione della malta bituminosa a freddo deve essere dolce, limpida, non inquinata da materie organiche e qualsiasi altra sostanza nociva.

31.6.3.1.8 Confezionamento e posa in opera

Il confezionamento dell'impasto deve essere realizzato con apposita macchina impastatrice-stenditrice semovente costituita essenzialmente da:

- Serbatoio dell'emulsione bituminosa
- Tramoggia degli aggregati lapidei
- Tramoggia del filler
- Dosatore degli aggregati lapidei
- Nastro trasportatore
- Spruzzatore dell'emulsione bituminosa
- Spruzzatore dell'acqua
- Mescolatore
- Stenditore a carter

Le operazioni di produzione e stesa devono avvenire in modo continuo, connesso alla velocità di avanzamento della motrice, nelle seguenti fasi:

- ingresso della miscela di aggregati e del filler nel mescolatore
- aggiunta dell'acqua di impasto e dell'additivo
- miscelazione ed omogeneizzazione della miscela di inerti e del suo grado di umidità
- aggiunta dell'emulsione bituminosa
- miscelazione ed omogeneizzazione dell'impasto
- colamento dell'impasto nello stenditore a carter
- distribuzione dell'impasto nello stenditore, stesa e livellamento.

Prima di iniziare la stesa del microtappeto si deve procedere ad una energica pulizia della superficie stradale oggetto del trattamento, manualmente o a mezzo di mezzi meccanici: tutti i detriti e le polveri devono essere allontanati. In alcuni casi, a giudizio della D.L., si dovrà procedere ad una omogenea umidificazione della superficie stradale prima dell'inizio delle operazioni di stesa.
In particolari situazioni la D.L. potrà ordinare, prima dell'apertura al traffico, una leggera saturazione del microtappeto a mezzo di stesa di sabbia di frantoio (da 0,5 a 1 Kg di sabbia per m^2 di pavimentazione) ed eventualmente una modesta compattazione da eseguirsi con rulli in seguito specificati.
Al termine delle operazioni di stesa il microtappeto deve presentare un aspetto superficiale regolare ed uniforme esente da imperfezioni (sbavature, strappi, giunti di ripresa), una notevolissima scabrosità superficiale, una regolare distribuzione degli elementi litoidi componenti la miscela, assolutamente nessun fenomeno di rifluimento del legante.
In zone con sollecitazioni superficiali trasversali forti (curve ecc.) è opportuno che la malta bituminosa venga leggermente rullata prima dell'indurimento. La rullatura deve essere effettuata con apposito rullo gommato leggero a simulazione del traffico veicolare munito anche di piastra riscaldante per favorire l'evaporazione dell'acqua contenuta nella miscela stessa.
La produzione o la posa in opera del microtappeto deve essere interrotta con temperatura dell'aria inferiore ai 15°C ed in caso di pioggia.

31.6.3.2 Microtappeti a freddo (Tipo Macro Seal) fibrorinforzati

31.6.3.2.1 Descrizione

Il microtappeto fibrorinforzato a freddo è costituito dall'applicazione di un sottile strato di malta bituminosa impermeabile irruvidita additivata con fibre minerali (§ 31.4.4) da impiegare in zone soggette a forti sollecitazioni superficiali e trasversali (curve, salite, ecc.).

La malta è formata da una miscela di inerti particolarmente selezionati, impastati a freddo con un bitume modificato ed emulsionato.

La miscelazione e la stesa sono effettuate con una apposita macchina semovente ed il trattamento, che normalmente non richiede rullatura, può essere aperto al traffico quasi immediatamente.

31.6.3.2.2 Inerti

Valgono le prescrizioni § 31.6.3.1.2.

31.6.3.2.3 Additivi

Valgono le prescrizioni § 31.6.3.1.3.

31.6.3.2.4 Miscele

Valgono le prescrizioni § 31.6.3.1.4.

31.6.3.2.5 Fibre minerali

Mediante idonea apparecchiatura la malta bituminosa deve essere additivata con fibre minerali in percentuali in peso riferite agli inerti, variabili tra lo 0,6% e 1,0 %.

31.6.3.2.6 Malta bituminosa

Valgono le prescrizioni § 31.6.3.1.5.

31.6.3.2.7 Composizione e dosaggi della miscela

La malta bituminosa deve avere i seguenti requisiti:

Spessore minimo		9 mm	6 mm	4 mm
Dosaggio della malta	Kg/m^2	13-20	8-14	6-10
Dimensione max inerti	mm	10-12	7-9	5-6
Contenuto di bitume modificato residuo, % in peso sugli inerti	%	5-7,5	6-8	7-10
Dosaggio fibre minerali, riferite agli inerti	%	0,6-1,0	0,6-1,0	0,6-1,0

31.6.3.2.8 Acqua

L'acqua utilizzata nella preparazione della malta bituminosa a freddo deve essere dolce, limpida, non inquinata da materie organiche e qualsiasi altra sostanza nociva.

31.6.3.2.9 Confezionamento e posa in opera

Vedi § 31.6.3.1.8.

31.6.3.3 Resina bicomponente ed inerti ad elevata rugosità ed alta resistenza all'abrasione (mono strato mono granulare)

31.6.3.3.1 Descrizione

Il trattamento consiste nell'operazione di irruvidimento del manto stradale da effettuare con inerti di elevate caratteristiche di resistenza all'abrasione ed all'urto, tramite resina bicomponente da applicare sulla pavimentazione preesistente.

31.6.3.3.2 Aggregati

Gli aggregati dovranno possedere marcatura CE e DoP secondo la norma europea armonizzata UNI EN 13242 con sistema di attestazione di conformità 2+.
L'aggregato deve essere bauxite calcinata rientrante nella classe granulometrica d/D = 1/4 mm.
In alternativa, previa approvazione della DL, si può utilizzare un aggregato naturale o industriale, rientrante nella stessa classe granulometrica, che risponda ai seguenti requisiti:

- resistenza alla frammentazione LA determinata mediante la prova Los Angeles (UNI EN 1097-2) LA £ 22;
- il valore di levigabilità PSV (UNI EN 1097-8) deve essere ³ 52;

31.6.3.3.3 Legante

Il legante sintetico deve essere composto da resine bicomponenti, generalmente a base epossi-amminica, e possedere caratteristiche specifiche che saranno valutate e approvate dalla DL prima dell'applicazione sulla base di una adeguata documentazione tecnica fornita dall'Appaltatore, eventualmente integrata da specifiche indagini di laboratorio. In particolare, il legante sintetico deve risultare perfettamente compatibile con il substrato a base bituminosa (conglomerato bituminoso) e gli aggregati.

31.6.3.3.4 Posa in opera

Preventivamente la superficie della strada deve essere vigorosamente spazzolata, per togliere la polvere e qualsiasi corpo estraneo. Inoltre, non devono essere presenti macchie di umidità (soprattutto in galleria) sulla superficie, eventualmente da rimuovere mediante getto d'aria calda.
Eventuali presenze d'olio sulla superficie stradale devono essere rimosse usando una soluzione detergente, seguita da un risciacquo con acqua pulita. Le strisce esistenti della segnaletica orizzontale, di materiale termoplastico, devono essere asportate mediante irradiatura e/o bocciardatura.
I due componenti della resina devono essere portati a temperature idonee per facilitarne la spruzzatura, secondo le prescrizioni del fornitore. La resina deve essere spruzzata sulla superficie stradale tramite un sistema a bassa pressione controllato elettronicamente che consenta un continuo monitoraggio dei parametri di miscelazione dei due componenti e quello di stesa da parte dell'operatore e che indichi istantaneamente con segnale sonoro e visivo la presenza, e la possibile causa, di una anomalia nel circuito.

Il sistema di miscelazione deve garantire una perfetta omogeneizzazione dei componenti della resina nonché un controllo costante del rapporto stechiometrico di miscelazione che consenta di verificare il rispetto della tolleranza indicato nella scheda di prodotto.
I dosaggi, espressi in kg/m², di resina e di graniglia da applicare sulle pavimentazioni variano in funzione del piano di posa interessato e della granulometria della graniglia da utilizzare e devono essere compresi nei limiti riportati nella seguente tabella:

Tabella 7.1

	RESINA kg/m^2	GRANIGLIA (dopo pulizia) kg/m^2
Granulometria 1/4 mm:	0.9¸3.0	5¸10

N.B.: I dosaggi dei materiali impiegati devono essere approvati dalla DL in funzione della tessitura superficiale del piano di posa.

La graniglia deve essere distribuita accuratamente attraverso una idonea attrezzatura approvata dalla DL. In particolare, il veicolo spargi graniglia deve avere la possibilità di controllare e variare la quantità della graniglia distribuita. Inoltre, gli pneumatici del veicolo utilizzato per l'applicazione della graniglia devono essere di larghezza adeguata al fine di prevenire un'eccessiva concentrazione del carico sulla superficie trattata.

31.6.3.4 Irruvidimento con macchina pallinatrice

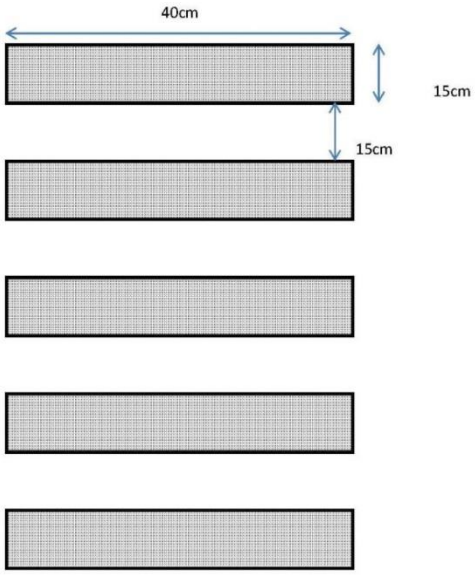
Le superfici con ridotto valore del coefficiente di aderenza trasversale CAT (vedi § 31.3.7.3) possono essere riportate a valori superiori con irruviditici a secco denominate pallinatrici che non lasciano superfici trattate con striature orientate in senso longitudinale e trasversale, per non incrementare il rumore di rotolamento e non creare l'effetto rotaia.

I pallini proiettati dalla macchina vanno recuperati per aspirazione e reimpiegati previa eliminazione delle particelle distaccate dai manti stradali, in modo da incrementare comunque i valori di macrotessitura HS ed ottenere il massimo incremento possibile per il CAT, in relazione al tipo di miscele presenti nel punto trattato. Le nuove misure dopo il trattamento andranno eseguite entro sessanta giorni dalla lavorazione.

La fase di pallinatura dovrà essere applicata in modo omogeneo e non dovrà produrre sulla superficie del manto aree di sgranatura.

31.6.3.5 Rumble strips

Le rumble strips sono delle bande sonore in grado di emettere un marcato rumore di rotolamento al passaggio degli pneumatici, causando al contempo una moderata vibrazione del veicolo.
Tali bande sonore, ottenute con una particolare tipologia di irruvidimento, vanno eseguite in corrispondenza dei margini della carreggiata (o di corsia nella mezzeria delle rampe di svincolo bidirezionali) e sono finalizzate a richiamare l'attenzione del conducente (es. nel caso di distrazione per uso di dispositivi elettronici, colpo di sonno) per contrastare fenomeni di svio del traffico veicolare.
Da un punto di vista esecutivo, l'intervento consiste in bande di fresatura, a geometria definita, che vengono realizzate da una fresa sagomata in maniera tale che il rullo fresante crei nel manto stradale delle strisce fresate di profondità non superiore a 10 mm, come da schema di riportato nella figura seguente.



La DL deve comunicare all'Appaltatore l'esatta posizione trasversale delle rumble strips sulla carreggiata.
In caso di esecuzione su nuova pavimentazione, le rumble strips possono essere realizzate solo trascorso un tempo minimo di 3 settimane dalla stesa della pavimentazione.
Le rumble strips sono da considerarsi in corso di sperimentazione, la DL, previo accordo con l'Appaltatore, si riserva la facoltà di modificare in qualsiasi momento la geometria di realizzazione.

31.6.4 Sigillatura di fessure o di giunti di strisciata

Gli interventi di sigillatura delle fessure presenti sulla pavimentazione longitudinalmente o trasversalmente devono essere effettuati tempestivamente in modo da bloccare o contenere il fenomeno di rottura appena questo si manifesta, evitando così la veloce degradazione del tappeto, soprattutto nei casi di distacco del giunto longitudinale di strisciata.
Se le lesioni sono molto diffuse la DL deve effettuare una attenta valutazione economica per stabilire l'intervento più idoneo tra quelli elencati nel seguito.

31.6.4.1 Sigillatura delle fessure della pavimentazione eseguita con bitume modificato e lancia termica

La sigillatura delle fessure delle pavimentazioni, eseguita con bitumi modificati colati a caldo, deve essere effettuata con idonee attrezzature in grado di effettuare operazioni di pulitura delle stesse fessure per tutta la profondità, riscaldamento delle pareti e colatura del legante fino alla loro completa otturazione.
In particolare, tali attrezzature devono essere costituite da una apparecchiatura per l'allargamento superficiale delle fessure, da un compressore che attraverso una lancia termica munita di un dispositivo di riscaldamento eroga aria calda e da una caldaia capace di mantenere costante ed uniforme la temperatura del prodotto.
Da un punto di vista operativo, per fessure di ampiezza compresa tra 3 mm e 12 mm, si procede preliminarmente all'allargamento superficiale delle fessure mediante idonea attrezzatura (dispositivi dotati di ruote dentate denominati "rotary impact routers" oppure, sebbene meno raccomandate, seghe diamantate) per una larghezza compresa tra 15 mm e 30 mm ed una profondità di almeno 20 mm.
Prima dell'applicazione del legante, le fessure devono essere perfettamente pulite ed asciugate al fine di garantire una adesione ottimale tra il legante ed i bordi della fessura stessa. A tale proposito, deve essere previsto un trattamento con un getto di aria calda per mezzo della lancia termica allo scopo di:
- ottenere la perfetta e profonda pulitura della fessura;
- eliminare eventuali tracce di umidità;
- riscaldare le pareti ad una temperatura di circa 80 °C evitando surriscaldamenti eccessivi che potrebbero danneggiare il legante presente nel conglomerato bituminoso circostante, indebolendo i bordi della fessura.

Il sigillante del tipo bitume modificato (vedi §31.4.2.3) uniformemente riscaldato alla temperatura di consistenza fluida deve essere versato con apposito dispositivo nell'interno della lesione fino alla sua completa otturazione assicurando la saturazione di eventuali microlesioni superficiali ai bordi della stessa lesione con la creazione di una striscia continua della larghezza variabile da 2 a 5 cm.
Questo tipo di intervento può essere anche prescritto prima della stesa di un tappeto di rinforzo quando il supporto presenta lesioni superficiali tali che non risulta conveniente realizzare interventi di sostituzione totale dello stesso supporto.

I leganti bituminosi impiegati dovranno essere marcati CE e dotati di DoP attestante la conformità alla norma europea armonizzata di riferimento UNI EN 14023 (allegato ZA).
Per una riuscita ottimale della sigillatura, l'intervento dovrebbe essere eseguito in primavera oppure in autunno e mai durante periodi estivi.
L'esecuzione della sigillatura deve essere sospesa immediatamente in caso di pioggia o di temperature superficiali della pavimentazione inferiori a 10 °C.

31.6.4.2 Sigillatura della linea di contatto tra cordolo e pavimentazione nei ponti e viadotti eseguita con bitume modificato e lancia termica

Si richiamano espressamente le norme di cui al precedente §31.6.4.1. Inoltre, in questo caso, occorre aver cura di asportare anche con sistemi tradizionali eventuali parti estranee di conglomerato bituminoso non addensato nella zona fra pavimentazione-cordolo (o New Jersey).

31.6.4.3 Sigillatura di lesioni longitudinali / trasversali o mediante nastro bituminoso preformato e autodesivo

31.6.4.3.1 Descrizione

Il nastro in bitume modificato preformato industrialmente deve essere impiegato per:
- sigillare e chiudere fessure superficiali al fine di impedire l'infiltrazione di acqua negli strati sottostanti;
- sigillare e collegare giunti di stesa e di ripresa per impedire la disgregazione del conglomerato bituminoso;
- impedire, nel caso di miscele drenanti, eventuali fenomeni di sgranamento superficiale in corrispondenza dei giunti e delle fessure superficiali.

Più in generale, il nastro autoadesivo può essere impiegato in tutti i casi di discontinuità della pavimentazione.

31.6.4.3.2 Composizione e caratteristiche geometriche

Il nastro è composto da bitume 70/100 modificato con una percentuale minima di polimeri SBSr pari al 16% in peso. La larghezza del nastro deve essere compresa tra 40 mm a 100 mm con spessore pari a 4 mm + 0.2 mm.

31.6.4.3.3 Requisiti di idoneità

Ogni fornitura dovrà essere accompagnata da scheda tecnica e scheda di sicurezza, e rispondere ai seguenti requisiti:
- Punto di rammollimento (UNI EN 1427) > 200°C
- Penetrazione (UNI EN 1426) £ 30 dmm

31.6.4.3.4 Posa in opera

La posa in opera del nastro deve essere eseguita su superfici asciutte e libere da impurità (es. oli contaminanti, polveri e detriti, residui di polverino di gomma degli pneumatici), con temperatura dell'aria ³ 10 °C (per temperature inferiori l'applicazione non è consentita).
Da un punto di vista esecutivo, il nastro viene semplicemente appoggiato sulla fessura per poi raggiungere un ancoraggio definitivo sotto l'azione dei carichi trasmessi dal traffico.
Terminata l'applicazione, la superficie del nastro deve essere cosparsa uniformemente con materiale idoneo (polvere di ardesia, calce, cemento, gesso o filler) per evitare nella fase iniziale

fenomeni di adesione tra nastro e pneumatici che potrebbero comportare la rimozione o inficiare il corretto posizionamento al di sopra della fessura.
Il nastro non deve essere utilizzato:

- su fessure trasversali;
- su fessure di larghezza inferiore a 5 mm o superiore a 20 mm.

In tali casi le fessure devono essere sigillate con bitume modificato colato a caldo senza usare il nastro preformato (vedi §31.6.4.1).
In funzione della larghezza della fessura devono essere impiegati nastri di adeguata larghezza. In particolare, il rapporto tra la larghezza del nastro e la larghezza della fessura deve essere ³ 2,5. Ne consegue che nastri di diversa larghezza hanno campi di utilizzo di seguito elencati:

a) larghezza nastro pari a 40 mm: utilizzabile per fessure di larghezza £ 16 mm;
b) larghezza nastro pari a 40 mm: utilizzabile per fessure di larghezza £ 20 mm;
c) larghezza nastro pari a 100 mm: indicata solo in caso di sigillature particolari

31.7 Criteri di accettazione delle miscele

In requisiti previsti per le miscele in conglomerato bituminoso e per il loro materiali costituenti sono riportati nei paragrafi 31.3, 31.4 e 31.5.

Il conglomerato verrà confezionato in impianti fissi automatizzati, con idonee caratteristiche, mantenuti sempre perfettamente funzionanti in ogni loro parte. Tali impianti possono avere caratteristiche di funzionamento differenti (es. sistemi di riscaldamento indiretto degli aggregati provenienti da fresature di pavimentazioni ammalorate, alimentazione di tipo continuo Drum Mixer o di tipo discontinuo con sistema a vagliatura, doppio tamburo, ecc.). La produzione di ciascun impianto non dovrà essere spinta oltre la sua potenzialità, per garantire il perfetto essiccamento, l'uniforme riscaldamento della miscela ed una perfetta vagliatura che assicuri una idonea riclassificazione delle singole classi degli aggregati.

Ogni impianto dovrà assicurare il riscaldamento del bitume alla temperatura richiesta ed a viscosità uniforme fino al momento della mescolazione nonché il perfetto dosaggio sia del bitume che dell'additivo. In ogni caso, la temperatura di miscelazione dovrà essere inferiore a 175°C nel caso di impiego di bitumi modificati e inferiore di 20°C rispetto a quanto indicato nella UNI EN 13108 nel caso di bitumi normali di diverso grado.

Si farà uso di almeno 3 classi di aggregati (più l'eventuale aggiunta di CB di recupero) con predosatori in numero corrispondente alle classi impiegate. Il tempo di mescolazione sarà stabilito in funzione delle caratteristiche dell'impianto, in misura tale da permettere un completo ed uniforme rivestimento degli aggregati lapidei con il legante.

La temperatura degli aggregati all'atto della mescolazione dovrà essere compresa approssimativamente tra:

tra 140 °C e 170 °C per i conglomerati a caldo prodotti con bitume normale;
tra 150 °C e 180 °C per i conglomerati a caldo prodotti con bitume modificato Hard;
tra 120 °C e 140 °C per i conglomerati tiepidi.

Per la verifica delle suddette temperature gli essiccatori, le caldaie e le tramogge degli impianti dovranno essere muniti di termometri fissi perfettamente funzionanti e periodicamente tarati. L'umidità degli aggregati all'uscita dell'essiccatore non dovrà superare lo 0,5% in peso.

Il tempo di mescolazione della miscela e le dimensioni dell'impasto dovranno essere stabiliti in funzione delle caratteristiche dell'impianto e della miscela. Tali parametri devono essere definiti con l'obiettivo di ottenere un completo ed uniforme rivestimento degli aggregati da parte del legante, oltre

maggiore riattivazione possibile del bitume contenuto nel conglomerato bituminoso di recupero eventualmente utilizzato. Per tale ragione, nel caso di produzioni di conglomerati bituminosi tiepidi potrebbero essere necessari tempi di mescolazione più elevati a causa delle minori temperature operative. In questo caso, il tempo di mescolazione potrà essere concordato con il fornitore dell'additivo. Qualora sia richiesto l'uso di attivanti chimici funzionali (ACF), attivanti di adesione e/o additivi chimici per la produzione di miscele tiepide, la loro immissione deve essere realizzata con attrezzature e procedure idonee, tali da garantire il corretto dosaggio ed una uniforme dispersione nel legante.
Le fibre, se previste, vanno inserite con procedure e attrezzature idonee nella camera di miscelazione allo scopo di garantirne la disgregazione, il corretto dosaggio e una dispersione uniforme all'interno della miscela di conglomerato.

31.8 Documenti di prequalifica

Per la verifica preliminare di idoneità degli studi di progetto che l'Appaltatore intende adottare per ogni sito di produzione si deve trasmettere al Direttore dei Lavori, per approvazione almeno 15 giorni prima dell'inizio delle attività, la documentazione di seguito elencata.
La mancata presentazione della documentazione preliminare comporta la non autorizzazione all'inizio dell'esecuzione dei lavori, né saranno accettate eventuali lavorazioni svolte prima dell'approvazione delle modalità esecutive.

- La certificazione del sistema di controllo della produzione (FPC) per gli aggregati e per le miscele;
- il Piano Generale di Fabbricazione e Controlli dello stabilimento di produzione con l'indicazione delle tecnologie, metodologie e sistemi di controllo utilizzati in impianto (Piano Controllo della Qualità di produzione) per garantire la qualità attesa. Il piano dovrà essere corredato da una procedura che identifichi le modalità di qualifica dei fornitori nonché le modalità di identificazione e rintracciabilità dei prodotti e di tenuta sotto controllo delle strumentazioni di misura;
- Lo studio della miscela bituminosa nel rispetto dei contenuti del presente articolo di capitolato corredata da certificati conformità e di laboratorio, nello specifico**,** deve includere la documentazione a supporto dell'adempimento dei requisiti del DM CAM, con particolare riferimento a (vedi §31.3.5.3):
    - la percentuale complessiva di materia RRS utilizzata in ciascuna miscela strato secondo le modalità di certificazione indicate al §2.1.2 del DM CAM;
    - la tipologia e la percentuale di utilizzo di ciascuna materia RSS impiegata;
    - l'eventuale adozione di tecnologie per la produzione di conglomerati tiepidi (ad es. additivi, bitumi ad alta lavorabilità).
    - Marcatura CE, DOP e schede tecniche delle miscele (§ 31.3) e di tutti i materiali impiegati marcati CE (§ 31.4);
    - Curva granulometrica (valore % - § 31.3.2);
    - Contenuto di bitume (§ 31.3.3);
    - Contenuto delle fibre (§ 31.4.5);
    - Requisiti volumetrici e meccanici:
        - contenuto dei vuoti misurato su provini compattati con pressa giratoria a 3 livelli di rotazione - categoria e valore reale - (§ 31.3.6.1);
        - resistenza a trazione indiretta (ITS), coefficiente di trazione indiretta (CTI), sensibilità all'acqua stabilità (ITSR) con livello di compattazione N2 (§ 31.3.6.2);

- modulo di rigidezza (§ 31.3.6.3);
- sarà facoltà del Direttore dei Lavori, sentito il progettista, richiedere la prova per la determinazione del modulo dinamico (come norma del modulo complesso). Tale prova dovrà indicativamente essere eseguita alle temperature 0, 10, 15, 20 e 30 ed alle frequenze di 0,1 , 0,2 , 0,5 , 1,0 , 2,0 , 5,0 , 10, 20 Hz, con idonei sistemi dinamici (UNI EN 12697-26).

- Massa volumica teorica massima del conglomerato non compattato (Gmm) e massa volumica di campioni compattati con pressa giratoria (Gmb)
- Per le miscele di usura drenante: resistenza all'abrasione (§ 31.3.7.1);
- Per le miscele di usura: misura del volume dei vuoti nella miscela secca (VMA - Voids in Mineral Aggregate), la porzione di questi riempita di bitume (VFA - Voids Filled with Asphalt)
- Per le singole pezzature di aggregato i certificati di laboratorio a dimostrazione delle caratteristiche di cui al § 31.4;
- Per il conglomerato bituminoso di recupero la documentazione a supporto della cessazione di qualifica del rifiuto di cui all'art. 3 del DM 69/2018 come indicato al § 31.4.2;
- Per i bitumi i certificati di laboratorio a dimostrazione delle caratteristiche di cui al § 31.4.3;

- La descrizione dell'impianto utilizzato e del suo funzionamento per il confezionamento delle miscele con l'indicazione:
  - del layout dell'impianto e dei cumuli di aggregati;
  - delle temperature degli aggregati all'atto della miscelazione;
  - della modalità di misura dell'umidità degli aggregati (compreso fresato);
  - della distanza dal cantiere, del tempo totale del trasporto, della stima della temperatura delle miscele all'arrivo in cantiere (nel rispetto delle temperature limite delle miscele immediatamente dietro la finitrice di cui al § 31.9.2), del numero di mezzi da impiegare per garantire la continuità della stesa in funzione delle specifiche del progetto;
- I mezzi utilizzati per la posa ed il costipamento nel rispetto dei contenuti di cui al § 31.9.2.

Ad insindacabile giudizio della DL o se previsto negli elaborati progettuali, prima dell'inizio dei lavori, l'Appaltatore è tenuto a predisporre un campo prova per verificare l'idoneità delle miscele, dei mezzi d'opera e mettere a punto le modalità esecutive atte a raggiungere le caratteristiche finali richieste. La zona del campo prova e la superficie minima di stesa è scelta dalla DL o sarà definita negli elaborati progettuali.
La documentazione sopra riportata è da presentare anche per le miscele speciali di cui a § 31.5.
I requisiti d'accettazione potranno inoltre essere accertati con ulteriori prove a cura della Direzione Lavori sia in fase di prequalifica presso il fornitore (controllo non vincolante per l'autorizzazione), sia in corso d'opera, prelevando il materiale in sito o ancora presso il fornitore, prima e dopo avere effettuato le lavorazioni.

31.9 Modalità esecutive

In tutte le fasi esecutive, comprese le fasi di preparazione e di sistemazione finale delle aree, per gli aspetti e le problematiche relative a temi ambientali, quali impatti acustici e vibrazionali, emissioni in atmosfera, impatto sulle acque superficiali, sotterranee e sul suolo, impatti sulla componente fauna e vegetazione, si rimanda integralmente a quanto prescritto dalla Normativa Nazionale e Regionale vigente, alle prescrizioni degli Enti preposti alla tutela ambientale, nonché alle condizioni ambientali contenute nelle autorizzazioni ed alle disposizioni del Capitolato Ambientale allegato al progetto esecutivo.

In particolare, prima della posa in opera dei conglomerati bituminosi, è necessaria la programmazione delle lavorazioni impattanti al fine di informare preventivamente il territorio sulle attività che comportano disagi alla popolazione in termini di vibrazioni, rumore e produzione di polvere.
Laddove il progetto, il contratto o i documenti di gara prevedano l'utilizzo delle tecnologie dei conglomerati tiepidi per il confezionamento della miscela, i materiali utilizzati, le proprietà meccaniche della miscela dovranno rispettare i requisiti definiti in detti documenti e le prescrizioni specifiche contenute in questo articolo di capitolato, con particolare riferimento alle temperature di stesa della miscela.
L'Appaltatore è tenuto a dimostrare, attraverso gli opportuni controlli in fase di esecuzione, il rispetto dei suddetti requisiti.

31.9.1 Preparazione della superficie di stesa

Prima della posa di uno strato di conglomerato bituminoso deve essere eseguita la preparazione della superficie di stesa per garantire una adeguata continuità all'interfaccia tra lo strato inferiore e lo strato di nuova realizzazione.
A tale scopo, in funzione del tipo di strato inferiore sul quale andrà realizzato il nuovo strato di conglomerato bituminoso, si procederà con l'applicazione di una mano di ancoraggio oppure di una mano d'attacco.
Le mani d'ancoraggio vengono applicate al di sopra di strati inferiori privi di bitume (misto granulare, misto cementato) impiegando un'emulsione bituminosa cationica da bitume normale, rispondente ai requisiti tecnici indicati nel paragrafo §31.4.2.4, con un dosaggio di bitume residuo compreso tra 0,5 e 1,0 kg/m^2.
Le mani d'attacco vengono applicate al di sopra degli strati inferiori legati a bitume (inclusi strati realizzati con miscele riciclate a freddo con emulsione bituminosa o bitume schiumato) impiegando emulsioni bituminose normali oppure modificate rispondenti ai requisiti tecnici indicati nei paragrafi §31.4.2.4 e §31.4.2.5. Le mani di attacco sono da applicare anche in caso di stese di uno strato in due passate.
A seconda che lo strato di conglomerato bituminoso che si deve realizzare sopra l'interfaccia contenga bitume normale oppure modificato, l'emulsione bituminosa utilizzata come mano d'attacco deve essere rispettivamente non modificata oppure modificata con polimeri, con un dosaggio di bitume residuo pari a:

- 0,25 kg/m^2 strati inferiori di recente esecuzione con superficie non fresata
- 0,50 kg/m^2 strati inferiori esistenti con superficie fresata o strati riciclati a freddo

Nei conglomerati bituminosi ad elevato tenore di vuoti si deve procedere con l'applicazione di una mano d'attacco al di sopra dello strato inferiore in conglomerato bituminoso eseguendo la spruzzatura a caldo di bitume "Hard" (rispondente ai requisiti tecnici indicati nel §31.4.2.3) con un dosaggio variabile tra 0,6 e 2 kg/m^2.
In condizioni ambientali particolari che non permettono una buona adesione tra il piano di posa e la mano d'attacco (ad esempio elevata umidità ambientale), previa autorizzazione da parte della DL, può essere impiegata in alternativa un'emulsione bituminosa modificata con polimeri (rispondente ai requisiti tecnici indicati nel §31.4.2.5) con un dosaggio di bitume residuo variabile tra 0,5 e 1,0 kg/m^2.

È prevista l'applicazione di una emulsione bituminosa non modificata oppure modificata con polimeri sulla base del criterio richiamato in precedenza, uniformemente distribuita sui bordi verticali, rispondente ai requisiti tecnici indicati nei paragrafi §31.4.2.4 e §31.4.2.5, con un dosaggio pari a 0,25 kg/m2 di bitume residuo.

Prima dell'applicazione della mano d'attacco, nel caso di superfici fresate, si deve eseguire una pulizia mediante spazzolatura meccanica e/o aspirazione, al fine di rimuovere tutte le impurità presenti.
Per garantire uniformità di distribuzione ed evitare la creazione di zone a maggiore o minore adesione, prima dell'applicazione dell'emulsione bituminosa deve essere verificato il corretto funzionamento della macchina spruzzatrice. È necessario attendere circa un'ora prima della realizzazione dello strato superiore in conglomerato bituminoso a meno di diverse indicazioni da parte della Direzione Lavori.
Non è ammessa l'applicazione di mani d'ancoraggio e mani di attacco quando le condizioni meteorologiche generali possono compromettere la perfetta riuscita del lavoro (temperatura dell'aria inferiore a 5 °C, presenza di pioggia, superficie di stesa bagnata).
La mano d'attacco, dopo essere stata applicata sulla superficie di posa, deve essere sottoposta allo spandimento, con mezzi idonei, di graniglia, sabbia o filler, per proteggere la superficie dal passaggio dei mezzi di cantiere. Eventuali granuli non ancorati alla superficie devono essere rimossi prima della stesa dello strato di conglomerato bituminoso. La superficie così preparata deve essere interdetta alla circolazione dei mezzi, ad eccezione dei veicoli per il trasporto del conglomerato in fase di approvvigionamento delle finitrici.
Ai fini della verifica dei corretti dosaggi di bitume residuo impiegato per le mani di ancoraggio e per le mani d'attacco, ad insindacabile giudizio della DL, possono essere eseguiti controlli diretti durante l'applicazione eventualmente supportati da una documentazione che l'Appaltatore è tenuta a fornire per comprovare il quantitativo di materiale effettivamente utilizzato (es. certificati di pesatura delle autocisterne, bolle di consegna).

31.9.2 Posa in opera dello strato in conglomerato bituminoso

Il conglomerato bituminoso utilizzato per un generico strato deve essere steso sul piano finito dello strato sottostante dopo che sia stata accertata dalla DL la rispondenza di quest'ultimo ai requisiti di quota, sagoma, densità e portanza indicati in progetto. Questa prescrizione si applica anche per lo strato di base.

La posa in opera del conglomerato bituminoso viene effettuata a mezzo di macchine vibrofinitrici in perfetto stato di efficienza, dotate di automatismi di auto-livellamento e sistemi vibranti capaci di assicurare un adeguato addensamento iniziale tale da consentire il raggiungimento delle proprietà volumetriche finali dichiarate per la miscela.

Le vibrofinitrici devono lasciare uno strato finito perfettamente sagomato, privo di sgranamenti e fessurazioni, nonché esente da difetti dovuti a segregazione degli elementi litoidi più grossi.

Il trasporto del conglomerato bituminoso dall'impianto di produzione al cantiere di stesa deve avvenire mediante un numero di mezzi idonei sufficiente per alimentare senza interruzioni le macchine finitrici durante le operazioni di posa. I mezzi di trasporto, di adeguata portata, devono essere dotati di teloni di copertura per evitare i raffreddamenti superficiali eccessivi della miscela e formazione di crostoni, oltre a proteggere la massa trasportata dalla pioggia.

L'impianto di confezionamento del conglomerato deve essere collocato, preferibilmente, entro un raggio di 80 km dalla zona di stesa.

La posa in opera del conglomerato bituminoso deve essere sospesa in concomitanza di condizioni meteorologiche sfavorevoli tali da pregiudicare la perfetta riuscita delle lavorazioni, determinate da una temperatura della superficie di stesa < 10 °C ovvero dalla presenza di un film d'acqua continuo sul piano di posa.

L'Appaltatore deve rimuovere e ricostruire a propria cura e spese gli strati eventualmente compromessi per i motivi richiamati.

31.9.3 Temperature di miscelazione e stesa

La temperatura effettiva di miscelazione sarà scelta sulla base delle temperature esterne, delle caratteristiche dei materiali componenti e loro modalità di stoccaggio, della distanza del cantiere dall'impianto, in modo da avere la corretta temperatura di posa. In ogni caso essa non potrà comunque superare i 180°C.

Per conglomerati bituminosi preparati con bitumi modificati, la temperatura all'atto della stesa – controllata immediatamente dietro la vibrofinitrice - dovrà essere superiore o uguale a 150°C. In ogni caso, la temperatura di compattazione non dovrà scendere mai sotto ai 130°C.
Qualora venissero impiegate tecnologie a tiepido con i bitumi modificati, il range ottimale di impiego dovrà essere discusso con il fornitore della tecnologia e condiviso con la Direzione Lavori. In ogni caso, la temperatura non dovrà mai scendere sotto ai 120°C.

Nel caso in cui si presentino condizioni (es. metereologiche, logistiche) non favorevoli al contenimento delle temperature durante la fase di compattazione, l'Appaltatore potrà proporre alla Direzione Lavori temperature di stesa superiori a quelle qui previste senza comunque superare mai i 175°C. La Direzione Lavori si riserva a suo insindacabile giudizio l'utilizzo di temperature diverse da quelle qui prescritte. A seconda dei limiti previsti, il raggiungimento delle temperature massime previste in progetto potrà essere ottenuto utilizzando una delle tecnologie riportate in questo articolo di Capitolato (§§ 31.4.3.4 e 31.4.4).

Per conglomerati bituminosi preparati con bitumi normali, la temperatura all'atto della stesa – controllata immediatamente dietro la vibrofinitrice - dovrà essere superiore o uguale a 140°C. In ogni caso, la temperatura di compattazione non dovrà scendere mai sotto ai 120°C.

Qualora venissero impiegate tecnologie a tiepido con i bitumi modificati, il range ottimale di impiego dovrà essere discusso con il fornitore della tecnologia e condiviso con la Direzione Lavori. In ogni caso, la temperatura non dovrà mai scendere sotto ai 100°C.

Nel caso in cui si presentino condizioni (es. metereologiche, logistiche) non favorevoli al contenimento delle temperature durante la fase di compattazione, l'Appaltatore potrà proporre alla Direzione Lavori temperature di stesa superiori a quelle qui previste senza comunque superare mai i 175°C. La Direzione Lavori si riserva a suo insindacabile giudizio l'utilizzo di temperature diverse da quelle qui prescritte.

31.9.4 Formazione dei giunti

Nella stesa si deve porre la massima cura alla formazione dei giunti longitudinali preferibilmente ottenuti mediante tempestivo affiancamento di una strisciata alla precedente, eventualmente con l'impiego di due finitrici.
Qualora ciò non sia possibile il bordo della striscia già realizzata deve essere rivestito mediante spruzzatura di emulsione bituminosa cationica al 55% in peso (rispondente ai requisiti tecnici indicati nel §31.4.2.4) per assicurare la saldatura della striscia successiva. Se il bordo risulterà danneggiato o arrotondato, prima dell'applicazione dell'emulsione bituminosa, si deve procedere al taglio verticale con idonea attrezzatura.
La sovrapposizione dei giunti longitudinali tra i vari strati deve essere programmata e realizzata in maniera che essi risultino fra di loro sfalsati di almeno 10 cm e non cadano mai in corrispondenza delle due fasce della corsia di marcia di circa 1 m di larghezza, normalmente interessate dalle ruote

dei veicoli pesanti. Tale sovrapposizione deve ricadere in corrispondenza della segnaletica orizzontale di delimitazione fra le corsie o al più al centro delle corsie stesse. Nel caso in cui uno strato sia steso in due passate queste devono essere sovrapposte nel più breve tempo possibile e comunque previa applicazione di idonea mano di attacco come indicato al precedente § 31.10.1.
Nel caso in cui gli interventi prevedano il rifacimento dello strato superficiale di corsie aventi larghezze inferiori alla larghezza delle finitrici normalmente utilizzate (circa 3 m) per i lavori di manutenzione (ad esempio corsia di emergenza di larghezza inferiore a 2,5 m), devono essere utilizzati mezzi di stesa adeguati, di cui l'Appaltatore deve dotarsi, per garantire che l'ubicazione del giunto longitudinale di stesa rispetti le condizioni prima descritte.
Relativamente a lavori di ricostruzione in fresatura dello strato superficiale, per garantire la massima continuità fra la stesa realizzata e lo strato superficiale esistente è necessario l'impiego di una idonea quantità di mano d'attacco costituita da emulsione bituminosa spruzzata anche sul bordo verticale dello scavo.

31.9.5 Compattazione

La compattazione deve avvenire con rullo metallico da effettuarsi subito a ridosso della stesa dello strato per evitare che il giunto longitudinale possa poi presentarsi aperto e per evitare eventuali irregolarità e/o ondulazioni.
I giunti trasversali derivanti dalle interruzioni giornaliere devono essere realizzati sempre previo taglio ed asportazione della parte terminale di azzeramento.
La compattazione del conglomerato bituminoso deve iniziare subito dietro la vibrofinitrice (sul materiale appena steso) e deve essere condotta a termine senza interruzioni con la metodologia più adeguata a ottenere un addensamento uniforme in ogni punto ed evitare fessurazioni e scorrimenti nello strato appena steso.
L'addensamento deve essere realizzato mediante l'utilizzo di rulli gommati e/o di rulli con ruote metalliche di idoneo peso e caratteristiche tecnologiche avanzate in modo da assicurare il raggiungimento delle massime densità ottenibili.
L'addensamento di norma dovrà essere realizzato con rulli dei seguenti tipi:

- strato di base e collegamento - rullo tandem vibrante più rullo gommato con almeno sette ruote e peso del rullo di 140 kN, oppure rullo combinato ferro-gomma. Per le operazioni di finitura dei giunti e riprese deve essere utilizzato un rullo tandem a ruote metalliche del peso massimo di 140 kN;
- strato di usura – rullo tandem vibrante con peso di almeno 100 kN, oppure combinato ferro-gomma. Per le operazioni di finitura dei giunti e riprese deve essere utilizzato un rullo tandem a ruote metalliche del peso massimo di 140 kN;
- strato di usura drenante - rulli metallici di peso massimo di 120 kN e caratteristiche tecnologiche avanzate in modo da assicurare il raggiungimento delle massime densità ottenibili. Per le operazioni di finitura dei giunti e riprese può essere utilizzato un rullo tandem a ruote metalliche del peso massimo di 10 t.

In ogni caso l'Appaltatore avrà cura di assicurarsi che la compattazione sia condotta con la metodologia più adeguata a ottenere uniforme addensamento in ogni punto ed evitare fessurazioni e scorrimenti nello strato appena steso.

Al termine della compattazione gli strati di base, collegamento e usura devono avere una densità uniforme in tutto lo spessore non inferiore al 98% della densità di progetto (riferita al livello di compattazione N2 - vedi §31.3.5.1) determinata su un campione di miscela compattata in laboratorio ed appartenente alla stessa tipologia, stesso impianto di produzione, lotto/giornata lavorativa dello strato investigato (UNI EN 12697-6).

La superficie degli strati deve presentarsi priva di irregolarità ed ondulazioni. Un'asta rettilinea lunga 4 m posta in qualunque direzione sulla superficie finita di ciascuno strato deve aderirvi uniformemente, tollerando uno scostamento di 5 mm.

31.10 Controlli in corso d'opera

31.10.1 Controlli dell'Appaltatore

L'Appaltatore è tenuto a documentare in apposito report l'esito delle seguenti verifiche da trasmettere alla Direzione Lavori:

- verifica della compatibilità delle condizioni metereologiche, della temperatura ambientale e della temperatura dello strato su cui è posata la miscela;
- verifica della temperatura della miscela del conglomerato all'atto della stesa, controllata immediatamente dietro la finitrice di ogni mezzo giunto in cantiere;
- L'Appaltatore dovrà altresì effettuare misurazioni dirette della temperatura di uscita della miscela bituminosa dall'impianto e registrare tali dati.
- rispondenza dei documenti di trasporto con le forniture all'arrivo in cantiere e la rispondenza delle caratteristiche per lo specifico impiego previsto a progetto e alla qualifica approvata dal Direttore dei Lavori;
- rispondenza dei mezzi d'opera utilizzati e delle modalità di posa alle specifiche di capitolato, di progetto e di qualifica;
- rispondenza della sagoma dello strato di pavimentazione alle previsioni progettuali a mezzo di opportuno rilevo di cui al § 31.10.1.1.

31.10.1.1 Controllo della sagoma pacchetto di pavimentazione

L'Appaltatore dovrà provvedere, a propria cura e spese, alla verifica topografica della sagoma degli strati di pavimentazione rispetto alle previsioni progettuali prima di procedere con la posa di ogni strato successivo. Il rilievo dovrà individuare, sia graficamente, sia in una apposita tabella suddivisa per wbs, i volumi di conglomerato bituminoso suddivisi per miscela e per fornitore. Il rilievo, ed ogni suo successivo aggiornamento da redigere su base mensile se in presenza di lavorazioni, deve essere trasmesso al Direttore dei Lavori in formato dwg.

31.10.2 Controlli della Direzione Lavori

La Direzione Lavori, in contraddittorio e con l'assistenza dell'Appaltatore, eseguirà i controlli descritti nei seguenti paragrafi.

La frequenza delle prove di seguito specificate deve ritenersi come minima e potrà essere infittita ad insindacabile giudizio del Direttore dei Lavori. Le prove aggiuntive che si rendono necessarie per aspetti legati all'organizzazione dell'Appaltatore saranno a suo onere.

Resta inteso che prima della posa del primo strato di conglomerato bituminoso deve essere verificata la regolarità e la portanza dello strato sottostante secondo le indicazioni del presente capitolato speciale.

I controlli indicati nel seguito per la verifica del singolo strato riguardano:

- la miscela sciolta prelevata in sito durante le operazioni di stesa;
- i materiali costituenti;
- lo strato finito.
- documentazione relativa al Controllo periodico della Direzione Lavori (DL) presso l'impianto di produzione di conglomerato bituminoso, finalizzato a verificarne le modalità di gestione.

31.10.2.1 Miscela sciolta all'atto della stesa

Con frequenza giornaliera per ogni tipo di miscela e impianto di provenienza, indipendentemente dalle quantità posate, la Direzione Lavori effettuerà il prelievo di idoneo quantitativo per la costituzione da n. 3 provini di conglomerato bituminoso sciolto dalla vibrofinitrice durante la stesa per la verifica di:

- distribuzione granulometria degli aggregati (§ 31.3.2 o § 31.5 per miscele speciali) (UNI EN 12697-1, UNI EN 12697-39, UNI EN 933-1), confezionate con e senza fresato, sono ammessi valori delle singole percentuali dell'aggregato rispetto alle curve di progetto pari a;
  - X ±5 punti percentuali (dove X = valore percentuale corrispondente al passante al singolo setaccio di dimensioni maggiori o uguali a 2 mm)
  - Y ±3 punti percentuali (dove Y = valore percentuale corrispondente al passante al singolo setaccio di dimensioni minori di 2 mm e maggiori di 0,063 mm)
  - Z ±2 punti percentuali (dove Z = valore percentuale corrispondente al passante al setaccio di dimensioni pari a 0,063 mm)

  Violazioni dei limiti richiamati possono dar luogo, nel caso in cui l'anomalia si verifichi per almeno 3 setacci, in presenza anche di altri parametri fuori norma, all'applicazione di penali, a giudizio insindacabile della DL;
- contenuto di bitume (§ 31.3.3 o § 31.5 per miscele speciali) UNI EN 12697-1, UNI EN 12697-39). I valori limite ammessi devono rientrare nel valore di progetto ±0,3 punti percentuali;
- la percentuale dei vuoti su provini addensati il laboratorio con pressa giratoria per ciascuno dei 2 livelli di compattazione N1 e N2, esprimendo i risultati come media dei valori ottenuti su ciascun provino (§ 31.3.5.1, § 31.5 per miscele speciali), la % di vuoti della miscela secca (VMA) e la % di vuoti intergranulari riempiti con bitume (VFA). Per i valori di VMA e VFA non sono previsti parametri di accettazione e si prescrive alla Direzione Lavori di trasmettere copia di questi certificati alla Committente e al Progettista;
- requisiti meccanici su provini addensati il laboratorio con pressa giratoria: ITS (resistenza a trazione indiretta), CTI (coefficiente di trazione indiretta) e ITSR (sensibilità all'acqua) esprimendo i risultati come media dei valori ottenuti su ciascun provino;
- modulo di rigidezza su campioni addensati al 98% della densità riferita al livello di compattazione N2 determinata su un campione di miscela compattata in laboratorio ed appartenente alla stessa tipologia, stesso impianto di produzione, lotto/giornata lavorativa dello strato investigato (UNI EN 12697-26) .
- Resistenza all'abrasione PL. I provini cilindrici (D = 100 mm) di conglomerato bituminoso drenante destinati alla prova di resistenza all'abrasione devono essere compattati mediante compattatore Marshall applicando 50 colpi per faccia, secondo quanto prescritto dalla norma di riferimento UNI EN 12697-17. Il singolo provino (condizionato alla temperatura di 25 °C) è sottoposto ad una prova con apparecchiatura Los Angeles senza sfere in acciaio, considerando una velocità di rotazione di 33 giri/minuto, per un totale di 300 giri (UNI EN 12697-17). Al termine della prova la resistenza all'abrasione del conglomerato bituminoso drenante è associata alla perdita di peso (Particle Loss, PL), calcolata come media di 5 provini, che deve risultare conforme ai limiti di cui al § 31.3.6.1;
- rilevamento della temperatura della miscela all'atto della stesa controllata immediatamente dietro la vibrofinitrice secondo la UNI EN 12697-13. Se questa dovesse risultare inferiore alla temperatura minima prevista al § 31.9.2 (o in base alla tipologia di bitume/conglomerato utilizzato ed approvato in fase di qualifica), sull'intera tratta interessata da tali errate condizioni di posa in opera dovranno essere eseguite prove atte al rilevamento del grado di addensamento raggiunto dalla pavimentazione ad onere dell'Appaltatore

Per valori medi del Modulo di Rigidezza "E" esterni all'estremo inferiore compreso nell'intervallo indicato nella tabella al paragrafo §31.3.5.3 considerate le tolleranze ivi indicate, comporteranno, ad insindacabile giudizio del Direttore Lavori, la rimozione dello strato interessato e di quelli sovrastanti, nonché la successiva ricostruzione a cura e spese dell'Appaltatore.
La non rispondenza (uno o più parametri non conformi) ai suddetti requisiti comporterà l'applicazione di una penale pari al valore indicato al § 31.10.2.4 del costo dello strato sottoposto a prova. Tale costo verrà determinato utilizzando la larghezza complessiva dello strato e la lunghezza della tratta messa in opera nella giornata in cui è stato steso il conglomerato sottoposto a prova.

31.10.2.2 Materiali costituenti

I controlli inerenti ai materiali costituenti tutte le tipologie di miscele bituminose sono afferenti:

- Il legante bituminoso;
- Gli aggregati lapidei e conglomerati bituminoso di recupero.

Per quanto riguarda ***il legante bituminoso*** è' necessario eseguire un prelievo all'impianto per fornitore e prodotto al primo utilizzo e successivamente con cadenza bisettimanale, per la verifica delle caratteristiche approvate in qualifica nel rispetto dei limiti riportati nei § 31.4.2.2.2 per bitume tipo A, § 31.4.2.2.3 per bitume per schiumatura tipo A1, § 31.4.2.3 per bitume modificato hard con polimeri SBS tipo B, § 31.4.2.4 per emulsioni bituminose cationiche non modificate tipo C, C1 e C2, § 31.4.2.5 per emulsioni bituminose cationiche modificate tipo D1 e D2. Ai predetti limiti si applicano le tolleranze di seguito riportate:

- Punto di Rammollimento: variazione di 5 °C rispetto al limite inferiore e/o superiore.
- Penetrazione a 25°C: variazione di 5 mm rispetto al limite inferiore e/o superiore.
- Viscosità dinamica a 160 °C, $\dot{\gamma}$=100 s^{-1}: variazione di 0,1 Pa*s rispetto al limite inferiore e/o superiore.
- Ritorno elastico a 25 °C, 50 mm/min: variazione di 5 punti percentuali rispetto al limite inferiore e/o superiore.

La mancata rispondenza ad almeno una dei precedenti 4 requisiti può comportare l'applicazione della penale del prezzo dello strato corrispondente al campione contenente la partita di bitume non conforme di cui al § 31.10.2.4.

Per quanto riguarda gli ***aggregati lapidei e i conglomerati bituminoso di recupero*** ove utilizzati, ogni 10.000 mc di miscele prodotte con lo stesso fornitore oppure con cadenza semestrale, occorre eseguire un prelievo all'impianto per la verifica del soddisfacimento dei requisiti tecnici riportati rispettivamente nel paragrafo § 31.4.1.3.
Per quanto concerne la frazione grossa degli aggregati lapidei, la mancata rispondenza ad almeno una delle seguenti caratteristiche:

- resistenza alla frammentazione LA;
- valore di levigabilità PSV

comporta la penalizzazione di cui al § 31.10.2.4 dei prezzi dei lotti di conglomerato bituminosi drenanti, confezionati con la partita di aggregato lapideo grosso a cui si riferiscono i controlli.
Relativamente alle prescrizioni riguardanti il fresato, la mancata rispondenza ad almeno una delle seguenti caratteristiche:

- requisiti dimensionali e granulometrici di ciascuna frazione di fresato;
- prescrizioni sugli impieghi ammessi in base alla provenienza dei conglomerati bituminosi di recupero di cui al § 31.4.1.1.3;

può comportare la penalizzazione di cui al § 31.10.2.4 dei prezzi del lotto di conglomerato bituminoso drenante confezionato con la partita di fresato a cui si riferiscono i controlli.

31.10.2.3 Strato finito

I controlli inerenti allo strato finito costituenti tutte le tipologie di miscele bituminose sono afferenti:

- La regolare esecuzione della stesa
- Gli spessori;
- La densità in sito
- Il modulo di rigidezza
- La capacità drenante

La verifica della ***regolare esecuzione della stesa*** si effettua visivamente su tutta la superficie di stesa escludendo la presenza di strati compromessi: anomalie di stesa o di compattazione, perdite di materiale, giunti longitudinali o trasversali di ripresa mal eseguiti, aperti o sgranati) o qualsiasi difformità rispetto ad una lavorazione che possa definirsi "a regola d'arte". Inoltre, la superficie degli strati deve presentarsi priva di irregolarità ed ondulazioni tale per cui un'asta rettilinea lunga 4 m posta in qualunque direzione sulla superficie finita di ciascuno strato deve aderirvi uniformemente, tollerando uno scostamento di 5 mm. Tale prova deve essere eseguita dalla Direzione Lavori in presenza di dubbi a seguito delle verifiche visive di cui sopra.
La presenza di strati compromessi comporta, a discrezione della DL, la rimozione e ricostruzione a cura e spese dell'Appaltatore dello strato stesso.

Lo ***spessore*** dello strato da controllare deve corrispondere allo spessore medio di progetto ordinato dalla DL; esso viene verificato su carote prelevate in contraddittorio, il cui spessore è misurato secondo la norma UNI EN 12697-36.
Al fine di ottenere un numero di misurazioni sufficientemente rappresentative dello spessore dello/gli strato/i in esame devono essere prelevate almeno 4 carote distribuite lungo un tratto elementare di lunghezza pari a 500 m (o pari alla lunghezza dell'intervento investigato se inferiore). Di norma si deve evitare di prelevare carote in prossimità dei bordi dell'intervento e/o dei giunti di lavorazione.
In caso di notevole varianza e/o discordanza dei risultati delle misure dallo spessore ordinato, si procede ad un approfondimento delle verifiche, eseguendo il prelievo di ulteriori carote a cura ed onere dell'Appaltatore.
Lo spessore medio è calcolato eseguendo la media aritmetica degli spessori dello strato considerato, misurati per ciascuna carota prelevata.
Nel caso di pacchetti di risanamento composti da più strati (base + binder + usura) è verificato lo spessore complessivo dello strato risultante, con esclusione dello strato di usura superficiale che è valutato a parte.
Sono ammesse le seguenti tolleranze rispetto allo spessore ordinato:

- 5% per gli strati di base o base + binder
- 7% per gli strati di binder ed usura e usura drenante

Qualsiasi insufficienza nello spessore di uno strato superiore alla tolleranza prevista, è penalizzata applicando una detrazione pari al valore dello strato considerato moltiplicato per la percentuale pari al triplo dei punti percentuali di cui lo spessore differisce per difetto da quanto ordinato, dedotta la relativa tolleranza percentuale sopra indicata (esempio: ammettendo una tolleranza del 7%, qualora la differenza di spessore risulti in difetto del 10%, la penale è pari a: (10% – 7%) ´ 3 = 9% del valore dello strato interessato dal controllo).
La penale è applicata alla superficie ispezionata dai carotaggi (larghezza delle corsie dell'intervento investigato per lunghezza investigata fra prima ed ultima carota di ogni tratto elementare).
Nel caso in cui la differenza con il valore di progetto superi il 25%, esclusa la tolleranza, il lavoro non è ritenuto accettabile e la DL, anche tenendo conto dell'estensione e della distribuzione delle tratte carenti, può richiederne il rifacimento a completa cura e spese dell'Appaltatore.

Sulle stesse carote utilizzate per il controllo degli spessori sono eseguiti controlli relativi alla **densità in sito**. La densità in sito, ottenuta come media dei valori misurati sulle singole carote, deve essere non inferiore al 98% della densità (riferita al livello di compattazione N2 - vedi §31.3.5.1) determinata su un campione di miscela compattata in laboratorio ed appartenente alla stessa tipologia, stesso impianto di produzione, lotto/giornata lavorativa dello strato investigato (UNI EN 12697-6).
Per valori inferiori al 98% della densità di progetto, è prevista l'applicazione di una penale pari al valore indicato al § 31.10.2.4 del prezzo dello strato interessato dal controllo (larghezza delle corsie dell'intervento investigato per lunghezza investigata fra prima ed ultima carota di ogni tratto elementare).
Ad insindacabile giudizio della DL, valori non conformi della densità in sito rispetto alla densità di progetto comportano la rimozione dello strato e la successiva ricostruzione a cura e spese dell'Appaltatore.

La penale è applicata alla superficie ispezionata dai carotaggi (larghezza delle corsie dell'intervento investigato per lunghezza investigata fra prima ed ultima carota di ogni tratto elementare).

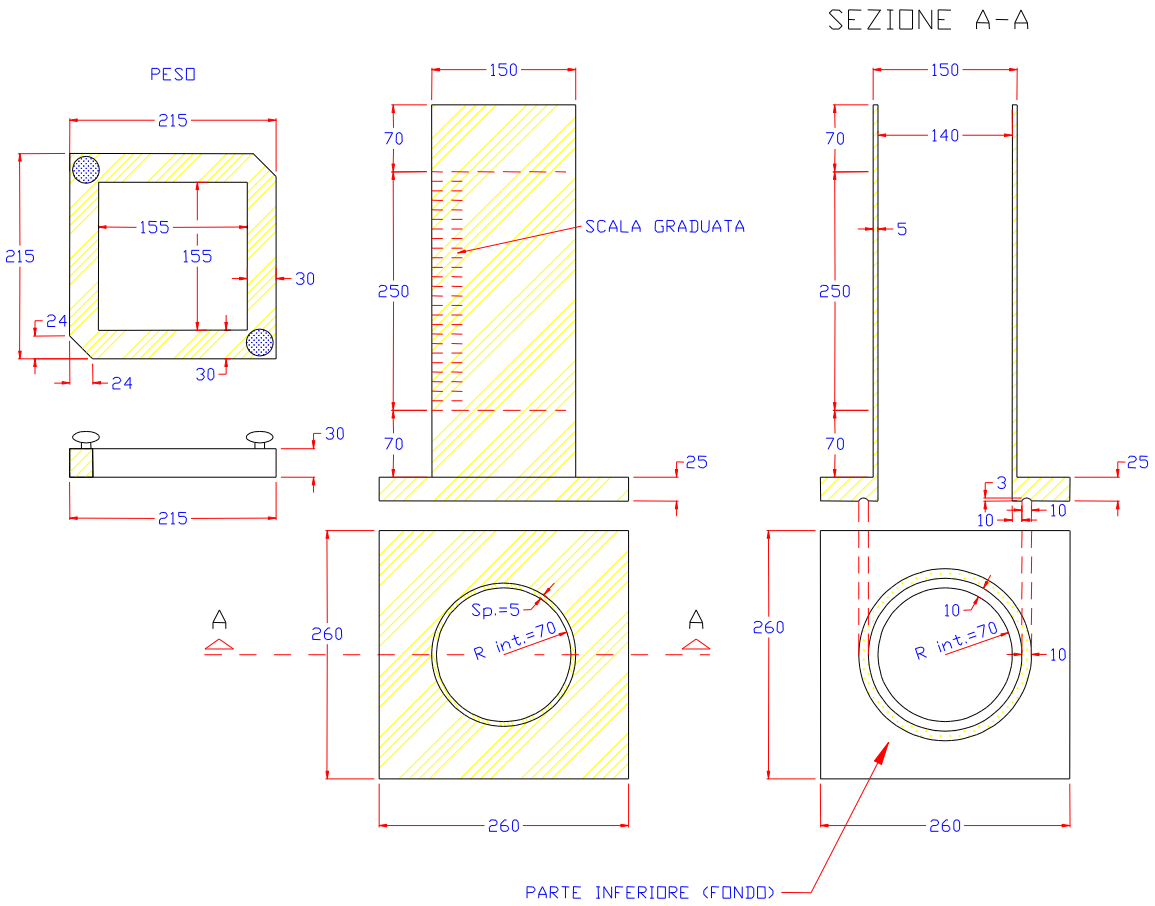
Per quanto riguarda i valori della ***capacità drenante*** media in sito, misurata con permeabilimetro a colonna d'acqua (metodo e frequenza descritti al successivo § 31.10.2.3.1) a ridosso dei lavori di stesa od al massimo entro 30 gg dall'apertura al traffico o dal termine della stesa, deve restituire i valori indicati al § 31.3.6.2.
La non rispondenza ai limiti indicati comporta l'applicazione di una penale al valore indicato al § 31.10.2.4 del costo dello strato investigato. Lo strato investigato corrisponde alla superficie ispezionata con la prova di capacità drenante calcolata come larghezza della corsia verificata moltiplicata per lunghezza tra prima e ultima prova del tratto.

31.10.2.3.1 Modalità di esecuzione della prova per il controllo della capacità drenante

Questa procedura descrive le modalità, il campo di applicazione, lo scopo, del sistema di misura della permeabilità di strati superficiali di pavimentazione dei conglomerati bituminosi ad elevata percentuale di vuoti drenanti.
La metodologia consiste nel misurare la capacità di smaltimento d'acqua di una pavimentazione mediante l'utilizzo di un contenitore cilindrico con dimensioni e forma definite, che viene posto sulla pavimentazione in esame e riempito con acqua.
Il tempo necessario per lo svuotamento di un dato volume d'acqua contenuta dal recipiente permette di misurare la permeabilità della pavimentazione.

APPARECCHIATURA DI PROVA
Per la esecuzione della prova vengono utilizzate le seguenti attrezzature e strumentazioni di seguito riportate:

- Contenitore cilindrico (permeabilimetro), vedi figura seguente.
- Materiale plastico (tipo pongo), mastice o silicone per il fissaggio del permeabilimetro sulla pavimentazione
- Peso non minore di 5000 g.



DESCRIZIONE E MODALITÀ DI ESECUZIONE DELLA PROVA

Si pone il permeabilimetro vuoto sulla pavimentazione in esame tracciando con un gesso cerato il bordo esterno ed il cerchio interno del permeabilimetro che rappresenta l'area di prova.

Tolto il permeabilimetro dall'area tracciata, esclusa quella di prova, si spalma accuratamente il silicone, sigillando i fori superficiali della pavimentazione; inoltre, sul fondo dello strumento, nella parte solcata intorno al foro cilindrico, va applicato un filo di silicone, facendo attenzione che sia superiore alla profondità del solco di circa 2 mm.

Si pone lo strumento sulla pavimentazione, facendolo coincidere con i segni precedentemente effettuati, per evitare qualsiasi riduzione dell'area di prova; si applica un peso (non minore di 5000 g) per migliorare l'aderenza al suolo dello strumento.

Subito dopo, per eliminare l'aria contenuta nel conglomerato e per renderne uniforme la temperatura nell'area di prova, si effettua un primo riempimento del permeabilimetro; non appena il livello dell'acqua arriva allo zero della scala graduata (livello inferiore), si riempie nuovamente il permeabilimetro fino al bordo superiore, facendo in modo di far tracimare una certa quantità di acqua.

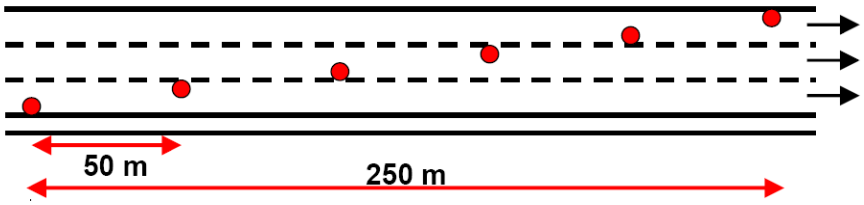
Non appena il livello dell'acqua arriva alla soglia superiore della scala graduata (altezza di 250 mm), si fa partire la rilevazione dell'intervallo di tempo che termina quando il livello d'acqua e sceso fino allo zero di gradazione.

Il rapporto tra la quantità d'acqua (in dm^3 nota) e l'intervallo di tempo trascorso (in minuti) rappresenta la capacità drenante espressa in dm^3/min.

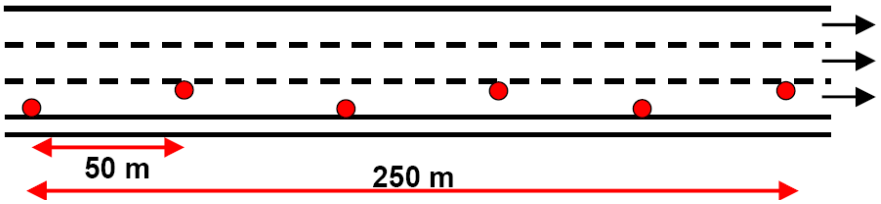
Il valore singolo è ricavato dalla esecuzione di due prove distanti 1 metro (mediandone i due valori).

Si riportano di seguito i criteri di misura affinché le VERIFICHE DI DRENABILITÀ siano statisticamente significative:

- Effettuare (per siti di stesa di almeno 10.000 mq - pari ad 1 km di carreggiata su tratte a 2 corsie) almeno n. 6 "Punti di Misura" di drenabilità distanziati di circa 50 m ed alternati sul lato dx/sx della/e corsia/e oggetto delle verifiche (è opportuno, compatibilmente con le condizioni di segnaletica a disposizione, valutare tutto l'insieme delle corsie interessate) – Vedi schemi sottostanti –.



Esempio di schema di rilievo nel caso di intervento eseguito sull'intera carreggiata a tre corsie



Esempio di schema di rilievo nel caso di intervento eseguito sulla sola corsia di marcia o nel caso di indisponibilità della chiusura al traffico delle altre corsie interessate dall'intervento

- Per ciascuno dei "Punti di Misura" dovranno essere effettuate n.2 prove di drenabilità, da cui deriverà un Valore Medio rappresentativo della capacità drenante del "Punto di Misura"
- Non è consentito (risultati anormali) eseguire le prove in corrispondenza del giunto longitudinale di stesa o dei giunti trasversali di ripresa lavori
- Il DATO da utilizzare per la valutazione delle Performance sarà costituito dalla MEDIA dei 6 Valori Medi ricavati per ciascun "Punto di Misura", relativo pertanto ad un tratto di corsia lungo - circa 250 m ("sezione di misura").
- Per siti di dimensioni maggiori, ripetere tale "set" di prove un numero di volte proporzionale all'estensione, allocando alternativamente la "sezione di misura" su tutte le corsie lavorate.
- Per siti di lunghezza inferiore, si considereranno "set completi" (n.6 "Punti di misura") anche quelli composti da "Punti di misura" effettuati su interventi vicini interessati da lavorazione nella medesima giornata e quindi realizzati con la produzione giornaliera di miscela dell'impianto.

RISULTATI DELLE PROVE

Il valore di permeabilità - capacità drenante viene espresso in lt/min come valore medio (M) delle due prove effettuate nel punto della pavimentazione in esame.

M ±20%M rappresenta l'intervallo di capacità drenante entro cui devono cadere le due prove per poter essere ritenute valide.

31.10.2.4 Penali

Nella tavola sinottica seguente, sono riepilogate le penali di cui alle prove descritte dettagliatamente nel § 31.10.2 riguardanti la miscela sciolta, i materiali costituenti e lo strato finito delle miscele in conglomerato bituminoso.

Per lavorazioni non conformi, in alternativa all'applicazione delle penali, la DL si riserva, a suo insindacabile giudizio, la facoltà di rifacimento a cura e a spese dell'Appaltatore della lavorazione non conforme.
L'applicazione delle penali descritte nei successivi paragrafi non esclude quelle previste in altri articoli delle presenti NTA, in particolare quelle riferite ai controlli prestazionali con apparecchiature ad alto rendimento specificate al § 31.10.3.

TAVOLA SINOTTICA DELLE PENALI

MATERIALI COSTITUENTI	REQUISITI	PENALI
Legante bituminoso	Caratteristiche varie conformi a quanto prescritto	10%
Aggregato grosso, aggregato fino e aggregato filler (naturale e industriale)	LA e PSV	10%
Conglomerato bituminoso di recupero (fresato)	Caratteristiche varie conformi a quanto prescritto	10%
MISCELA SCIOLTA	REQUISITI	PENALI
Conglomerato bituminoso drenante, drenante strutturale, ipodrenante	Caratteristiche varie conformi a quanto prescritto	10%
STRATO FINITO	REQUISITI	PENALI
Regolare esecuzione della stesa	Conforme a quanto prescritto	-
Spessori degli strati	Ricompresi nei limiti prescritti	Variabile
Densità in sito	Ricompresa nei limiti prescritti	10%
Capacità drenante	Ricompresa nei limiti prescritti	10%

31.10.3 Controlli con apparecchiature ad alto rendimento sulla pavimentazione finita e penali

Qualora previsto a progetto, richiesto dalla Committente o dalla Direzione Lavori, il controllo della qualità della pavimentazione finita viene eseguito con apparecchiature ad alto rendimento attraverso la verifica della portanza, della aderenza e macrotessitura, della regolarità nel rispetto dei limiti di cui al § 31.3.7.1, § 31.3.7.2 e § 31.3.7.3.

31.10.3.1 Portanza

Le prove di deflessione dinamica con apparecchiatura Falling Weight Deflectometer (FWD) sono effettuate sulla pavimentazione finita nel caso di nuovi interventi e lavori di risanamento profondo che prevedano il rinnovo dell'intero pacchetto legato a bitume e sottobase legata, I risultati di tali prove devono essere conformi al § 31.3.7.1.
Per quanto riguarda le caratteristiche strutturali degli strati in conglomerato bituminoso messi in opera, il parametro di riferimento è il modulo elastico che viene ricavato interpretando una serie di misure di deflessione dinamica eseguite dal Centro Rilevamento Dati e Prove Materiali o da Laboratori terzi scelti dalla DL.
Per l'interpretazione delle misure di deflessione è necessario conoscere gli spessori degli strati della pavimentazione. La valutazione di tali spessori avviene tramite il rilievo in continuo della stratigrafia della pavimentazione eseguito mediante un'apparecchiatura radar ad alto rendimento eventualmente integrato da una serie di carotaggi pianificata dalla Committente, da eseguirsi in numero sufficiente a correlare il segnale rilevato con gli effettivi spessori. Le prove di deflessione

dinamica devono essere eseguite sulla superficie finita della pavimentazione in un periodo di tempo variabile fra il 3° ed il 90° giorno dalla data di apertura al traffico.
Le prove di deflessione dinamica per il calcolo del modulo elastico sono interpretate mediante un idoneo programma di calcolo di Back-Analysis. Il valore ottenuto per gli strati legati a bitume deve essere riportato ad una temperatura di riferimento del conglomerato bituminoso pari a 20 °C.
Le prove dinamiche tipo FWD non devono essere eseguite nel caso di temperature superficiali della pavimentazione superiori a 30 °C, evitando nelle giornate calde (periodo primaverile ed estivo) le ore comprese tra le 10.00 ed il tramonto.
Le misure del bacino di deflessione con apparecchiatura FWD vengono effettuate sulla corsia interessata dal rilievo, con un passo minimo di 50 m per avere a disposizione un campione di dati statisticamente significativo. Eccezionalmente, per motivi operativi o di interferenza con il traffico, l'intervallo tra le prove può essere esteso fino ad un massimo di 100 m.
Per la valutazione delle caratteristiche strutturali si deve fare riferimento al valore medio del modulo espresso in MPa, ricavato dai moduli risultanti dalle misure puntuali di FWD, relativo a ciascuna tratta omogenea in cui è possibile suddividere l'intera lunghezza di stesa.
Per tratte omogenee si intendono quei tratti di pavimentazione nei quali ricadono almeno 4 punti di misura e nei quali i valori dei moduli elastici sono distribuiti statisticamente secondo una distribuzione "normale". Le tratte omogenee sono individuate da idoneo programma di calcolo.

Nel caso di lavori di risanamento profondo che prevedano il rinnovo dell'intero pacchetto legato a bitume e della sottobase legata, è possibile prevedere in aggiunta alle misure FWD anche l'esecuzione di prove di deflessione dinamica con apparecchiatura Traffic Speed Deflectometer (TSD).
Il rilievo con il TSD deve essere svolto sulla superficie finita della pavimentazione in un periodo di tempo variabile fra il 3° ed il 90° giorno dalla data di apertura al traffico. Il rilievo deve avvenire nelle prime ore del mattino, e comunque non oltre le ore 11:00. Sono da considerare validi solo i bacini di deflessione ottenuti con temperatura superficiale della pavimentazione inferiore a 30 °C.
I bacini di deflessione ottenuti con il TSD devono essere restituiti con un passo non inferiore a 10 m ed interpretati mediante un idoneo programma di calcolo di Back-Analysis. Poiché i bacini di deflessione misurati dal TSD sono diversi da quelli misurati dal FWD a causa delle diverse condizioni di misura (entità e modalità di applicazione del carico), ai corrispondenti valori dei moduli elastici non saranno applicati i limiti di accettazione e le penali illustrate al paragrafo §31.10.3.4.

31.10.3.2 Aderenza e macrotessitura

Le misure di CAT e MTD devono interessare almeno una corsia (marcia o marcia lenta) e essere effettuate in un periodo di tempo compreso tra il 15° ed il 180° giorno dall'apertura al traffico, ad eccezione dei conglomerati bituminosi aperti (drenanti e ipodrenanti), per i quali le misure vanno eseguite tra il 60° ed il 200° giorno dall'apertura al traffico.
Per quanto riguarda le misure di CAT e MTD, effettuate con lo SCRIM/SUMMS, deve essere rilevato almeno il 10% della lunghezza coperta da ogni singolo cantiere e le tratte da misurare (di lunghezza sempre superiore a 200 m) possono essere localizzate nei punti dove a giudizio della DL la tessitura e/o la rugosità risulti non sufficiente o dubbia.
Le misure di CAT e MTD devono essere effettuate con un "passo di misura" di 10 m e i valori misurati di CAT e MTD possono, eventualmente, essere mediati ogni 50 m per filtrare disomogeneità occasionali e localizzate delle superfici. I valori presi in considerazione sono quelli relativi all'allineamento di misura destro dell'apparato e riportati alla temperatura (dell'aria) di riferimento pari a 20 °C.

Per la valutazione delle caratteristiche di aderenza e macrotessitura superficiale si deve fare riferimento ai valori medi di CAT_{ASPI20} e MTD, ricavati dalle misure puntuali (passo 10 m) o dai valori già mediati ogni 50 m, relativi a ciascuna tratta omogenea in cui è possibile suddividere la tratta misurata.
Per tratte omogenee si intendono quei tratti di pavimentazione individuati da un idoneo programma di calcolo, nei quali ricadono almeno 4 valori dell'indicatore e per cui i valori dell'indicatore sono distribuiti statisticamente secondo una distribuzione "normale".
I valori medi di CAT_{ASPI20} e MTD ricavati per ciascuna tratta omogenea devono risultare in accordo con le prescrizioni sopra riportate.

31.10.3.3 Regolarità

Le misure del profilo longitudinale devono interessare almeno una corsia (marcia o marcia lenta) e essere eseguite in un periodo di compreso tra il 4° ed il 180° giorno dall'apertura al traffico utilizzando l'apparecchiatura ARAN (o equivalente).
Deve essere rilevato almeno il 50% della lunghezza coperta da ogni singolo cantiere e le tratte da misurare (di lunghezza sempre superiore a 200 m) possono essere localizzate nei punti dove a giudizio della DL la regolarità risulti non sufficiente o dubbia.
Il valore dell'indice IRI viene calcolato con un "passo" di 20 m a partire dal profilo longitudinale misurato ed è pari alla semisomma dei valori IRI destro e IRI sinistro riferiti ai due allineamenti di misura.
Per la valutazione della caratteristica di regolarità superficiale, nel caso di utilizzo dell'indice IRI, si deve fare riferimento ai valori medi, ricavati dai valori puntuali (passo 20 m), relativi a ciascuna tratta omogenea in cui è possibile suddividere la tratta misurata.
Per tratte omogenee si intendono quei tratti di pavimentazione, nei quali ricadono almeno 4 valori dell'indicatore e per cui i valori dell'indicatore sono distribuiti statisticamente secondo una distribuzione "normale". Le tratte omogenee sono individuate da un programma di calcolo collegato al programma di restituzione dei dati di regolarità.
I valori medi di IRI ricavati per ciascuna tratta omogenea devono risultare in accordo con le prescrizioni sopra riportate.

31.10.3.4 Penali

Portanza:
In funzione del valore medio del modulo del pacchetto di strati soggetto a prova, lo stesso pacchetto interessato viene penalizzato in maniera percentuale rispetto al costo secondo i valori elencati nella seguente tabella (valida nel caso di conglomerati bituminosi).

MODULO DI ELASTICITÀ (E) del pacchetto di strati legati a bitume soggetti a prova (T = 20 °C)	PENALITÀ per il pacchetto di strati soggetti a prova
E ≥ 5000 MPa	Prestazione valida
4000 MPa £ E < 5000 MPa	Detrazione del 10%
3500 MPa £ E < 4000 MPa	Detrazione del 20%
E < 3500 MPa	Detrazione del 50%

Aderenza e macrotessitura:

Qualora il valore medio di CAT_{ASPI20} o MTD, come definito in precedenza per ciascuna tratta omogenea (misure SCRIM o SUMMS), sia inferiore ai valori di CAT_{ASPI20} o MTD prescritti (vedi §31.3.7.2) ridotti di una tolleranza pari al 10%, il compenso previsto per lo strato di rotolamento (quello a diretto contatto con i pneumatici) viene penalizzato del 15% (da calcolare prendendo a riferimento la larghezza complessiva dello strato penalizzato anche se le misure interessano una sola corsia).

La tolleranza non è applicata per quanto riguarda il limite di MTD relativamente ai conglomerati drenanti (CBD, CBDS, IPD).

Qualora il valore medio di CAT_{ASPI20}, come definito in precedenza per ciascuna TRATTA OMOGENEA, sia inferiore ai seguenti valori di non accettabilità:

CAT_{ASPI20} = 40 per strati di usura drenanti (CBD, CBDS, IPD)
CAT_{ASPI20} = 45 per strati di usura "Normali" (CB) e "Hard" (CBH)
CAT_{ASPI20} = 50 per strati di usura antisdrucciolo (SMA)
CAT_{ASPI20} = 60 per "Trattamenti ad alta aderenza"

l'Appaltatore deve procedere gratuitamente all'asportazione completa con fresa dello strato per tutta la sua larghezza ed alla stesa di un nuovo strato che è comunque soggetto alle stesse condizioni di controllo ed agli stessi requisiti di aderenza e macrotessitura precedentemente descritti.

In alternativa a quest'ultima operazione (ad esclusione dei trattamenti ad alta aderenza) si può procedere all'effettuazione di trattamenti di irruvidimento per portare i/il valore/i deficitario/i al disopra della soglia di non accettabilità.

Se comunque al termine di tali operazioni di irruvidimento, pur nel caso in cui i valori di CAT_{ASPI20} e MTD siano risaliti al disopra dei valori di soglia di non accettabilità, ma non si raggiungano i valori prescritti (vedi §31.3.7.2) viene applicata la detrazione del 20% del prezzo.

Regolarità:

Qualora il valore medio di IRI, come definito in precedenza per ciascuna tratta omogenea, non soddisfi le condizioni richieste incrementate di una tolleranza pari al 5%, lo strato di rotolamento (quello a diretto contatto con gli pneumatici) viene penalizzato del 15% del suo costo (da calcolare prendendo a riferimento la larghezza complessiva dello strato penalizzato anche se le misure interessano una sola corsia). Tale criterio si applica nel caso in cui lo strato abbia uno spessore di almeno 4 cm, altrimenti si prende a riferimento quello immediatamente sottostante che soddisfi tale condizione sempre se inferiore alla soglia di non accettabilità appresso specificata.

Qualora il valore medio di IRI, come definito in precedenza per ciascuna tratta omogenea, sia maggiore al seguente valore di non accettabilità:

IRI = 3,5 mm/m

l'Appaltatore deve procedere gratuitamente all'asportazione completa con fresa dello strato per tutta la sua larghezza ed alla stesa di un nuovo strato che sarà comunque soggetto alle stesse condizioni di controllo ed agli stessi requisiti di regolarità precedentemente descritti.

Sono escluse dalla valutazione quei tratti di intervento interessati dalla presenza di opere d'arte con giunti che influenzano la misura di regolarità.

Art. 32 Sostegno dei rilevati in terra "rinforzata" o "armata"

32.1 Descrizione e scopo

I rilevati in terra rinforzata e armata sono realizzati, con le configurazioni geometriche rappresentate negli elaborati grafici di progetto, con l'interposizione, nel corpo del rilevato, di rinforzi orizzontali o suborizzontali (geogriglie, bandelle/reti metalliche, ecc.) e paramenti di diversa tipologia tra cui:

- pannelli prefabbricati in calcestruzzo armato;
- gabbioni in pietrame o roccia frantumata
- rinverdibili.

Gli elementi di rinforzo vengono usualmente disposti lungo piani di posa orizzontali durante il riempimento e la compattazione del rilevato di terreno strutturale, che avviene per strati successivi.
Gli ambiti di applicazione delle terre rinforzate e armate non sono solo per il sostegno dei rilevati stradali e autostradali ma possono essere utilizzate anche per gli argini fluviali, nelle riqualificazioni ambientali, per le barriere antirumore, ecc., sempre se e nelle modalità previste negli eleborati progettuali.
Per quanto riguarda le caratteristiche del terreno di riempimento, dovranno essere impiegati esclusivamente materiali secondo quanto disciplinato all'art. 3.3.9 di questo capitolato.

32.2 Normativa di riferimento

- UNI EN 14475: Esecuzione di lavori geotecnici speciali - Terra rinforzata
- UNI EN 13249: Geotessili e prodotti affini - Caratteristiche richieste per l'impiego nella costruzione di strade e di altre aree soggette a traffico (escluse le ferrovie e l'inclusione nelle pavimentazioni bituminose)
- UNI EN 13251: Geotessili e prodotti affini - Caratteristiche richieste per l'impiego nelle costruzioni di terra, nelle fondazioni e nelle strutture di sostegno

32.3 Criteri di accettazione dei rinforzi e dei materiali

32.3.1 Rinforzi con rivestimento di acciaio

Il sistema di armatura metallica in acciaio deve essere in possesso di marcatura CE sulla base della Valutazione Tecnica Europea (EAD 200026-00-0102) oppure deve aver ottenuto un Certificato di Valutazione Tecnica con sistema di attestazione della conformità 2+.
Le armature metalliche dovranno essere zincate e possedere i seguenti requisiti prestazionali minimi salvo se diversamente specificato negli elaborati progettuali:

- Acciaio laminato a caldo, tipo S355J0
- Resistenza a rottura > 520MPa
- Resistenza a snervamento > 355MPa
- Allungamento a rottura > 22%
- Geometria minima 50x4 mm o equivalente
- Aderenza migliorata mediante rilievi trasversali di 3mm
- Zincatura a caldo 5g/dm^2, spessore garantito minimo 70 mm
- Collegamento con bulloni a testa esagonale di classe 10.9 zincati a caldo

32.3.2 Rinforzi con geogriglie

Per contenere e rinforzare il rilevato viene utilizzata una geogriglia tessuta in poliestere (PET), polietilene ad alta densità (HDPE) o polivinilalcool (PVA).

Tale geogriglia deve essere dotata di marcatura CE e DoP secondo la norma UNI EN 13251 (o 13249) con sistema di attestazione della conformità di tipo 2+ e possedere le seguenti caratteristiche:

Tipo geogriglia	35 kN/m	55 kN/m	80 kN/m	110 kN/m	150 kN/m	Documento richiesto
Dimensioni **massime** della maglia [mm]	25x25	25x25	25x25	25x25	25x25	Scheda tecnica
Resistenza **minima** longitudinale a breve termine [kN/m]	≥ 35	≥ 55	≥ 80	≥ 110	≥ 150	Certificato di prova di laboratorio secondo EN ISO 10319
Deformazione **massima** alla resistenza nominale a breve termine longitudinale [%]	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10	Certificato di prova di laboratorio secondo EN ISO 10319
Resistenza **minima** trasversale a breve termine [kN/m]	≥ 20	≥ 20	≥ 20	≥ 20	≥ 20	Certificato di prova di laboratorio secondo ISO 10319
Deformazione **massima** alla resistenza nominale a breve termine trasversale [%]	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10	Certificato di prova di laboratorio secondo EN ISO 10319
Deformazione **massima** per creep: differenza tra la curva tensione-deformazione a breve termine e quella a 120 anni, al 50% della tensione nominale [%]	≤ 1,3	≤ 1,3	≤ 1,3	≤ 1,3	≤ 1,3	Curve isocrone delle geogriglie certificate da istituto accreditato indipendente
Tensione di progetto **minima** a 120 anni considerando un terreno costituito da ghiaia frantumata ($d_{50} \leq 35$ mm) e con pH compreso tra 4 e 9	18,26	28,70	43,56	62,62	85,39	Certificato di prova tipo BBA rilasciato da istituto accreditato indipendente

La geogriglia verrà fissata grazie a distanziatori e puntoni fissatori in acciaio del diametro 8÷10 mm.

32.3.3 Paramento rinverdibile

Ove previsto a progetto il paramento potrà essere del tipo rinverdibile. In tal caso il paramento in vista delle strutture sarà composto da pannelli in rete elettrosaldata in acciaio B450A o B450C zincato a caldo in maglie differenziate di 15x15 e 15x30 cm oppure 12,5x15 e 15x30 cm e diametro 8÷14 mm, posti in opera con un sistema di irrigidimento idoneo a ottenere inclinazioni del paramento

variabili a seconda delle esigenze progettuali, tra i 45° e gli 80°. I requisiti di accettazione della rete devono essere conformi ai contenuti dell'art. 24 di questo capitolato.
Il paramento sarà altresì composto da uno speciale geotessile idoneo a contenere il terreno vegetale e consentire l'idrosemina su tutta la superficie in modo da assicurare una rapida crescita della vegetazione ed uno sviluppo in profondità delle radici.
Tale geotessile per il contenimento del paramento di scarpata, deve essere dotato di marcatura CE e DoP secondo la norma UNI EN 13251 (o 13249) con sistema di attestazione della conformità di tipo 2+ e possedere le seguenti caratteristiche:

- costituito da una rete a maglia tessuta di apertura massima 3,5x3,5 mm, realizzata in fibre di poliestere protette con rivestimento polimerico;
- resistenza a trazione a breve termine non inferiore a 15 kN/m nella direzione longitudinale e non inferiore a 14 kN/m nella direzione trasversale (EN ISO 10319);
- allungamento non superiore al 18% (longitudinale) e 22% (trasversale) (EN ISO 10319);
- permeabilità del materiale maggiore di $250 \cdot 10^{-3}$ m/s (EN ISO 11058);
- diametro di filtrazione pari a 3500 μm (tolleranza ± 500 μm) (EN ISO 12956).

Per consentire il rinverdimento della scarpata si dovrà prevedere, all'interno del paramento, alla sistemazione di uno strato di terreno vegetale preferibilmente proveniente dallo scotico quando disponibile e comunque conforme alle specifiche di cui all'art. 39 di questo capitolato, per uno spessore di 30-50 cm appositamente additivato di materiali ammendanti organici quale ammendante vegetale semplice (composto da materiale verde) in ragione di non meno del 3% in peso della massa di terreno e concimato con concime a lenta cessione in ragione di 25 kg per tonnellata di terreno lavorato, idoneo ad accogliere l'idrosemina lungo tutto il paramento del muro.

Davanti a tale terreno vegetate e quindi sopra alla geogriglia si ha la sistemazione di un materassino preseminato. Questo ulteriore strato è composto da materiale biodegradabile (paglia di cereali) precedentemente additivato di un miscuglio di semi di piante erbacee foraggere idonee alle condizioni locali e aventi provenienza e germinabilità certificate, da sottoporre alla DL per approvazione. La presenza di questi semi negli strati superficiali della terra armata assicura la rapidità del rinverdimento, comunque completato dall'idrosemina finale lungo tutto il paramento del muro con una miscela avente la seguente composizione:

- miscuglio di semi di specie erbacee e foraggere idonee alle condizioni locali, aventi provenienza e germinabilità certificate, in ragione di 50-60 g/m²;
- acqua in quantità idonea alla diluizione della miscela, per fungere da veicolo alla irrorazione (15-20 l/m²);
- collante polimerico biodegradabile in ragione di 200 g/m^2;
- concime organico e/o inorganico ad azione ritardata in genere in quantità tali da evitare l'effetto "pompaggio" iniziale e successivo deficit delle piante;
- materiale ad elevato assorbimento e ritenzione idrica;
- materiale agglomerante a base di colloidi organici;
- fibre vegetali biodegradabili;
- altri ammendanti, fertilizzanti e inoculi.

Terminato il riempimento dell'armatura di uno strato, viene rincalzata la geogriglia sopra il riempimento e sul piano che si forma si prevede un mulching mediante la distribuzione di uno strato di paglia di cereali a fibra lunga (grano, orzo, avena), per migliorare le condizioni microclimatiche del substrato. La paglia sarà distribuita uniformemente a coprire tutta la superficie in ragione di un quantitativo non meno di 5 kg/m^2. Unitamente alla paglia, distribuita con motopompe, viene dato il concime organico, in ragione di 60 g/m^2. Qui sopra vengono messe a dimora, se previste in Progetto, talee vegetanti di specie e caratteristiche indicate in Progetto.

32.3.4 Paramento con gabbioni in pietra

Ove previsto a progetto il paramento potrà essere realizzato con gabbioni in pietra o roccia frantumata. Per i criteri di accettazione dei gabbioni si rimanda ai contenuti del § 16 di questo capitolato.

32.3.5 Paramento con pannelli prefabbricati in calcestruzzo armato

Ove previsto a progetto il paramento potrà essere realizzato in pannelli prefabbricati in calcestruzzo. Per i criteri di accettazione e la qualifica dei pannelli e dei singoli costituenti la miscela cementizia si rimanda ai contenuti dell'art. 20 di questo capitolato ove applicabile.
Il progetto definisce lo spessore dei pannelli, la classe di resistenza e di esposizione del calcestruzzo e la finitura della superficie che potrà essere:

- Liscia come da cassero;
- A vista con rilievi geometrici di spessore non superiore a 5 cm, tipo antiaffissione, rigato, con disegno finta pietra o simile;
- Con ricoprimento del fronte in pietra viva dello spessore medio non superiore a cm 4 disposte ad "opus incertum" sul fondo della cassaforma

I pannelli saranno armati con con ferri ad aderenza migliorata del tipo B450C i cui requisiti di accettazione devono essere conformi ai contenuti dell'art. 24 di questo capitolato.
Le armature di rinforzo possono essere costituite da geogriglie di cui al § 32.3.2 o da bandelle (ferri piatti) in acciaio zincato ad aderenza migliorata fissate al pannello a mezzo di attacchi annegati nel getto del pannello stesso opportunamente dimensionati per forma e quantità in funzione dei carichi di progetto.
Se previsto a progetto potranno essere utilizzati anche blocchetti in calcestruzzo per offrire una specifica qualità estetica.

32.4 Dossier di prequalifica

L'Appaltatore deve trasmettere al Direttore dei Lavori per approvazione almeno 15 giorni prima dell'inizio delle attività, la documentazione di seguito elencata.
La mancata presentazione della documentazione preliminare comporta la non autorizzazione all'inizio dell'esecuzione dei lavori, né saranno accettate eventuali lavorazioni svolte prima dell'approvazione delle modalità esecutive.

- La marcatura CE e DoP o, in mancanza, le schede tecniche di tutti i componenti costituenti le terre rinforzate. Per i materiali ove è presente un articolo di capitolato specifico (gabbioni in pietra, paramento in calcestruzzo, paramento con rete metallica da inverdire, aggregato per rilevato, ecc. si rimanda alle specifiche di qualifica contenute nei citati articoli di capitolato pertinenti);
- Per la geogriglia di cui al § 32.3.2 si richiedono i certificati di laboratorio indicati nella tabella del § richiamato. La prova di trazione dovrà essere basata su 5 campioni, secondo la normativa ISO 10319. A corredo della fornitura dei geosintetici, dovrà essere fornita idonea certificazione, rilasciata da istituti indipendenti accreditati, nella quale si attestino i fattori di riduzione necessari per la determinazione della Tensione di progetto. Ogni fattore di riduzione può essere anche avallato da certificati individuali per quanto riguarda il comportamento al creep (curve isocrone), danneggiamento meccanico, chimico, ecc.;
- La certificazione del sistema di controllo della produzione (FPC) e il Certificato UNI EN ISO 9001 del sistema di gestione qualità delle società produttrici dei materiali ove applicabile;
- Le schede tecniche e certificazioni (ove applicabile) del vegetale, del materassino premiscelato, degli ammendanti e delle sementi;

- L'indicazione del tipo di mezzi utilizzati per le fasi di montaggio dei rinforzi e del paramento, la stesa e la compattazione degli aggregati;
- Per i pannelli con funzione di finitura l'Appaltatore deve presentare anche un campionamento.

Le prove e i certificati di accettazione iniziale della fase di prequalifica sono da ripetere ad ogni cambio fornitore o tipo di materiale a cura ed onere dell'Appaltatore.
I requisiti d'accettazione potranno inoltre essere accertati con ulteriori prove a cura della Direzione Lavori sia in in fase di prequalifica (controllo non vincolante per l'autorizzazione), sia in corso d'opera, prelevando il materiale in sito, prima e dopo avere effettuato le lavorazioni.

32.5 Modalità esecutive

Per quanto riguarda le modalità esecutive, occorre fare riferimento a quanto disciplinato all'art. 3.5.4. di questo capitolato e alle fasi posa e montaggio approvate in fase di prequalifica.

32.6 Controlli in corso d'opera

32.6.1 Controlli dell'Appaltatore

L'Appaltatore è tenuto a documentare in apposito report l'esito delle seguenti verifiche da trasmettere alla Direzione Lavori:

- rispondenza dei documenti di trasporto delle forniture all'arrivo in cantiere e la rispondenza delle caratteristiche per lo specifico impiego previsto a progetto e alla qualifica approvata dal Direttore dei Lavori. Si precisa che per il geotessile ogni rotolo dovrà avere un'etichetta identificativa secondo la norma EN ISO 10320 con relativo codice del lotto di produzione del materiale fornito;
- rispondenza delle modalità di posa, inclusi i mezzi d'opera utilizzati, alle specifiche di capitolato e di qualifica;
- dei controlli effettuati in corso d'opera di cui ai successivi paragrafi;

32.6.2 Controlli sul geotessile da parte della Direzione Lavori

I controlli di accettazione in cantiere devono essere eseguiti, in contraddittorio e con l'assistenza dell'Appaltatore, con le seguenti modalità:

a) per il geotessile d'armatura (per ogni 2.000 m² o frazione):
   - n. 1 prova per la determinazione della resistenza a trazione in entrambe le direzioni;
   - n. 1 prova per la determinazione della deformazione alla tensione nominale;

b) per il geotessile di contenimento della scarpata (per ogni 2.000 m² o frazione):
   - n. 1 prova per la determinazione della resistenza a trazione in entrambe le direzioni
   - n. 1 prova per la determinazione della permeabilità;
   - n. 1 prova per la determinazione del diametro di filtrazione;

32.6.3 Controlli sul rinforzi di acciaio da parte della Direzione Lavori

I controlli di accettazione in cantiere devono essere eseguiti, in contraddittorio e con l'assistenza dell'Appaltatore, in ragione di 3 campioni ogni 30 t di acciaio impiegato della stessa classe proveniente dallo stesso stabilimento o Centro di trasformazione, anche se con forniture successive per la verifica di:

- valori di resistenza ed allungamento di ciascun campione, accertati in applicazione della norma UNI EN ISO 15630-1 e in accordo con il § 11.3.2.3 delle NTC2018, da eseguirsi comunque prima della messa in opera del prodotto riferiti ad uno stesso diametro, devono essere compresi fra i valori massimi e minimi riportati nelle tabelle seguenti tratte dalle NTC2018, rispettivamente per barre e reti e tralicci;
- Le prove di resistenza al distacco offerta dalla saldatura del nodo, determinata forzando con idoneo dispositivo il filo trasversale nella direzione di quello longitudinale posto in trazione sono da effettuarsi secondo la norma UNI EN 10080 per i tralicci e secondo la norma UNI EN ISO 15630-2 per le reti elettrosaldate;
- Verifica della rispondenza del trattamento di zincatura:
    - Determinazione dell'adesione del rivestimento di zinco mediante una prova di piegamento o di non fragilità (secondo norma di riferimento per barre da c.a.); dopo tale prova il rivestimento non deve presentare nella zona di massima curvatura distacco del rivestimento di zinco.
    - Determinazione della massa di zinco: per la determinazione della massa di zinco per unità di superficie possono essere impiegati due metodi:

      a) Metodo per dissoluzione chimica (distruttivo) secondo UNI EN ISO 1460

      b) Misura magnetica dello spessore del rivestimento (non distruttiva) secondo la UNI ISO 2178
    - Verifica dell'uniformità del rivestimento: l'uniformità dello strato di zincatura sarà verificato con il metodo di prova della UNI 11406 (Metodo di Preece).

32.7 Sostegno dei rilevati a scomparti in elementi scatolari o cellulari

Questa tipologia di sostegno dei rilevati pur non costituendo più uno standard per tali tipi di intervento resta come voce di capitolato soprattutto per la qualifica dei materiali negli interventi manutentivi. Questo tipo di sostegno è costituito da elementi in c.a.v. prefabbricati, atti a formare, mediante sovrapposizione alternata ortogonale, scomparti da riempire con materiale lapideo sciolto di fiume, di cava o di frantoio, di idonea pezzatura, contenente una percentuale di fino (limo o argilla) variabile dal 10÷15% ed avente peso specifico non inferiore a 1,9 t/m³.
Gli elementi prefabbricati in c.a.v., di sagomatura come da Progetto, dovranno avere classe di resistenza ≥ C32/40 ed armatura in barre di acciaio B450C/B450A controllato in stabilimento. La configurazione delle pareti longitudinali potrà essere verticale o a scarpa, a seconda delle indicazioni di Progetto. Le caratteristiche geometriche degli elementi in c.a.v. dovranno essere tali da inibire la fuoriuscita del materiale di riempimento.
Ad avvenuto completamento di ciascuna fila, la struttura risultante dovrà essere riempita fino al contatto con la retrostante parete con un misto di cava od altro materiale, permeabile e sciolto, di idonea pezzatura, compattato a fondo all'interno e tra gli elementi, fino all'incontro con la parete a tergo della struttura.
Per il riempimento degli ultimi 20 cm delle superfici che restano in vista dovrà essere impiegato terreno vegetale così da agevolare l'attecchimento della vegetazione. In corrispondenza di ciascun elemento scatolare dovranno essere impiantate almeno tre piantine di essenze arbustive, rampicanti e tappezzanti;
La struttura sarà poggiata su fondazione in calcestruzzo armato, con piano di fondazione a contatto con il terreno perfettamente orizzontale e piano di estradosso fondazione inclinato verso monte secondo le previsioni di Progetto. Se le caratteristiche meccaniche dei terreni di fondazione non

sono ottimali occorre bonificare il piano di posa con materiale idoneo costipato con rullo al fine di ottenere un modulo di deformazione pari a quello indicato nell'articolo 1.3. Nel caso che il piede della struttura dovesse seguire una pendenza longitudinale, la fondazione dovrà essere eseguita a gradoni, ciascuno di altezza pari o multipla di quella degli elementi.
Durante la realizzazione del muro si dovranno adottare tutti gli accorgimenti necessari per allontanare l'acqua eventualmente presente, in modo da poter eseguire le lavorazioni di posa in opera degli elementi prefabbricati e del terreno agrario all'interno delle vaschette in assenza di acqua.

Art. 33 Impermeabilizzazione di opere d'arte

33.1 Descrizione e campo di applicazione

Il presente articolo di capitolato si applica ai lavori di impermeabilizzazione di ponti, viadotti, cavalcavia, sottovia autostradali, stradali e pedonali sia di nuove realizzazioni che di manutenzione di opere esistenti. Sono altresì compresi i manufatti idraulici sottopassanti le viabilità stradali e autostradali.

Nello specifico, l'estradosso delle solette di opere d'arte soggette a traffico (in genere ponti, viadotti, cavalcavia) laddove sopra la struttura è posato direttamente il pacchetto di pavimentazione stradale in conglomerato bituminoso, a seconda delle indicazioni progettuali, possono essere con:

- cappa di mastice di asfalto di cui al § 33.3.1
- membrana bituminosa preformata e armata di cui al § 33.3.2

L'estradosso di solette di opere d'arte anche soggette a traffico (in genere gallerie artificiali, sottovia, sottopassi, tombini scatolari) laddove sopra la struttura è presente un rinterro o il corpo del rilevato, a seconda delle indicazioni progettuali, possono essere impermeabilizzate con:

- guaina in PVC posta in opera tra due strati di geotessile non tessuto secondo le specifiche di cui al successivo art. 34. Questa soluzione è tipica per le gallerie artificiali;
- membrana bituminosa preformata e armata di cui al § 33.3.2

Le pareti interrate dei manufatti scatolari non in falda devono essere preventivamente protette, fino al piede della fondazione, con una membrana bugnata di cui al § 33.3.4 per preservare le superfici in calcestruzzo dal contatto con l'acqua piovana. Tale sistema di protezione può essere anche accompagnato con un tubo drenante al piede laddove si possano registrare situazioni di forte apporto di acqua piovana.

Le varie tipologie di impermeabilizzazione indicate al § 33.4 si applicano in tutti quei casi non ricompresi in precedenza (estradosso di solette di opere d'arte pavimentate direttamente in conglomerato bituminoso, con rinterro o con presenza del corpo del rilevato, gallerie artificiali, sottovia, sottopassi, tombini scatolari).

33.2 Normativa di riferimento

- UNI EN 12970: Mastice d'asfalto per impermeabilizzazione - Definizioni, requisiti e metodi di prova
- UNI EN 14023: Bitumi e leganti bituminosi - Quadro delle specifiche riguardanti i bitumi modificati da polimeri
- UNI/TR 11478: Bitumi e leganti bituminosi - Gradazioni di bitume modificato di maggiore utilizzo in Italia
- UNI EN 13808: Bitumi e leganti bituminosi – Quadro di riferimento delle specifiche per le emulsioni cationiche bituminose
- UNI/TR 11362: Bitumi e leganti bituminosi - Linee Guida delle specifiche per emulsioni bituminose cationiche di maggior utilizzo in Italia
- UNI EN 13043: Aggregati per miscele bituminose e trattamenti superficiali per strade, aeroporti e altre aree soggette a traffico
- UNI EN 14695: Membrane flessibili per impermeabilizzazione - Membrane bituminose armate per l'impermeabilizzazione di impalcati di ponte di calcestruzzo e altre superfici di calcestruzzo soggette a traffico - Definizioni e caratteristiche
- UNI EN 13707: Membrane flessibili per impermeabilizzazione - Membrane bituminose armate per l'impermeabilizzazione di coperture - Definizioni e caratteristiche

- UNI EN 13249: Geotessili e prodotti affini - Caratteristiche richieste per l'impiego nella costruzione di strade e di altre aree soggette a traffico (escluse ferrovie e l'inclusione in conglomerati bituminosi)
- ETAG 005: GUIDELINE FOR EUROPEAN TECHNICAL APPROVAL OF LIQUID APPLIED ROOF WATERPROOFING KITS: Linea Guida per il Benestare/Valutazione Tecnico Europeo (ETA) dei Sistemi Impermeabilizzanti ottenuti con sistemi liquidi
- EAD 030350-00-0402: Sistemi di impermeabilizzazione di tetti in forma liquida
- UNI EN 1504-2: Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Definizioni, requisiti, controllo di qualità e valutazione della conformità - Parte 2: Sistemi di protezione della superficie di calcestruzzo

33.3 Criteri di accettazione dei materiali di impermeabilizzazione di opere d'arte

Laddove il progetto, il contratto o i documenti di gara prevedano l'utilizzo di materiali riciclati, questi dovranno rispettare i requisiti definiti in detti documenti e le prescrizioni specifiche contenute in questo articolo di capitolato. L'impresa è tenuta a dimostrare, attraverso gli opportuni controlli in fase di esecuzione, il rispetto dei suddetti requisiti.
In generale, a parità di caratteristiche tecniche, si dovrà preferire prodotti più sostenibili dal punto di vista ambientale (ad es. biodegradabilità).

33.3.1 Cappa di mastice di asfalto

Per mastice di asfalto si intende una massa densa formata da scaglie e/o sabbia e/o inerte fine di calcare e/o filler e bitume che possono contenere additivi. L'inerte minerale è composto in modo da essere a basso contenuto di porosità. Il contenuto di legante è regolato rispetto al contenuto poroso dell'inerte minerale in modo da riempire i pori e lasciare una leggera eccedenza di legante disponibile. Il mastice di asfalto è colabile e in grado di essere applicato a caldo e non richiede alcuna compattazione durante la posa.

33.3.1.1 Primer

Per consentire un migliore ancoraggio alla soletta della cappa di mastice di asfalto è prevista la stesa di un'idonea emulsione bituminosa in ragione di 0,5-0,7 kg/m^2 in uno strato uniforme e regolare.
Il primer deve essere qualificato in conformità al regolamento UE 305/2011 sui prodotti da costruzione e ciascuna fornitura deve essere accompagnata dalla Dichiarazione di Prestazione (DoP) e dalla marcatura CE, attestanti la conformità all'allegato ZA della norma europea armonizzata UNI EN 13808 con sistema di attestazione di conformità di tipo 2+.
I principali requisiti tecnici che tali leganti devono rispettare sono definiti nella citata UNI EN 13808 e nella UNI/TR 11362 e sono riportati nella seguente tabella.

Caratteristiche	Unità	Metodo di prova	Valore
Contenuto di legante	%	UNI EN 1428	63-67
Indice di rottura	-	UNI EN 13075-1	da 70 a 155 (classe 3)
Miscelazione con cemento	G	UNI EN 12848	-
Sedimentazione (7 giorni di stoccaggio)	%	UNI EN 12847	≤ 10 (classe 3)
CARATTERISTICHE DEL BITUME RESIDUO (UNI EN 13074-1)			
Penetrazione a 25 °C	0.1 mm	UNI EN 1426	≤ 100
Punto di rammollimento	°C	UNI EN 1427	≥ 50
Ritorno elastico a 25 °C	%	UNI EN 13398	≥ 50
Energia di coesione con "force ductility" a 10 °C	J/cm^2	UNI EN 13587 UNI EN 13703	≥ 1

La DL, a suo insindacabile giudizio, si riserva la facoltà di autorizzare l'impiego di emulsioni bituminose cationiche modificate caratterizzate da un contenuto di legante diverso da quello riportato nella tabella sopra, a condizione che siano rispettati sia il dosaggio finale richiesto per la specifica lavorazione che le caratteristiche del bitume residuo.

33.3.1.2 Legante

Previo idoneo primer compatibile con il legante utilizzato, dovrà essere costituito da una miscela di bitume 40-50 e Trinidad Epureè in rapporto di 5 a 1 in peso. In alternativa potranno essere usati, previa approvazione della Direzione Lavori, altri bitumi naturali, quali il Selenitza o gomme termoplastiche, del tipo E le cui caratteristiche sono riportate nelle presenti Norme (pavimentazioni in conglomerato bituminoso). I dosaggi di questi materiali saranno definiti da uno studio preliminare da presentare alla Direzione Lavori per la necessaria approvazione. Il legante sarà dosato in ragione del 15-19% in peso sulla miscela degli inerti (corrispondenti al 13-16% in peso sulla miscela finale), compreso il bitume contenuto nel Filler asfaltico. Il bitume 40-50 dovrà avere un indice di penetrazione (IP) compreso tra -0,5 e +0,5 calcolato secondo la formula:

$$\mathrm{IP} = \frac{20u - 500v}{u + 50v}$$

dove:

- v = log 800 - log penetrazione a 298 K
- u = temperatura di P.e.A in K detratti 298 K

33.3.1.3 Aggregato filler e aggregato fine

Gli aggregati devono essere qualificati in conformità al regolamento UE 305/2011 sui prodotti da costruzione e ciascuna fornitura deve essere accompagnata dalla Dichiarazione di Prestazione (DoP) e dalla marcatura CE, attestanti la conformità all'allegato ZA della norma europea armonizzata UNI EN 13043 con sistema di attestazione di conformità di tipo 2+.

L'aggregato filler proveniente dalla macinazione di rocce preferibilmente calcaree o costituito da cemento, calce idrata, calce idraulica, polvere di asfalto, ceneri volanti, rocce sintetiche o artificiali, deve avere una granulometria (UNI EN 933-10) tale da soddisfare i seguenti requisiti:

- Setaccio UNI 2 - Passante in peso 100%
- Setaccio UNI 0.125 - Passante in peso compreso 85÷100 %
- Setaccio UNI 0.063 - Passante in peso compreso 70÷100 %

L'indice di plasticità (UNI CEN ISO/TS17892-12) deve risultare non plastico (NP). Il potere stabilizzante del filler, in accordo alla norma UNI EN 13043, potrà essere tale che la miscela bitume/filler, nel rapporto in peso di 1 a 2, dovrà avere un incremento del punto di rammollimento, rispetto a quello del bitume puro, pari almeno a 15°C.

L'aggregato fine deve essere totalmente passante al setaccio 4 mm, pulito ed esente da materiali estranei, naturale e/o di frantumazione, di granulometria ben gradata (saranno tollerati al massimo un trattenuto del 2% in peso al setaccio 4 mm e un 5% in peso passante al setaccio 0,063 mm UNI), contenuta per il 65-70% in peso sulla miscela finale di aggregati. L'equivalente in sabbia SE (UNI EN 933-8) dovrà essere comunque $\geq$ 60%.

33.3.1.4 Miscela

La cappa di mastice di asfalto posta in opera deve essere costituita da uno strato continuo ed uniforme di mastice di asfalto su tutta la superficie, con spessore minimo di 10 mm e massimo di 14 mm.
La parte lapidea della miscela (aggregato fine + filler) deve avere una percentuale di vuoti intergranulari "v" (UNI EN 1097-3) compresa tra il 18 ed il 23%. Così come prescritto dalla norma UNI EN 12970, il contenuto di legante totale è dosato tenendo conto dei vuoti intergranulari dell'aggregato minerale in modo da saturare completamente i pori e lasciare una leggera eccedenza di legante disponibile, che può essere compresa tra il 7 e il 10% (cioè, detta "Vb" la percentuale in volume del legante sulla miscela finale, deve risultare Vb÷v = 7÷10%).
Il mastice completo, confezionato in laboratorio nel rispetto delle norme sopra esposte, deve avere un punto di rammollimento, determinato in accordo alla prova Wilhelmi (norma DIN 1996-15), compreso tra 100 e 115 °C. Alla stessa prova, il mastice prelevato al confezionamento o alla stesa può presentare valori compresi tra 100 e 130 °C.

33.3.1.5 Modalità di preparazione della miscela

La confezione del mastice di asfalto deve essere eseguita con idonei impianti di mescolamento fissi o mobili, approvati dalla DL, di potenzialità adeguata all'entità del lavoro da eseguire.
Si prescrive che il dosaggio del legante, del filler e delle sabbie debba essere fatto tassativamente in peso.
Per ottenere degli impasti perfettamente omogenei, potrà essere seguita una delle seguenti procedure, a seconda del tipo di impianto a disposizione:
Procedura 1

a. Pre-miscelazione degli aggregati, compreso il filler, a temperatura di 210-230 °C.
b. Aggiunta del bitume nella corretta percentuale, preventivamente portato alla temperatura di 150-160 °C.
c. Mescolazione dell'impasto nella miscelatrice riscaldata alla temperatura di 200- 210 °C, al fine di ottenere un'ottima miscelazione del bitume col filler.

Procedura 2

a. Introduzione nella miscelatrice riscaldata del filler e del bitume, dosati separatamente a peso e miscelazione alla temperatura di 200 °C fino ad ottenere un'ottima miscelazione del bitume con il filler.
b. Aggiunta delle sabbie preventivamente asciugate e riscaldate e mescolamento a temperatura di 200-210 °C, fino ad ottenere un impasto perfettamente omogeneo ed uniforme.

La scelta della più idonea procedura di messa in opera deve essere sottoposta alla preventiva autorizzazione della DL. In ogni caso, occorre che le apparecchiature di riscaldamento siano tali da evitare il contatto diretto di fiamme o gas caldi con i bitumi ed il filler, per non dar luogo ad eccessivi indurimenti o bruciature dei medesimi. Qualora il confezionamento non venga fatto sul luogo della stesa, il trasporto del mastice deve essere effettuato con miscelatrice riscaldata mobili (bonze), munite anch'esse di agitatore meccanico ed apposito impianto di riscaldamento.

33.3.2 Membrane bituminose preformate e armate

33.3.2.1 Primer

Per consentire un migliore ancoraggio alla soletta della membrana è prevista la stesa di un idoneo primer in ragione di 0,15-0,20 kg/m^2 in uno strato uniforme e regolare.
Il primer è costituito da una miscela di bitume e solventi, in grado di migliorare l'aderenza delle membrane e dei prodotti di impermeabilizzazione a base di bitume su supporti porosi o assorbenti.
I requisiti tecnici che il primer deve rispettare sono riportati nella seguente tabella.

Caratteristiche	Unità	Metodo di prova	Valore
Densità	g/cm^3	UNI EN ISO 2811-1	0.9 - 1.1
Residuo secco a 130 °C	%	UNI EN ISO 3251	50 - 60
Viscosità (tempo di efflusso in tazza da 4 mm di diametro)	secondi	UNI EN ISO 243	15 - 35

33.3.2.2 Membrana

Le membrane per l'impermeabilizzazione delle opere d'arte sono costituite da una mescola di legante specificatamente formulato, armate con tessuto non tessuto in poliestere a filo continuo ad alta grammatura fornite in rotoli pronte per l'impiego. La membrana deve essere qualificata in conformità al regolamento UE 305/2011 sui prodotti da costruzione e ciascuna fornitura deve essere accompagnata dalla Dichiarazione di Prestazione (DoP) e dalla marcatura CE, attestanti la conformità all'allegato ZA alla norma europea armonizzata di riferimento UNI EN 14695 con sistema di attestazione di conformità di tipo 2+. Nel caso in cui la membrana bituminosa non sia da installare in totale aderenza sotto a conglomerati bituminosi di pavimentazioni stradali di cui all'art. 31 di questo capitolato, è possibile riferirsi alla norma di marcatura CE UNI EN 13707 sempre con sistema di attestazione di conformità di tipo 2+, Le caratteristiche della membrana devono rispettare le prescrizioni riportate nella seguente tabella.

Caratteristiche	Unità	Metodo di prova	Valore
Spessore	mm	UNI EN 1849-1	5
Resistenza a trazione (long./trasv.)	N/5 cm	UNI EN 12311-1	1200/1000 (L/T) N/50mm.
Allungamento a rottura (long./trasv.)	%	UNI EN 12311-1	50/50
Stabilità dimensionale a temperature elevate	%	UNI EN 1107-1	≤ 0.3
Resistenza alla lacerazione (long./trasv.)	N	UNI EN 12310-1	250/250
Resistenza all'urto (o punzonamento dinamico)	mm	UNI EN 12691(A)	≥ 1500
Resistenza al punzonamento statico	Kg	UNI EN 12730 (B)	≥ 25
Resistenza allo scorrimento alle alte temperature	°C	UNI EN 1110	≥ 140
Flessibilità alle basse temperature	°C	UNI EN 1109	≤ -15
Tenuta all'acqua (impermeabilità dinamica a 500 kPa)	-	UNI EN 14694	Passa (tenuta stagna)
Compatibilità per condizionamento termico	%	UNI EN 14691	≥ 80
Resistenza dell'aderenza	N/mm^2	UNI EN 13596	≥ 0.4
Resistenza al taglio	N/mm^2	UNI EN 13653	≥ 0.2
Resistenza alla compattazione di uno strato di conglomerato bituminoso	-	UNI EN 14692	Supera la prova
Resistenza alla fessurazione	°C	UNI EN 14224	≤ -10
Assorbimento d'acqua	%	UNI EN 14223	≤ 1.5

33.3.3 Membrane impermeabilizzanti ottenute con sistemi liquidi per risvolti verticali dei cordoli e geometrie complesse

Qualora il sistema di impermeabilizzazione realizzato con membrana prefabbricata nei risvolti verticali o in presenza di geometrie complesse non sia praticabile, è possibile utilizzare una membrana impermeabile ottenuta dall'applicazione di miscele liquide mono o bi-componenti a base di polimetilmetacrilato (PMMA), elastomerica o poliuretanica.

L'impermeabilizzazione deve essere protetta con tessuto non tessuto da 200 g/m^2 e ciascuna fornitura deve essere accompagnata dalla Dichiarazione di Prestazione (DoP) e dalla marcatura CE, attestanti la conformità all'allegato ZA alla norma europea armonizzata di riferimento UNI EN 13249 con sistema di attestazione di conformità di tipo 2+. Il TNT deve avere le seguenti caratteristiche:

Caratteristiche	Unità	Metodo di prova	Valore
Massa areica	g/m^2	UNI EN ISO 9864	200

Resistenza a trazione longitudinale MD	kN/m	UNI EN ISO 10319	≥ 4
Resistenza a trazione trasversale CMD	kN/m	UNI EN ISO 10319	≥ 4
Allungamento a carico max longitudinale MD	%	UNI EN ISO 10319	≥ 50
Allungamento a carico max trasversale CMD	%	UNI EN ISO 10319	≥ 50

Le caratteristiche dell'impermeabilizzazione devono invece essere le seguenti:

Caratteristiche	Requisito minimo	Metodo di prova
Spessore (mm)	≥2.0 mm (*)	EN 1849 - 2
Adesione al calcestruzzo – dopo 28 gg a +20°C e 50% U.R.: senza traffico con traffico	 ≥ 0,8 N/mm^2 ≥ 1,5 N/mm^2	EN 1542
Assorbimento capillare e permeabilità all'acqua	< 0,1 kg/m^2 h^{0,5}	EN 1062-3
Resistenza all'abrasione	Perdita di peso < 3000 mg	UNI EN ISO 5470/1 (carico 1000 g mola H22/1000 cicli)
Resistenza alla penetrazione delle radici (se pertinente)	Nessuna penetrazione	UNI CEN/TC 14416
(*) Lo spessore può variare, a seconda del tipo di prodotto scelto, in funzione del soddisfacimento delle caratteristiche richieste		

Il prodotto utilizzato deve possedere marcatura CE in riferimento ad una norma europea armonizzata tipo UNI EN 1504-2 specifica per la protezione del calcestruzzo o in riferimento ad una ETA (Valutazione Tecnica Europea o European Technical Assessment) rilasciata sulla base di un EAD (Documento di Valutazione Europea o European Assessment Document). A titolo esemplificativo, si cita la norma ETAG 005: GUIDELINE FOR EUROPEAN TECHNICAL APPROVAL OF LIQUID APPLIED ROOF WATERPROOFING KITS: Linea Guida per il Benestare/Valutazione Tecnico Europeo (ETA) dei Sistemi Impermeabilizzanti ottenuti con sistemi liquidi che è stata sostituita dopo l'entrata in vigore del Regolamento UE n. 305 del 2011 dalla norma EAD 030350-00-0402 Sistemi di impermeabilizzazione di tetti in forma liquida.

L'Appaltatore deve indicare in qualifica le condizioni climatiche limite di applicazione e le migliori modalità di posa.

33.3.4 Membrana bugnata in polietilene ad alta densità

Le pareti verticali dei manufatti scatolari interrati (non sopra le solette), salvo diverse indicazioni progettuali, sono da proteggere con una membrana bugnata in polietilene ad alta densità (HDPE) delle caratteristiche di cui alla seguente tabella.

Caratteristiche	Unità	Metodo di prova	Valore
Massa areica	g/m^2	UNI EN ISO 9864	≥ 400
Altezza delle bugne	mm		≥ 7
Numero delle bugne a mq	n/mq		≥ 1500
Resistenza a compressione della superficie	kPa	UNI EN 12730	≥ 200
Forza a trazione massima	N/50mm	UNI EN 12311	≥ 250
Allungamento a carico max	%	UNI EN 12311	≥ 20

33.4 Criteri di accettazione dei materiali di impermeabilizzazione per applicazioni diverse rispetto a quelle del § 33.3

33.4.1 Manto con membrana elastica continua in materiale epossipoliuretanico spruzzato in opera

33.4.1.1 Primer di adesione

Il primer di adesione dovrà essere costituito da base epossidica ed induritore poliamminoalifatico con solventi, per un residuo secco non inferiore al 60% in peso.

33.4.1.2 Membrana impermeabilizzante sintetica elastica continua spruzzata in opera

La membrana impermeabilizzante elastica continua dovrà essere costituita da un copolimero epossipoliuretanico con presenza attiva di un terzo polimero elastomerico. Il prodotto deve polimerizzare entro le 24 h dal termine della stesa alle condizioni di temperatura T > 20 °C ed UR 65% ± 5%. Il materiale applicato dovrà, a polimerizzazione avvenuta, avere le seguenti caratteristiche chimico-fisiche salvo diversa prescrizione progettuale:
- Densità relativa (riferita al prodotto A+B polimerizzato): 1,15 ± 0,05 kg/dm²
- Durezza superficiale: 90 ± 5 Shore "A"
- Resistenza a sollecitazione per trazione: minimo 6 MPa (UNI EN 12311)
- Allungamento percentuale a trazione: minimo 80% (UNI EN 12311)
- Elasticità: massimo 15% (verificata come deformazione residua a trazione) (UNI EN 12311)
- Resistenza alle basse temperature: integrità per avvolgimento su mandrino cilindrico fino a T= - 20 °C (UNI EN 495-5 e UNI EN 1109)
- Adesione al supporto cementizio: minimo 3 MPa e per valori inferiori purché risulti una rottura coesiva del supporto (riferito alla superficie di prova) almeno pari al 60% della superficie (ASTM 2197-68).

33.4.1.3 Mano d'attacco per collegamento della membrana con la pavimentazione

La mano d'attacco tra membrana e pavimentazione dovrà essere costituita da un bitume modificato con polimeri SBS-R da spruzzare a caldo (T> 180 °C) in ragione di circa 0,8 kg/m² e le cui caratteristiche sono riportate nelle presenti Norme (pavimentazioni in conglomerato bituminoso) salvo diverse disposizioni progettuali.

33.4.1.4 Modalità di applicazione

Si provvederà, al fine di garantire una perfetta adesione tra membrana e supporto, alla stesa del "primer" applicato mediante spruzzo "airless" e con adeguata apparecchiatura, in quantità comprese tra 0,20 e 0,25 kg/m².
Tale stesa si dovrà estendere a tutta la superficie interna dei cordoli ed anche sulla superficie orizzontale degli stessi, qualora essi non siano già stati protetti con guaine bituminose per effettuare il montaggio dei parapetti New Jersey prima dell'impermeabilizzazione dell'impalcato.
Sulla superficie così pretrattata si dovrà procedere all'applicazione della membrana epossipoliuretanica elastomerica mediante idonee apparecchiature automontate ed automatiche che garantiscano, oltre che potenzialità di lavoro adeguata, il controllo dei quantitativi di stesa.
L'impermeabilizzazione deve essere continua ed omogenea su tutta la superficie superiore dell'impalcato, compresi i cordoli nella parte verticale interna, nella superficie orizzontale e con piccolo risvolto (3-5 cm) sul paramento verticale esterno.
Anche eventuali canalette per cavi devono essere integralmente rivestite come le superfici esposte dei cordoli.
La realizzazione della membrana dovrà essere fatta mediante l'applicazione di un quantitativo di prodotto medio di 3,4-3,6 kg/m² (spessore secco 3,0 mm) tale da garantire un'elevata protezione all'azione delle acque meteoriche e degli agenti aggressivi in soluzione (sali fondenti antigelo).
La sua adesione al primer non dovrà essere inferiore a quella di quest'ultimo alla soletta.
La posa in opera dell'intero ciclo impermeabilizzante non sarà effettuata quando, a giudizio della Direzione Lavori, le condizioni meteorologiche saranno tali da non garantire la perfetta riuscita del lavoro e comunque quando la temperatura esterna sia inferiore a 10 °C.

Non prima di 12 h dal termine della stesa della membrana impermeabile, nel caso di temperature > 20 °C, dovrà seguire l'accurata ed uniforme applicazione della mano di attacco e di collegamento alla pavimentazione nella quantità di 0,8 kg/m².
Detto materiale dovrà essere spruzzato anche sulla parte verticale interna dei cordoli che sarà coperta dalla pavimentazione.

33.4.2 Membrana eseguita in opera con bitume e armatura con TNT

33.4.2.1 Primer

Si rimanda ai contenuti del § 33.3.1.1.

33.4.2.2 Legante

Si rimanda ai contenuti del § 33.3.1.2.

33.4.2.3 Armatura con TNT

L'armatura è costituita da tessuto non tessuto in fibre di polipropilene o poliestere, agglomerate mediante sistema di agugliatura meccanica. Essa deve essere esente da parti di collanti o impregnati, imputrescibile e inattaccabile da muffe, batteri e roditori, garantire perfetta adesione ed impregnabilità con il legante bituminoso e non deve aver subito trattamenti di termosaldatura. Il tessuto non tessuto deve essere qualificato in conformità al regolamento UE 305/2011 sui prodotti da costruzione e ciascuna fornitura deve essere accompagnata dalla Dichiarazione di Prestazione (DoP) e dalla marcatura CE, attestanti la conformità all'allegato ZA alla norma europea armonizzata di riferimento UNI EN 13249 con sistema di attestazione di conformità di tipo 2+. Le caratteristiche del tessuto non tessuto devono rispettare le prescrizioni riportate nella seguente tabella.

Caratteristiche	Unità	Metodo di prova	Valore
Massa areica	g/m^2	UNI EN ISO 9864	200
Resistenza a trazione longitudinale MD	kN/m	UNI EN ISO 10319	≥ 4
Resistenza a trazione trasversale CMD	kN/m	UNI EN ISO 10319	≥ 4
Allungamento a carico max longitudinale MD	%	UNI EN ISO 10319	≥ 50
Allungamento a carico max trasversale CMD	%	UNI EN ISO 10319	≥ 50

33.4.3 Manto con fogli di PVC o di gomma sintetica

L'impermeabilizzazione è costituita da fogli in PVC o in gomma sintetica, come da scelte progettuali, dello spessore di 1,2÷1,3 mm, posti in opera con giunti sovrapposti per almeno 10 cm e saldati ad aria calda o mediante solvente.
Le operazioni di saldatura dovranno essere realizzate in tre fasi: puntatura dei teli; formazione di un primo cordone di saldatura; saldatura definitiva a tenuta idraulica ottenuta mediante un secondo cordone di saldatura.
I fogli in PVC (cloruro di polivinile), plastificato e stabilizzato ai raggi ultravioletti, saranno armati con tessuto in poliestere o fibra di vetro.
I fogli in gomma sintetica (Hypalon), da porre in opera, previa impregnazione del sottofondo con appositi adesivi, dovranno essere accoppiati con un feltro in fibra sintetica dello spessore di 0,4 mm.
I manti dovranno essere risvoltati, fissandoli sul coronamento perimetrale con profilati estrusi in alluminio di adeguata sezione e sagomati per farli aderire alla struttura sottostante; l'acqua meteorica sarà convogliata ai pluviali mediante pezzi speciali saldati e muniti di griglie parafoglie; particolare cura dovrà essere posta nella realizzazione dei raccordi con le strutture emergenti dal manto (lucernari, canne fumarie ecc.) utilizzando opportuni collari.

33.4.4 Manto con fogli di PVC e coibentazione in pannelli di poliuretano espanso

Il manto è costituito da un primo strato di tessuto non tessuto del peso di 300 g/m²; una barriera antivapore in poliestere di spessore > 0,5 mm; un secondo strato di tessuto non tessuto del peso di 300 g/m²; uno strato coibente dello spessore complessivo di 50 mm a doppio ordine di pannelli rigidi di poliuretano espanso della densità di 35 kg/m³ posti in opera a giunti sfalsati; uno strato impermeabile in PVC dello spessore di 1,5 mm, rinforzato con tessuto in poliestere o velo in fibra di vetro e stabilizzato ai raggi UV.

33.4.5 Manto con cartonfeltro bitumato

L'impermeabilizzazione è costituita da due strati di cartonfeltro bitumato ricoperto a doppio bagno, del peso cadauno non inferiore a 1,2 kg/m², alternati con tre spalmature di bitume ad alto punto di fusione, dato a caldo, in ragione di 1,2 kg/m² per ogni spalmatura. Il peso complessivo dell'impermeabilizzazione dovrà risultare mediamente di 6 kg/m².
Quando il manto è posto al piede di murature e/o tramezzi dovrà avere una larghezza eccedente almeno 10 cm per parte il loro spessore.

33.4.6 Barriera antivapore

La barriera antivapore sarà ottenuta mediante fogli di polietilene dello spessore > 0,5 mm; avrà giunti sovrapposti per almeno 10 cm che saranno sigillati con nastro biadesivo o sistemi equivalenti.

33.4.7 Impermeabilizzazioni vasche

Le impermeabilizzazioni del fondo e delle pareti interne delle vasche in c.a. di accumulo dell'acqua possono essere realizzate con applicazione di vernice monocomponente a base di clorocaucciù data in tre mani per uno spessore complessivo non inferiore a 0,3 mm, previa preparazione del fondo effettuata mediante sabbiatura e stuccatura delle eventuali lesioni o cavillature.

33.5 Documenti di prequalifica

L'Appaltatore deve trasmettere al Direttore dei Lavori per approvazione almeno 15 giorni prima dell'inizio delle attività, la documentazione di seguito elencata (dossier di pre-qualifiica):

- "Procedura di lavoro", prevista all'art. CG.01.01 della sezione "Condizioni Generali" del presente Capitolato Speciale:
- Marcatura CE, DoP e scheda tecnica laddove la DoP non riporti uno specifico requisito richiesto l'Appaltatore deve allegare anche un certificato eseguito da un Laboratorio Ufficiale a dimostrazione della conformità del prodotto che intende proporre.
- La certificazione del sistema di controllo della produzione (FPC) e il Certificato UNI EN ISO 9001 del sistema di gestione qualità delle società produttrici dei materiali;
- Per la cappa di mastice di asfalto lo studio tecnologico della miscela e le specifiche dell'impianto di mescolamento nel rispetto dei contenuti di cui al § 33.3.1 e seguenti. Occorre altresì indicare con le condizioni climatiche limite di utilizzo, le modalità e la temperatura di posa della miscela;

I requisiti d'accettazione potranno inoltre essere accertati con ulteriori prove a cura della Direzione Lavori sia in fase di prequalifica presso il fornitore (controllo non vincolante per l'autorizzazione), sia

in corso d'opera, prelevando il materiale in sito o ancora presso il fornitore, prima e dopo avere effettuato le lavorazioni.
La mancata presentazione della documentazione preliminare comporta la non autorizzazione all'inizio dell'esecuzione dei lavori, né saranno accettate eventuali lavorazioni svolte prima dell'approvazione delle modalità esecutive.

33.6 Modalità esecutive

In tutte le fasi esecutive, comprese le fasi di preparazione e di sistemazione finale delle aree, per gli aspetti e le problematiche relative a temi ambientali, quali impatti acustici e vibrazionali, emissioni in atmosfera, impatto sulle acque superficiali, sotterranee e sul suolo, impatti sulla componente fauna e vegetazione, si rimanda integralmente a quanto prescritto dalla Normativa Nazionale e Regionale vigente, alle prescrizioni degli Enti preposti alla tutela ambientale, nonché alle condizioni ambientali contenute nelle autorizzazioni ed alle disposizioni del Capitolato Ambientale allegato al progetto esecutivo.

In particolare, l'Impresa dovrà adottare tutti i sistemi e le precauzioni per evitare la caduta di materiali dalle opere d'arte oggetto di lavorazione, sia in presenza di aree antropizzate sia in presenza di aree naturali e corsi d'acqua.

33.6.1 Generalità e preparazione delle superfici

Particolare cura deve essere dedicata alla preparazione delle superfici da impermeabilizzare che devono risultare non danneggiate, regolari, perfettamente asciutte e pulite, esenti da oli, grassi, polveri, prive di residui di boiacca o di malta cementizia o di prodotti disarmanti.
Quanto sopra si applica anche ai lavori di manutenzione dopo la demolizione del pacchetto di conglomerato e rimozione della vecchia impermeabilizzazione effettuata con idonee attrezzature. Eventuali punti singolari devono essere stuccati e sigillati con idonee malte o stucchi epossidici, preservando e/o ripristinando pendenze adeguate per un regolare sgrondo delle acque. A questo fine, la superficie deve essere sabbiata e/o bocciardata (potenza non inferiore a 80 CV), anche quando siano stati eseguiti precedenti interventi di ripristino con l'impiego di betoncini o calcestruzzi reoplastici a ritiro compensato. A questi interventi preparatori deve seguire un'accurata pulizia delle superfici interessate anche mediante idrolavaggi con pressione almeno pari a 50 bar (preferibilmente in periodi caldi o asciutti) e conseguente energica soffiatura con aria compressa. Per la corretta gestione delle acque reflue derivanti dalla lavorazione, si rimanda alle disposizioni del Capitolato Ambientale.
Le superfici da impermeabilizzare devono essere lisce, coerenti, esenti da asperità o avvallamenti. In tal senso, devono essere garantiti valori di planarità $\leq$ 10 mm a 2 m, $\leq$ 3 mm a 0,2 m e di rugosità e dislivello ≤ 3 mm.
L'impermeabilizzazione deve essere eseguita con la massima accuratezza, specialmente in prossimità di fori, passaggi, canne, ecc. Il convogliamento delle acque meteoriche ai pluviali deve essere assicurato mediante idonei pezzi speciali muniti di griglia parafoglie e fissati al manto impermeabile a livello della soletta in calcestruzzo, mediante l'impiego di stucchi. L'impermeabilizzazione deve interessare anche le zone dei bocchettoni di scarico delle acque superficiali, ricoprendoli nell'area dei risvolti, evitando di danneggiare le attrezzature di smaltimento preesistenti e/o ricostruite. I fori destinati ad accogliere i bocchettoni di scarico dovranno presentare un incavo profondo 1,5 ÷2 cm per evitare che lo spessore della flangia del bocchettone e degli strati impermeabilizzanti determinino un rialzo attorno al foro con conseguente ristagno d'acqua.

I bocchettoni in corrispondenza dei fori di scarico per i pluviali devono essere fissati a livello della soletta in calcestruzzo con stucchi epossidici e l'impermeabilizzazione deve giungere fino al bordo del foro, coprendo così i risvolti del bocchettone stesso.
Le riprese di lavoro devono essere ridotte al minimo, salvo le esigenze particolari; in ogni caso deve essere assicurata una perfetta adesione tra le lavorazioni realizzate in tempi differenti. Il manto deve essere transitabile dal normale traffico di cantiere (escluso quello cingolato), senza distacchi e perforazioni.
Gli strati sovrastanti l'impermeabilizzazione devono essere eseguite dopo la perfetta maturazione degli strati impermeabili di cui al presente articolo di capitolato.
Il manto finale deve avere una resistenza meccanica tale che, se sottoposta al transito temporaneo degli automezzi gommati di cantiere, non si verifichino schiacciamenti, fessurazioni o abrasioni sul manto
Non sono accettabili condizioni dell'impalcato impermeabilizzato con presenza di irregolarità o soffiature del manto che dovranno essere risolte a cura ed onere dell'Appaltatore.

33.6.2 Manto con cappa di mastice di asfalto

La miscela posta in opera deve essere costituita da uno strato continuo ed uniforme di mastice di asfalto su tutta la superficie, con spessore minimo di 10 mm e massimo di 14 mm.
Dopo aver preparato le superfici da impermeabilizzare in conformità a quanto descritto al paragrafo §33.6.1 si procede con la stesa di un'idonea emulsione bituminosa (§33.3.1.1), in ragione di 0,5-0,7 kg/m^2, in modo da consentire un migliore ancoraggio alla soletta. Al di sopra dell'emulsione o dell'eventuale primer, dopo l'evaporazione dell'acqua o del solvente, deve essere posto in opera il mastice di asfalto mediante colamento del materiale a temperatura di 200 °C (± 10 °C) o a quella approvata in fase di qualifica; la sua distribuzione e il livellamento saranno eseguiti con fratazzi di legno.
Per stese di una certa estensione l'applicazione può essere eseguita a macchina con finitrici specificatamente studiate ed attrezzate, sottoposte a preventiva approvazione della DL. La posa in opera del mastice non può essere effettuata quando le condizioni metereologiche generali possono compromettere la perfetta riuscita del lavoro come, ad esempio, quando la temperatura dell'aria è inferiore a 8 °C, in presenza di pioggia, di superficie di stesa bagnata oppure a causa di eccessiva umidità.
Il mastice d'asfalto deve essere steso, per quanto possibile, con uno spessore costante, per cui tutte le irregolarità della soletta che si riproducono sulla cappa impermeabilizzante, devono essere eliminate. Dopo il completamento dell'impermeabilizzazione, a discrezione della DL, si può procedere ad una risagomatura della soletta mediante stesa di un sottile strato di conglomerato bituminoso realizzato con aggregati calcarei di granulometria appropriata. Successivamente, si può procedere con la stesa della pavimentazione definitiva.

33.6.3 Membrane bituminose preformate e armate

Dopo aver preparato le superfici da impermeabilizzare in conformità a quanto descritto al paragrafo §33.6.1 si procede con la verifica dell'asciugatura della superficie di posa in calcestruzzo che deve avere almeno due settimane di stagionatura e si deve presentare asciutta al tatto. In ogni caso, prima di procedere alla posa dell'impermeabilizzazione, l'impresa è tenuta a verificare l'effettiva asciugatura del supporto mediante il seguente metodo:

- posa a secco di un pezzo di membrana bituminosa (dimensioni minime 50 × 50 cm) sul supporto per un'intera notte (in assenza di precipitazioni)

- procedere, la mattina successiva, alla verifica che la faccia inferiore della membrana bituminosa sia asciutta; in tal caso si può procedere con le opere di impermeabilizzazione. Per contro, la presenza di umidità sulla faccia inferiore della membrana denota una asciugatura non completa del supporto e comporta un'ulteriore attesa in vista di una nuova verifica.

Prima di procedere alla posa della membrana si deve stendere sul supporto un primer di impregnazione in ragione di 150-200 gr/m^2, in uno strato uniforme e regolare. In caso di pioggia, il lavoro deve essere interrotto e ripreso dopo aver nuovamente verificato l'asciugatura della superficie nella modalità sopra descritta.
Dopo la completa evaporazione del solvente contenuto nel primer (dalle 3 alle 24 ore, in funzione delle condizioni climatiche e del supporto), si può procedere a una preliminare disposizione dei teli. Prima della posa, infatti, i rotoli vanno stesi, allineati per predisporne le sovrapposizioni e poi riavvolti per procedere successivamente con la messa in opera a fiamma. Le sovrapposizioni longitudinali dovranno essere di almeno 10cm e quelle di testa di almeno 15cm. La fiamma deve essere usata contemporaneamente sulla membrana e sul supporto di posa, con prevalenza sul rotolo. Man mano che si procede con il riscaldamento, la faccia inferiore della membrana si scurisce fino ad assumere un aspetto lucido; a questo punto la membrana è pronta per essere svolta e fatta aderire al supporto. La messa in opera della membrana può anche essere di tipo meccanico, ovvero utilizzando un sistema di posa semi-automatico.
In ogni caso i dettagli di raccordo con i risvolti verticali dei cordoli (§ 33.6.4) dovranno essere realizzati manualmente.
I sormonti laterali sono le giunzioni che si trovano in direzione longitudinale. I fogli della membrana devono sempre essere saldati con bruciatore di sicurezza per una larghezza almeno pari a 10 cm ed essere pressati con un rullo di circa 15 kg, che garantisca la continuità della saldatura.
Durante tale lavorazione, la quantità di legante che fuoriesce dal giunto di sormonto può essere smussato con la punta della cazzuola scaldata.
I sormonti di testa si riferiscono alle giunzioni in direzione ortogonale. Tali giunzioni non devono mai essere disposte lungo un'unica linea, ma devono essere sempre alternate. I teli devono inoltre prevedere i sormonti a "favore d'acqua" o a "tegola"; devono cioè essere sovrapposti partendo sempre dagli scarichi o dagli impluvi. Così come i sormonti laterali, anche quelli di testa sono da realizzare con attenzione. In direzione trasversale, i fogli della membrana devono sempre essere saldati con bruciatore di sicurezza per una larghezza almeno pari a 15 cm ed essere pressati con un rullo di circa 15 kg, che garantisca la continuità della saldatura. Durante tale lavorazione, la quantità di legante che fuoriesce dal giunto di sormonto può essere smussato con la punta della cazzuola scaldata.

33.6.4 Impermeabilizzazione dei risvolti dei cordoli

I risvolti verticali dell'impermeabilizzazione devono essere realizzati con materiali a freddo di tipo liquido di cui al § 33.3.3) o con altri prodotti equivalenti preventivamente autorizzati ad insindacabile giudizio della DL, in relazione a specifiche esigenze progettuali. La posa della resina prevede l'applicazione preventiva di un primer sulle superfici da trattare. Successivamente viene applicato un quantitativo idoneo (dosaggio definito dall'impresa e accettato dalla DL) di prodotto sull'area da trattare, viene posata l'armatura in tessuto non tessuto sulla resina fresca, assicurandosi che non rimangano bolle d'aria e che il tessuto sia completamento saturo. In seguito, il tessuto viene ricoperto con una seconda mano di resina.

33.6.5 Membrana bugnata in polietilene ad alta densità

La membrana bugnata deve essere srotolata con le bugne direzionate verso la parete in modo da creare una camera d'aria verticale tra muro e rivestimento. La membrana va applicata in modo tale che eventuali giunti di sovrapposizione siano posti in verticale con un sormonto almeno pari a 20 cm. I lembi di due rotoli attigui e sovrapposti devono essere poi legati con delle strisce adesive bituminose impermeabili.
Ogni 2,5 metri di altezza massima della parete contro terra da rivestire occorre fissare la membrana bugnata meccanicamente al muro con idonei fissaggi composti da rondella e tasselli ad espansione avente passo in orizzontale di un fissaggio al metro.
Laddove il progetto abbia previsto l'impermeabilizzazione delle pareti del manufatto anche con membrane bituminose preformate e armate di cui al § 33.3.2, i fissaggi della membrana bugnata non dovranno forare l'impermeabilizzazione sottostante ma essere incollati con la membrana bituminosa stessa.
L'impermeabilizzazione della soletta deve essere sempre risvoltata in parete per almeno 50 cm e sovrapporsi esternamente con la membrana bugnata. Per evitare che l'applicazione a caldo della membrana bituminosa rovini la membrana bugnata, occorre interporre delle strisce adesive bituminose impermeabili.

33.6.6 Membrana eseguita in opera con bitume e armatura con TNT

Dopo aver preparato le superfici da impermeabilizzare in conformità a quanto descritto al paragrafo §33.6.1 si procede con la stesa di una emulsione bituminosa modificata in ragione di 0,5-0,7 kg/m^2 (§33.3.2.1), in modo da consentire un migliore ancoraggio alla soletta.
Al di sopra dell'emulsione o dell'eventuale primer, dopo l'evaporazione dell'acqua o del solvente, verrà realizzata l'impermeabilizzazione seguendo le seguenti fasi:

a) spargimento con autocisterna termica, provvista di autonomo impianto di riscaldamento e barra di distribuzione automatica, dotata di strumentazione in grado di assicurare l'uniformità della stesa ed il controllo di processo in tempo reale, di bitume elastomerizzato alla temperatura di 180-190 °C in ragione di 2,5 kg/m^2 (spessore $\geq$ 2 mm);
b) applicazione sulla zona trattata dell'armatura in tessuto non tessuto, che dovrà essere sovrapposto di circa 20 cm;
c) per completare l'adesione del tessuto non tessuto al legante nonché per l'impregnazione dello stesso al tessuto si dovrà rullare la superficie con un leggero mezzo di compattazione gommato. Ad operazione conclusa il tessuto dovrà risultare perfettamente aderente al piano di posa legante;
d) spargimento con le stesse modalità di cui al punto a) di una seconda mano di bitume elastomerizzato, in ragione di 2 kg/m^2 (spessore pari a $\geq$ 2 mm);
e) spargimento uniforme di sabbia di natura calcarea o silicea, di pezzatura non superiore a 3 mm, in ragione di circa 2 kg/m^2.

La posa in opera del legante non può essere effettuata quando le condizioni metereologiche generali possono compromettere la perfetta riuscita del lavoro come, ad esempio, quando la temperatura dell'aria è inferiore a 5 °C, in presenza di pioggia, di superficie di stesa bagnata oppure a causa di eccessiva umidità. Il legante deve essere steso, per quanto possibile, con uno spessore costante, per cui tutte le irregolarità della soletta che si riproducono sulla cappa impermeabilizzante, devono essere eliminate.
Il primo strato di legante deve essere steso, previa mano di emulsione (o bitume caldo o primer), anche sulla parete interna dei cordoli, per tutta la loro altezza.

33.7 Controlli in corso d'opera

33.7.1 Controlli a carico dell'Appaltatore

L'Appaltatore è tenuto ad eseguire i seguenti controlli da trasmettere in apposito report alla Direzione Lavori al termine dell'attività di ogni WBS.

33.7.1.1 Controlli dei documenti di accompagno delle forniture all'arrivo in cantiere

L'Appaltatore deve sempre verificare la rispondenza tra le forniture in arrivo in cantiere con i documenti di progetto e della qualifica approvata dal Direttore dei Lavori. Deve inoltre verificare la presenza e coerenza dei documenti seguenti:

- Copia del Documento di trasporto DDT
- Copia della Marcatura CE, DoP ove presenti

33.7.1.2 Controlli di esecuzione dell'impermeabilizzazione

L'Appaltatore deve sempre eseguire le seguenti verifiche:

- Prima della posa dello strato di impermeabilizzazione occorre controllare che le superfici siano regolari, perfettamente asciutte e pulite
- Prima della posa dell'impermeabilizzazione occorre controllare le condizioni meteorologiche siano compatibili con indicazioni di qualifica
- Controllare che il primer di adesione sia stato applicato uniformemente su tutta la superficie da trattare
- Controllare che lo strato di impermeabilizzazione sia stato applicato uniformemente su tutta la superficie da trattare e per la cappa di mastice di asfalto occorre controllare la temperatura di posa della miscela all'atto della stesa e che lo spessore non sia inferiore a quello di progetto a mezzo di opportuni riferimenti preventivamente apposti sulla struttura. L'Appaltatore deve altresì accertarsi che l'impermeabilizzazione sia realizzata nei tempi massimi indicati nelle schede tecniche del primer di adesione
- Controllare che le sovrapposizioni e le loro saldature siano eseguite correttamente sia sul piano che nel raccordo con i cordoli che con le pareti verticali
- Controllare che i punti singolari siano eseguiti a regola d'arte

33.7.2 Prove a carico della Direzione Lavori

I seguenti controlli di accettazione in cantiere devono essere eseguiti, in contraddittorio e con l'assistenza dell'Appaltatore.

33.7.2.1 Prove sui bitumi all'impianto

Con cadenza quindicinale per miscele prodotte dallo stesso fornitore, occorre eseguire un prelievo all'impianto dei bitumi utilizzati per la cappa di asfalto per la verifica delle caratteristiche approvate in qualifica. La non rispondenza (uno o più parametri non conformi) ai suddetti requisiti comporterà l'applicazione di una penale pari 10% del costo dello strato realizzato col bitume non conforme.
Ad insindacabile giudizione del Direttore dei Lavori, se la non rispondenza (uno o più parametri non conformi) ai suddetti requisiti può compromettere l'efficacia dell'impermeabilizzazione di parti già realizzate l'Appaltatore dovrà sospendere la lavorazione e procedere a propria cura e spese, alla loro rimozione ed alla sostituzione con materiali idonei.

33.7.2.2 Prove sugli aggregati all'impianto

Ogni 10.000 mc di cappa di mastice di asfalto prodotta con lo stesso fornitore e comunque almeno un prelievo oppure con cadenza semestrale, occorre eseguire un prelievo all'impianto degli aggregati utilizzati verifica delle caratteristiche approvate in qualifica:

- granulometria (EN 933-10)
- % dei vuoti intergranulari (EN 1097-3)
- Indice di plasticità (UNI CEN ISO/TS17892-12)
- Equivalente in sabbia (EN 933-8)

La non rispondenza (uno o più parametri non conformi) ai suddetti requisiti comporterà l'applicazione di una penale pari 10% del costo dello strato realizzato con gli aggregati non conformi.
Ad insindacabile giudizione del Direttore dei Lavori, se la non rispondenza (uno o più parametri non conformi) ai suddetti requisiti può compromettere l'efficacia dell'impermeabilizzazione di parti già realizzate l'Appaltatore dovrà sospendere la lavorazione e procedere a propria cura e spese, alla loro rimozione ed alla sostituzione con materiali idonei.

33.7.2.3 Prove sulla cappa di mastice di asfalto

Con frequenza giornaliera per impianto di provenienza, indipendentemente dalle quantità posate la Direzione Lavori effettuerà dei prelievi in fase di posa per la verifica di:

- granulometria (EN 12697-2)
- contenuto di bitume (EN 12697-1);

La non rispondenza (uno o più parametri non conformi) ai suddetti requisiti comporterà l'applicazione di una penale pari 10% del costo dello strato sottoposto a prova.
Tale costo verrà determinato utilizzando la larghezza complessiva dello strato e la lunghezza della tratta messa in opera nella giornata in cui è stato steso il conglomerato sottoposto a prova.
Ad insindacabile giudizione del Direttore dei Lavori, se la non rispondenza (uno o più parametri non conformi) ai suddetti requisiti può compromettere l'efficacia dell'impermeabilizzazione di parti già realizzate l'Appaltatore dovrà sospendere la lavorazione e procedere a propria cura e spese, alla loro rimozione ed alla sostituzione con materiali idonei.

33.7.2.4 Prove di rammollimento in opera

Con frequenza giornaliera per impianto di provenienza indipendentemente dalle quantità posate la Direzione Lavori effettuerà in cantiere dei prelievi in fase di posa per la verifica del punto di rammollimento (prova Wilhelmi norma DIN 1996-15, EN 1871).
La non rispondenza (uno o più parametri non conformi) ai suddetti requisiti comporterà l'applicazione di una penale pari 10% del costo dello strato sottoposto a prova.
Ad insindacabile giudizione del Direttore dei Lavori, se la non rispondenza (uno o più parametri non conformi) ai suddetti requisiti può compromettere l'efficacia dell'impermeabilizzazione di parti già realizzate l'Appaltatore dovrà sospendere la lavorazione e procedere a propria cura e spese, alla loro rimozione ed alla sostituzione con materiali idonei.

33.7.2.5 Prove sulle mebrane bituminose preformate, bugnata HDPE, PVC, TNT, ecc

Ogni tipologia di prodotto utilizzato nelle impermeabilizzazioni proveniente dal mercato sarà sottoposta alla verifica delle proprietà indicate nei criteri di accettazione con frequenza pari a 1 prelievo per tipo ogni 5.000 m² o frazione (in genere è sufficiente verificare la resistenza a trazione, l'allungamento a rottura, la resistenza al punzonamento statico, l'assorbimento d'acqua).
La non rispondenza (uno o più parametri non conformi) ai suddetti requisiti comporterà l'applicazione di una penale pari 10% del costo dello strato sottoposto a prova.
Ad insindacabile giudizio del Direttore dei Lavori, se la non rispondenza (uno o più parametri non conformi) ai suddetti requisiti può compromettere l'efficacia dell'impermeabilizzazione di parti già

realizzate l'Appaltatore dovrà sospendere la lavorazione e procedere a propria cura e spese, alla loro rimozione ed alla sostituzione con materiali idonei.

33.7.2.6 Controllo meccanico delle giunzioni

Con frequenza di 3 verifiche per ogni campata dove viene posata la membrana preformata occorre verificare meccanicamente la saldatura di 3 differenti giunzioni mediante apposito attrezzo (punteruolo a punta leggermente ripiegata e smussata) o cacciavite a testa piatta piccola, fatto scorrere lungo la linea di saldatura, con una certa pressione. La penetrazione della punta dell'attrezzo tra i due spessori di membrana sovrapposti sulla giunzioni segnala un'anomalia della giunzione stessa, dovuta ad un'errata saldatura e/o incollaggio, che potrebbe essere solo presente sulla parte iniziale o passante su tutta la larghezza della sormonta.
Eventuali imperfezioni dovranno essere immediatamente corrette a cura e spese dell'Appaltatore.

33.7.2.7 Prove di aderenza delle membrane bituminose preformate

Con frequenza di 2 prove ogni campata di membrana posata la Direzione Lavori effettuerà la verifica della aderenza (UNI EN 13596).
La non rispondenza al suddetto requisito comporterà l'applicazione di una penale pari 10% del costo dello strato sottoposto a prova.
Ad insindacabile giudizione del Direttore dei Lavori, se la non rispondenza ai suddetto requisito può compromettere l'efficacia dell'impermeabilizzazione di parti già realizzate l'Appaltatore dovrà sospendere la lavorazione e procedere a propria cura e spese, alla loro rimozione ed alla sostituzione con materiali idonei o correttamente posati.

Art. 34 Impermeabilizzazione della superficie di estradosso delle gallerie artificiali

34.1 Descrizione e campo di applicazione

Per i tratti di galleria artificiale sottoposti a rinterro l'impermeabilizzazione della superficie di estradosso di gallerie artificiali sarà realizzata mediante l'applicazione di guaina in PVC bicolore dello spessore di 2 mm posta in opera tra due strati di geotessile non tessuto aventi le caratteristiche indicate al § 34.3. A seconda delle indicazioni progettuali l'impermeabilizzazione potrà essere eseguita anche con membrane vituminose preformate di cui all'art .33 di questo capitolato speciale d'appalto.

34.2 Normativa di riferimento

- UNI EN 13256: Geotessili e prodotti affini - Caratteristiche richieste per l'impiego nella costruzione di gallerie e di strutture in sotterraneo
- UNI EN 13491: Geosintetici con funzione barriera - Caratteristiche richieste per l'impiego come barriere ai fluidi nella costruzione di gallerie e di strutture in sotterraneo associate
- UNI EN 1504-2: Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Definizioni, requisiti, controllo di qualità e valutazione della conformità - Parte 2: Sistemi di protezione della superficie di calcestruzzo
- ETAG 005: GUIDELINE FOR EUROPEAN TECHNICAL APPROVAL OF LIQUID APPLIED ROOF WATERPROOFING KITS: Linea Guida per il Benestare/Valutazione Tecnico Europeo (ETA) dei Sistemi Impermeabilizzanti ottenuti con sistemi liquidi
- EAD 030350-00-0402: Sistemi di impermeabilizzazione di tetti in forma liquida

34.3 Criteri di accettazione dell'impermeabilizzazione con TNT+PVC+TNT

Laddove il progetto, il contratto o i documenti di gara prevedano l'utilizzo di materiali riciclati, questi dovranno rispettare i requisiti definiti in detti documenti e le prescrizioni specifiche contenute in questo articolo di capitolato. L'impresa è tenuta a dimostrare, attraverso gli opportuni controlli in fase di esecuzione, il rispetto dei suddetti requisiti.
In generale, a parità di caratteristiche tecniche, si dovrà preferire prodotti più sostenibili dal punto di vista ambientale (ad es. biodegradabilità).

34.3.1 Strato di geotessile con funzione antipunzonamento

Entrambi gli strati di separazione con funzione antipunzonante sono costituiti da un geotessile non tessuto di fibre di polipropilene puro al 100 %. Le fibre in polipropilene garantiscono una miglior capacità di resistenza alle aggressioni chimiche (causate per esempio da processi di indurimento dei cementi) rendendole idonee all'uso su supporti cementizi non totalmente maturati. La funzione di questo strato è strettamente connessa con la preparazione del supporto e, in conformità a questa, dovrà essere scelta un'adeguata grammatura del tessuto, comprese tra i 500 ed i 1000 gr/mq in funzione della regolarità della superficie di applicazione.
Tale geotessile deve essere dotato di marcatura CE e DoP secondo la norma UNI EN 13256 con sistema di attestazione della conformità di tipo 2+ e possedere le seguenti caratteristiche:

Peso (UNI EN ISO 9864)	≥ 500 g/mq
Resistenza a trazione su striscia di 20 cm (UNI EN ISO 10319)	>30 kN/m

Allungamento (UNI EN ISO 10319)	> 35%(MD e CD) > 50%(MD+CD)/2
Punzonamento statico (UNI EN ISO 12236) 1999	> 5 kN
Punzonamento dinamico (UNI EN ISO 13433)	≤ 6 mm
Permeabilità radiale all'acqua alla pressione di 20 kPa (UNI EN ISO 12958)	> 3 x 10^{-3} l/ms
Classificazione al fuoco secondo la norma UNI EN 13501-1 (UNI EN ISO 11925-2)	Classe E

34.3.2 Guaina impermeabile in PVC

La guaina dovrà essere realizzata con manto in PVC-P atossico, aventi caratteristiche conformi ai valori indicati nella tabella seguente e dotata di marcatura CE e DoP secondo la norma UNI EN 13491 con sistema di attestazione della conformità di tipo 2+.
La membrana impermeabile dovrà essere composta da due strati coestrusi di colore contrastante ma costituenti un corpo omogeneo. Lo strato a vista dovrà essere di colore contrastante con quello dello strato sottostante al fine di consentire una più agevole individuazione di eventuali strappi o danni arrecati alla membrana in fase di produzione, trasporto, installazione, oppure dalle attività di cantiere successive alla posa in opera e antecedenti o concomitanti con la fase di getto del rivestimento.
Tabella caratteristiche membrana in PVC

Caratteristiche	Requisito minimo	Metodo di prova
Spessore (mm)	≥2.0 mm escluso strato di segnalazione	EN 1849 - 2
Strato di segnalazione	≤ 0.20mm	EN 1849 - 2
Carico a rottura longitudinale e trasversale (N/mm^2)	≥ 15,0	UNI EN 12311-2 met. B UNI EN ISO 527 – 3 provino tipo 5 veloc. 100mm/min
Allungamento a rottura (%) longitudinale e trasversale	≥ 250	UNI EN 12311-2 met. B UNI EN ISO 527 – 3 provino tipo 5 veloc. 100mm/min
Resistenza alla lacerazione (N/mm)	≥ 100	UNI EN 12310 - 1
Impermeabilità all' acqua (24 ore a 0,5 Mpa)	Impermeabile.	UNI EN 1928 met. B
Stabilità a caldo a + 70°C per due ore	Stabile	UNI 8202/18
Piegatura a freddo a ≤– 30°	Stabile	UNI EN 495/5 - UNI EN 1109
Resistenza alle soluzioni acide e alcaline per 28 giorni a 23°C (variazione allungamento a rottura longitudinale e trasversale)	≤ ± 20%	DIN 16726
Comportamento al fuoco	classe E	EN 11925-2
Idoneità al contatto con acqua potabile	conforme	D.M. 21 Marzo 1973 e s.m.e i.
Resistenza della giunzione (N/mm^2)	≥ 10,5	UNI EN 12316 -2

34.3.3 Membrane impermeabilizzanti ottenute con sistemi liquidi per risvolti verticali dei cordoli e geometrie complesse

Qualora il sistema di impermeabilizzazione realizzato con TNT+PVC+TNT nei risvolti verticali o in presenza di geometrie complesse non sia praticabile, è possibile utilizzare una membrana

impermeabile ottenuta dall'applicazione di miscele liquide mono o bi-componenti a base di polimetilmetacrilato (PMMA), elastomerica o poliuretanica.
L'impermeabilizzazione deve essere protetta con tessuto non tessuto da 200 g/m^2 e ciascuna fornitura deve essere accompagnata dalla Dichiarazione di Prestazione (DoP) e dalla marcatura CE, attestanti la conformità all'allegato ZA alla norma europea armonizzata di riferimento UNI EN 13249 con sistema di attestazione di conformità di tipo 2+. Il TNT deve avere le seguenti caratteristiche:

Caratteristiche	Unità	Metodo di prova	Valore
Massa areica	g/m^2	UNI EN ISO 9864	200
Resistenza a trazione longitudinale MD	kN/m	UNI EN ISO 10319	≥ 4
Resistenza a trazione trasversale CMD	kN/m	UNI EN ISO 10319	≥ 4
Allungamento a carico max longitudinale MD	%	UNI EN ISO 10319	≥ 50
Allungamento a carico max trasversale CMD	%	UNI EN ISO 10319	≥ 50

Le caratteristiche dell'impermeabilizzazione devono invece essere le seguenti:

Caratteristiche	Requisito minimo	Metodo di prova
Spessore (mm)	≥2.0 mm (*)	EN 1849 - 2
Adesione al calcestruzzo – dopo 28 gg a +20°C e 50% U.R.: senza traffico con traffico	 ≥ 0,8 N/mm^2 ≥ 1,5 N/mm^2	EN 1542
Assorbimento capillare e permeabilità all'acqua	< 0,1 kg/m^2 h^{0,5}	EN 1062-3
Resistenza all'abrasione	Perdita di peso < 3000 mg	UNI EN ISO 5470/1 (carico 1000 g mola H22/1000 cicli)
Resistenza alla penetrazione delle radici (se pertinente)	Nessuna penetrazione	UNI CEN/TC 14416
(*) Lo spessore può variare, a seconda del tipo di prodotto scelto, in funzione del soddisfacimento delle caratteristiche richieste		

Il prodotto utilizzato deve possedere marcatura CE in riferimento ad una norma europea armonizzata tipo UNI EN 1504-2 o in riferimento ad una ETA (Valutazione Tecnica Europea o European Technical Assessment) rilasciata sulla base di un EAD (Documento di Valutazione Europea o European Assessment Document). A titolo esemplificativo, si cita la norma ETAG 005: GUIDELINE FOR EUROPEAN TECHNICAL APPROVAL OF LIQUID APPLIED ROOF WATERPROOFING KITS: Linea Guida per il Benestare/Valutazione Tecnico Europeo (ETA) dei Sistemi Impermeabilizzanti ottenuti con sistemi liquidi che è stata sostituita dopo l'entrata in vigore del Regolamento UE n. 305 del 2011 dalla norma EAD 030350-00-0402 Sistemi di impermeabilizzazione di tetti in forma liquida.

L'Appaltatore deve indicare in qualifica le condizioni climatiche limite di applicazione e le migliori modalità di posa.

34.4 Profilati in PVC (water-stop) per giunti, a tenuta idraulica

Il P.V.C. costituente i nastri (water stop) dovrà avere particolare elasticità ed essere ottenuto da resine viniliche termoplastiche di qualità pura che abbiano elevata resistenza all'azione aggressiva delle soluzioni acido alcaline, all'invecchiamento ed alle sollecitazioni meccaniche. La mescola utilizzata per la produzione dei profilati dovrà avere i seguenti requisiti, salvo diverse prescrizioni progettuali:

Tipo:	cloruro di polivinile	Analisi chimica
Durezza Shore a +293 K	> 70	DIN ISO 7619-1 e DIN ISO 7619-2

Resistenza a trazione +293 K	≥ 12 N/mm²	DIN 16938 E
Allungamento a rottura	≥ 300%	DIN 16938 E
Resistenza all'azione aggressiva delle soluzioni acidi alcaline		CRD-C 572-65
Limiti di temperatura d'impiego	da 238 K a +333 K	

Il water stop dovrà avere larghezza ≥ 300 mm e densità ≥ 1.30 g/mc.
Eventuali variazioni per il tipo di profilato da impiegarsi e le sue dimensioni, saranno stabilite dal Progettista in base al tipo di sollecitazioni alle quali lo stesso sarà sottoposto ed allo spessore del getto di calcestruzzo.
La classificazione delle sollecitazioni si deve ritenere la seguente salvo diverse condizioni operative segnalate dalla Direzione Lavori:

Grado di sollecitazione	Pressione idrostatica (MPa)	Dilatazione assiale (mm)	Movimento trasversale (mm)
Basso	<0,5	<10	<5
Medio	0,5-1,5	10-20	5-10
Alto	>1,5	20-50	10-20

Inoltre, la copertura minima del profilato su ogni "ala" dovrà essere di 1/2 della lunghezza del profilato stesso. Particolari cura ed attenzione dovranno essere poste in fase di compattazione del conglomerato in corrispondenza del water stop, posizionando l'ago vibrante con un'inclinazione di 45° anteriormente e posteriormente alle "ali" del profilato mantenendo una distanza dallo stesso pari a circa 10 cm.
I pesi minimi a metro lineare dei profilati, dovranno essere adeguati in base al grado di sollecitazione ipotizzato. La posa in opera del profilato dovrà avvenire prima del getto del conglomerato cementizio.
Il water stop dovrà essere agganciato all'armatura mediante apposite graffe in numero sufficiente a conferire adeguata stabilità al nastro posato.
Durante le fasi di getto si dovrà usare la massima cura nell'evitare che il profilato venga in qualche modo rimosso dalla posizione ottimale conferitagli in fase di posa; qualora ciò avvenisse, l'Appaltatore, dovrà rimuovere il calcestruzzo sino a quel momento posto in opera, ripristinare la posizione ottimale del nastro e completare il getto, senza che alla stessa sia dovuto alcunché.
Qualora si verificasse la necessità di saldare le estremità di due nastri, le operazioni dovranno essere eseguite mediante l'utilizzo di saldatrice elettrica a resistenza munita di bocchetta di aria calda avente temperatura di circa 773 K.
Durante la saldatura dovrà essere particolarmente curata la complanarità delle superfici da unire.
Al termine della saldatura, a protezione della stessa si dovrà applicare un apposito nastro coprigiunto in P.V.C. adesivo posto lungo tutto il perimetro dell'unione saldata.

34.4.1 Sigillatura dei giunti strutturali e/o di costruzione.

Le caratteristiche del sigillante, salvo diverse prescrizioni progettuali, sono le seguenti:

Peso specifico kg/l	1,30 ± 0,05 kg/l
Temperatura d'esercizio	233 K/343 K
Durezza Shore A	≥ 18
Allungamento di lavoro	25%
Allungamento alla rottura	> 500%
Resistenza alla trazione:	

Allungamento 50%	293 K < 0,15 MPa 253 K < 0,40 MPa
Allungamento 100%	293 K < 0,20 MPa 253 K < 0,60 MPa

Le presenti specifiche valgono anche per i giunti che non siano riferiti alle gallerie artificiali (es. murature ecc.).

34.5 Documenti di prequalifica

L'Appaltatore deve trasmettere al Direttore dei Lavori per approvazione almeno 15 giorni prima dell'inizio delle attività, la documentazione di seguito elencata.

La mancata presentazione della documentazione preliminare comporta la non autorizzazione all'inizio dell'esecuzione dei lavori, né saranno accettate eventuali lavorazioni svolte prima dell'approvazione delle modalità esecutive.

Per gli interventi in oggetto si richiede la presentazione da parte dell'Appaltatore di una apposita "Procedura di lavoro", prevista all'art. CG.01.01 della sezione "Condizioni Generali" del presente Capitolato Speciale. L'Appaltatore, deve altresì trasmettere alla Direzione Lavori per approvazione, un dossier di qualifica contenente:

- Marcatura CE, DoP e scheda tecnica laddove la DoP non riporti uno specifico requisito richiesto l'Appaltatore deve allegare anche un certificato eseguito da un Laboratorio Ufficiale a dimostrazione della conformità del prodotto che intende proporre.
- La certificazione del sistema di controllo della produzione (FPC) e il Certificato UNI EN ISO 9001 del sistema di gestione qualità delle società produttrici dei materiali;

I requisiti d'accettazione potranno inoltre essere accertati con ulteriori prove a cura della Direzione Lavori sia in fase di prequalifica presso il fornitore (controllo non vincolante per l'autorizzazione), sia in corso d'opera, prelevando il materiale in sito o ancora presso il fornitore, prima e dopo avere effettuato le lavorazioni.

34.6 Modalità esecutive

34.6.1 Generalità e preparazioni delle superfici

Particolare cura deve essere dedicata alla preparazione delle superfici da impermeabilizzare che devono risultare non danneggiate, regolari, perfettamente asciutte e pulite, esenti da oli, grassi, polveri, prive di residui di boiacca o di malta cementizia o di prodotti disarmanti.
Quanto sopra si applica anche ai lavori di manutenzione dopo la rimozione della vecchia impermeabilizzazione effettuata con idonee attrezzature. Eventuali punti singolari devono essere stuccati e sigillati con idonee malte o stucchi epossidici, preservando e/o ripristinando pendenze adeguate per un regolare sgrondo delle acque. A questo fine, la superficie deve essere sabbiata e/o bocciardata (potenza non inferiore a 80 CV), anche quando siano stati eseguiti precedenti interventi di ripristino con l'impiego di betoncini o calcestruzzi reoplastici a ritiro compensato. A questi interventi preparatori deve seguire un'accurata pulizia delle superfici interessate anche mediante idrolavaggi con pressione almeno pari a 50 bar (preferibilmente in periodi caldi o asciutti) e conseguente energica soffiatura con aria compressa. Per la corretta gestione delle acque reflue derivanti dalla lavorazione, si rimanda alle disposizioni del Capitolato Ambientale.

Le superfici da impermeabilizzare devono essere lisce, coerenti, esenti da asperità o avvallamenti. In tal senso, devono essere garantiti valori di planarità ≤ 10 mm a 2 m, ≤ 3 mm a 0,2 m e di rugosità e dislivello ≤ 3 mm.
L'impermeabilizzazione deve essere eseguita con la massima accuratezza, specialmente in prossimità di eventuali fori, passaggi, canne, ecc. L'eventuale convogliamento delle acque meteoriche ai pluviali deve essere assicurato mediante idonei pezzi speciali muniti di griglia parafoglie e fissati al manto impermeabile a livello della soletta in calcestruzzo, mediante l'impiego di stucchi. L'impermeabilizzazione deve interessare anche le zone dei bocchettoni di scarico delle acque superficiali, qualora presenti, ricoprendoli nell'area dei risvolti, evitando di danneggiare le attrezzature di smaltimento preesistenti e/o ricostruite. I fori destinati ad accogliere i bocchettoni di scarico dovranno presentare un incavo profondo 1,5 ÷2 cm per evitare che lo spessore della flangia del bocchettone e degli strati impermeabilizzanti determinino un rialzo attorno al foro con conseguente ristagno d'acqua.
I bocchettoni in corrispondenza dei fori di scarico per i pluviali devono essere fissati a livello della soletta in calcestruzzo con stucchi epossidici e l'impermeabilizzazione deve giungere fino al bordo del foro, coprendo così i risvolti del bocchettone stesso.
Le riprese di lavoro devono essere ridotte al minimo, salvo le esigenze particolari; in ogni caso deve essere assicurata una perfetta adesione tra le lavorazioni realizzate in tempi differenti. Il manto deve essere transitabile dal normale traffico di cantiere (escluso quello cingolato), senza distacchi e perforazioni.
Il manto finale può essere sottoposto al transito temporaneo degli automezzi gommati di cantiere solo previa autorizzazione del Direttore dei Lavori se in presenza di resistenze meccaniche adeguate tali da che non si verifichino schiacciamenti, fessurazioni o abrasioni sul manto.
Non sono accettabili condizioni dell'impalcato impermeabilizzato con presenza di irregolarità o soffiature del manto che dovranno essere risolte a cura ed onere dell'Appaltatore.
In tutte le fasi esecutive, comprese le fasi di preparazione e di sistemazione finale delle aree, per gli aspetti e le problematiche relative a temi ambientali, quali impatti acustici e vibrazionali, emissioni in atmosfera, impatto sulle acque superficiali, sotterranee e sul suolo, impatti sulla componente fauna e vegetazione, si rimanda integralmente a quanto prescritto dalla Normativa Nazionale e Regionale vigente, alle prescrizioni degli Enti preposti alla tutela ambientale, nonché alle condizioni ambientali contenute nelle autorizzazioni ed alle disposizioni del Capitolato Ambientale allegato al progetto esecutivo.

34.6.2 Impermeabilizzazione con TNT+PVC+TNT

Sul supporto preparato come indicato al § 34.6.1, dovrà essere steso uno di strato di separazione con funzione antipunzonante costituito da un geotessile non tessuto delle caratteristiche indicate al § 34.3.1, al fine di assicurare l'uniformità del piano di posa per evitare che imperfezioni, detriti inamovibili od altre irregolarità dello strato sottostante possano danneggiare, causando perforamenti o punzonamenti, lo strato impermeabile.
Il geotessile sarà steso procedendo in senso trasversale all'asse della galleria artificiale, sovrapponendo i bordi di 20 cm dovrà essere fissato al supporto con rondelle di PVC a rottura controllata nel numero minimo di 4 rondelle al metro quadrato, fissate al supporto con chiodi a sparo muniti di rondelle metalliche.

La guaina in PVC sarà stesa in opera in senso trasversale all'asse della galleria, con i giunti sormontati di 15 cm e dovrà essere fissata alle rondelle in PVC mediante termosaldatura. La guaina dovrà presentarsi ben distesa, senza pieghe e parti in tensione.

Si procederà quindi alla saldatura dei giunti per termofusione con apposite saldatrici a controllo automatico di velocità, temperatura e pressione, predisposte per effettuare una doppia saldatura senza soluzione di continuità da un estremo all'altro del giunto in modo da permettere la prova di tenuta del giunto ad aria compressa.

Sulla guaina in PVC sarà steso uno strato di geotessile non tessuto sempre aventi le caratteristiche indicate al § 34.3.1, avente la funzione di proteggere la guaina stessa dalla azione dei materiali di riempimento che saranno posti a copertura.
Il geotessile sarà posto in opera sovrapponendo i bordi di 30 cm e dovrà essere immediatamente ricoperto con sabbia fine lavata per uno spessore compattato non inferiore a 30 cm, avendo particolare cura di porre, successivamente alla posa della sabbia, materiale fine (pezzatura massima consentita 40 mm), eventualmente ricorrendo alla vagliatura, per uno spessore minimo di 50 cm ed in ogni caso secondo le indicazioni di Progetto.
La compattazione della sabbia lungo i piedritti dovrà avvenire tramite l'utilizzo di un getto d'acqua con pressione non superiore ad 1 MPa; eventuali vuoti che si verranno a creare durante la fase di compattazione dovranno essere colmati con l'aggiunta di ulteriori quantità di sabbia.

Il manto impermeabile in PVC dovrà essere risvoltato con il sovrastante geotessile alla base dei piedritti. All'interno della sacca formata dal risvolto andrà posizionato un tubo di drenaggio con le caratteristiche indicate all'art. 9 di questo capitolato speciale.
Il drenaggio al piede andrà collegato agli elementi di raccolta ed allontanamento nei recapiti previsti dal Progetto.

34.6.3 Sigillatura dei giunti

In corrispondenza dei giunti strutturali e/o di costruzione, sia reinterrati che non reinterrati, l'Appaltatore, dovrà adottare, tutti gli accorgimenti possibili affinché non si verifichino ammaloramenti di sorta del materiale impermeabilizzante.
Gli stessi giunti, prima di essere sottoposti ad impermeabilizzazione, dovranno essere chiusi con sigillante poliuretanico monocomponente, di colore grigio (RAL 7032 o 7038), verniciabile, a basso modulo elastico, del tipo approvato dalla Direzione Lavori, dato in opera mediante attrezzatura di estrusione (pistola) pneumatica con regolatore di pressione.
I giunti potranno avere una larghezza minima pari a 5 mm e massima pari a 35 mm.
La profondità (P) della sigillatura sarà definita in rapporto alla larghezza del giunto così come segue:

- con larghezza fino a 12 mm P=1/1;
- con larghezza tra 12 mm e 35 mm si avrà P = 2/1.

Il sigillante sarà posto in opera, previa spazzolatura e pulizia della base cementizia, su un supporto costituito da idoneo primer di adesione, dato a pennello.
Precedentemente alla posa del sigillante, si dovrà porre in opera, al fine di ottenere un corretto dimensionamento del giunto, un cordone comprimibile in polietilene espanso a cellule chiuse con diametro massimo di 40 mm.

34.7 Controlli in corso d'opera

34.7.1 Controlli a carico dell'Appaltatore

L'Appaltatore è tenuto ad eseguire i seguenti controlli da trasmettere in apposito report alla Direzione Lavori al termine dell'attività di ogni WBS.

34.7.1.1 Controlli dei documenti di accompagno delle forniture all'arrivo in cantiere

L'Appaltatore deve sempre verificare la rispondenza tra le forniture in arrivo in cantiere con i documenti di progetto e della qualifica approvata dal Direttore dei Lavori. Deve inoltre verificare la presenza e coerenza dei documenti seguenti:

- Copia del Documento di trasporto DDT
- Copia della Marcatura CE, DoP ove presenti

34.7.1.2 Controlli di esecuzione dell'impermeabilizzazione

L'Appaltatore deve sempre eseguire le seguenti verifiche:

- Prima della posa dello strato di impermeabilizzazione occorre controllare che le superfici siano regolari, perfettamente asciutte e pulite
- Controllare che lo strato di impermeabilizzazione sia stato applicato uniformemente su tutta la superficie da trattare. Visivamente occorre accertarsi che non vi siano strappi rilevabili dalla presenza del colore della faccia dell'impermeabilizzazione a contatto con la struttura che è di tonalità diversa da quella esterna
- Controllare che le sovrapposizioni e le loro saldature siano eseguite correttamente sia sul piano che nel raccordo con i cordoli che con le pareti verticali
- Controllare che i punti singolari siano eseguiti a regola d'arte
- Deve essere verificata la tenuta dei giunti con aria alla pressione di 2,0 bar; l'eventuale perdita di pressione dopo 10 min non dovrà superare 0,2 bar. In alternativa è possibile utilizzare il controllo con campana Vacuum: con l'utilizzo di un compressore collegato ad una campana (vacuum bell) è possibile creare una depressione e con l'ausilio di un liquido (normalmente acqua saponata) è possibile individuare eventuali canalicoli non saldati, mediante la formazione di bolle causate dal passaggio di aria dall'intradosso della membrana verso la parte di impermeabilizzazione che si affaccia sulla campana.
  Le prove di tenuta dei giunti dovranno essere effettuate in ragione di almeno una prova ogni dieci giunti o frazione di dieci e ciascuna prova dovrà essere verbalizzata. Nel caso che qualche prova dia esito negativo, l'Appaltatore dovrà provvedere, a sua cura e spese, al rifacimento delle saldature difettose, eventualmente anche con sostituzione delle guaine compromesse, mentre la Direzione Lavori potrà ordinare che siano sottoposti a prove tutti i giunti senza che per questo l'Appaltatore stessa possa reclamare alcun compenso.

34.7.2 Prove a carico della Direzione Lavori

I seguenti controlli di accettazione in cantiere devono essere eseguiti, in contraddittorio e con l'assistenza dell'Appaltatore.

34.7.2.1 Prove sul TNT

Ogni tipologia di geotessile utilizzato sarà sottoposta alla verifica delle proprietà indicate nei criteri di accettazione con frequenza pari a 1 prelievo ogni 5.000 m² o frazione.
La campionatura del materiale dovrà essere fatta secondo la Norma UNI 8279-1, intendendosi per N l'unità elementare di un rotolo.
La non rispondenza (uno o più parametri non conformi) ai suddetti requisiti comporterà l'applicazione di una penale pari 10% del costo dello strato sottoposto a prova già posti in opera ed il rifiuto di quelli ancora da installare.

Ad insindacabile giudizione del Direttore dei Lavori, se la non rispondenza (uno o più parametri non conformi) ai suddetti requisiti può compromettere l'efficacia dell'impermeabilizzazione di parti già realizzate l'Appaltatore dovrà sospendere la lavorazione e procedere a propria cura e spese, alla loro rimozione ed alla sostituzione con materiali idonei.

34.7.2.2 Prove sul PVC

Ogni tipologia di membra PVC utilizzata sarà sottoposta alla verifica delle proprietà indicate nei criteri di accettazione con frequenza pari a 1 prelievo ogni 5.000 m² o frazione per:

- n. 1 prova per il carico a rottura longitudinale e trasversale
- n. 1 prova per l'allungamento a rottura (%) longitudinale e trasversale
- n. 1 prova per l'impermeabilità all'acqua

La non rispondenza (uno o più parametri non conformi) ai suddetti requisiti comporterà l'applicazione di una penale pari 10% del costo dello strato sottoposto a prova già posti in opera ed il rifiuto di quelli ancora da installare.

Ad insindacabile giudizione del Direttore dei Lavori, se la non rispondenza (uno o più parametri non conformi) ai suddetti requisiti può compromettere l'efficacia dell'impermeabilizzazione di parti già realizzate l'Appaltatore dovrà sospendere la lavorazione e procedere a propria cura e spese, alla loro rimozione ed alla sostituzione con materiali idonei.

34.7.2.3 Controllo meccanico delle giunzioni

Con frequenza di 3 verifiche per ogni soletta dove viene posato il PVC occorre verificare meccanicamente la saldatura di 3 differenti giunzioni mediante apposito attrezzo (punteruolo a punta leggermente ripiegata e smussata) o cacciavite a testa piatta piccola, fatto scorrere lungo la linea di saldatura, con una certa pressione. La penetrazione della punta dell'attrezzo tra i due spessori di membrana sovrapposti sulla giunzioni segnala un'anomalia della giunzione stessa, dovuta ad un'errata saldatura e/o incollaggio, che potrebbe essere solo presente sulla parte iniziale o passante su tutta la larghezza della sormonta.
Eventuali imperfezioni dovranno essere immediatamente corrette a cura e spese dell'Appaltatore.

34.7.2.4 Controllo giunto water-stop

Con frequenza ogni 500 m di materiale o frazione di giunto posato sarà eseguito un prelievo per la verifica di

- n. 1 prova per la resistenza a trazione
- n. 1 prova per l'allungamento a rottura

La non rispondenza (uno o più parametri non conformi) ai suddetti requisiti comporterà l'applicazione di una penale pari 10% del costo del giunto sottoposto a prova già posto in opera ed il rifiuto di quelli ancora da installare.

Ad insindacabile giudizione del Direttore dei Lavori, se la non rispondenza (uno o più parametri non conformi) ai suddetti requisiti può compromettere l'efficacia dell'impermeabilizzazione di parti già realizzate l'Appaltatore dovrà sospendere la lavorazione e procedere a propria cura e spese, alla loro rimozione ed alla sostituzione con materiali idonei.

Art. 35 Segnaletica verticale e orizzontale

35.1 Descrizione e campo di applicazione

Il presente articolo di capitolato descrive le metodologie per la qualifica, l'esecuzione e i controlli di tutte le opere, prestazioni e forniture che si rendono necessarie per la realizzazione della segnaletica verticale, orizzontale, luminosa e complementare così come definita all'art. 38 del Codice della Strada da utilizzare sulle strade, autostrade e loro pertinenze.
La segnaletica stradale e autostradale regola il traffico a seconda delle diverse condizioni ambientali e planimetriche del tracciato, anche di notte e in condizioni climatiche avverse, contribuendo ad aumentare il livello di sicurezza e facilitando l'uso dell'infrastruttura e dei servizi da parte della clientela.
Il presente articolo si applica sia alla segnaletica permanente che provvisionale di cantiere nelle modalità di seguito descritte.

35.2 Normativa di riferimento

- DPR n. 495 del 16 dicembre 1992 "Regolamento di esecuzione ed attuazione del nuovo Codice della Strada", con le modifiche e le integrazioni apportate dal DPR n.610 del 16 settembre 1996 "Regolamento recante modifiche al decreto del Pre-sidente della Repubblica 16 dicembre 1992, n. 495, concernente il regolamento di esecuzione e di attuazione del nuovo Codice della strada", s.m.i.1;
- Direttiva del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti n. 4867/RU del 5 agosto 2013 "Istruzioni e linee guida per la fornitura e posa in opera di segnaletica stradale";
- Decreto 10 luglio 2002 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti "Disciplinare tecnico relativo agli schemi segnaletici, differenziati per categoria di strada, da adottare per il segnalamento temporaneo";
- UNI EN 12899-1: "Segnaletica verticale permanente per il traffico stradale - Parte 1: Segnali permanenti
- UNI 11480: "Linee guida per la definizione di requisiti tecnico-funzionali della segnaletica verticale (permanente) in applicazione alla UNI EN 12899-1: 2008
- UNI 11122: Materiali per segnaletica verticale - Caratteristiche prestazionali dei materiali per segnaletica verticale con tecnologia a microprismi
- UNI EN ISO 1461:Rivestimenti di zincatura per immersione a caldo su prodotti finiti ferrosi e articoli di acciaio_Specificazioni e metodi di prova

- UNI EN 12899-2: "Segnaletica verticale permanente per il traffico stradale - Parte 2: Delineatori di ostacolo transilluminati (TTB)
- UNI EN 12899-3: "Segnaletica verticale permanente per il traffico stradale - Parte 3: Delineatori di margine e dispositivi rifrangenti

- UNI/TR 11670: Linea guida per la definizione dei requisiti tecnico-funzionali della segnaletica orizzontale
- UNI EN 1436: Materiali per segnaletica orizzontale - Prestazioni della segnaletica orizzontale per gli utenti della strada e metodi di prova;
- UNI EN 1423: Materiali per segnaletica orizzontale - Materiali da postspruzzare - Microsfere di vetro, granuli antiderapanti e loro miscele
- UNI EN 1424: Materiali per segnaletica orizzontale - Microsfere di vetro da premiscelare

- UNI EN 1463-1: Materiali per segnaletica orizzontale - Inserti stradali catarifrangenti - Parte 1: Requisiti delle prestazioni iniziali
- UNI EN 1871: Materiali per segnaletica orizzontale - Pittura, materiali termoplastici e plastici a freddo - Proprietà fisiche
- UNI EN 1790: Materiali per segnaletica orizzontale - Materiali preformati per la segnaletica orizzontale
- UNI EN 1463-2 - Materiali per segnaletica orizzontale - Inserti stradali catarifrangenti - Specifiche delle prestazioni delle prove su strada;
- UNI EN 1824 - Materiali per segnaletica orizzontale - Prove su strada

35.3 Criteri di accettazione – Segnaletica verticale

Per segnali verticali si intendono quelli individuati dall'art. 39 del Codice della Strada e si dividono nelle seguenti categorie:

A) segnali di pericolo;

B) segnali di prescrizione che a loro volta si suddividono in:
   a) segnali di precedenza;
   b) segnali di divieto;
   c) segnali di obbligo;

C) segnali di indicazione che a loro volta si suddividono in:
   a) segnali di preavviso;
   b) segnali di direzione;
   c) segnali di conferma;
   d) segnali di identificazione strade;
   e) segnali di itinerario;
   f) segnali di località e centro abitato;
   g) segnali di nome strada;
   h) segnali turistici e di territorio;
   i) altri segnali che danno informazioni necessarie per la guida dei veicoli;
   l) altri segnali che indicano installazioni o servizi.

La segnaletica verticale è definita come forma, dimensione, colore, simboli e caratteristiche negli elaborati progettuali conformemente agli articoli dal 77 al 155 del Regolamento che ne definisce anche le modalità di impiego e di applicazione.

Il progetto può altresì prevedere segnali verticali particolari come ad esempio quelli:

- didattici per l'antinebbia (composti da cinque tipologie di cartelli) con il compito di fornire alla clientela in viaggio indicazioni sulla condotta di guida più consona in presenza di nebbia
- didattici in presenza di circolazione regolata da semafori di corsia (pannelli freccia/croce)
- per la numerazione delle opere soprapassanti
- indicazione delle modalità di pagamento
- transilluminati per installazioni tipiche in galleria

La segnaletica verticale intesa come l'insieme composto dal sostegno, dal pannello e dalla pellicola retroriflettente, dovra' possedere marcatura CE e DoP con le indicazioni di cui alla figura ZA.6 della norma UNI EN 12899-1. Qualora il pannello è fissato ad una struttura del tipo indicato al § 35.3.5 la marcatura CE è richiesta solo per il pannello in riferimento alla figura ZA.5 della citata norma UNI EN 12899-1. Il sistema di attestazione di conformità richiesto è il tipo 1.

La marcatura CE deve essere apposta in modo visibile, leggibile e indelebile sul prodotto o su un'etichetta ad esso applicata. Se ciò fosse impossibile o ingiustificato a causa della natura del prodotto (e solo in questo caso), essa dovrà essere apposta sull'imballaggio o sui documenti di accompagnamento.

35.3.1 Retroriflettenza e classi prestazionali dei segnali

I segnali verticali di pericolo, prescrizione e indicazione di cui al § 35.3 devono essere dotati di pellicole retroriflettenti con l'impiego di microsfere di vetro o microprismi.
Le pellicole retroriflettenti con miscrosfere di vetro devono possedere marcatura CE e DoP ai sensi della norma UNI EN 12899-1 con sistema di attestazione di conformità di tipo 1.
Per l'impiego delle pellicole con microprismi dovrà essere rilasciato Benestare Tecnico Europeo o Valutazione Tecnica Europea (ETA) derivata dalla EAD 120001-01-0106 con sistema di attestazione di conformità di tipo 1.

Tutti i materiali devono essere forniti nel rispetto delle prescrizioni degli elaborati progettuali per ogni segnale e devono essere valutati ai sensi della norma UNI 11480 al fine di verificarne la conformità delle prestazioni visive in condizioni diurne (coordinate cromatiche e fattore di luminanza, definite nei punti 4.3.1 - prospetto 1 e 4.3.2 – prospetto 2) e stabilirne la rispondenza al livello prestazionale più idoneo tra i tre definiti al punto 4.2 della norma:

- classe 1 – livello prestazionale inferiore
- classe 2 – livello prestazionale base
- classe 2 – livello prestazionale superiore

MATERIALI RETRORIFLETTENTI DI "CLASSE 1 - LIVELLO PRESTAZIONALE INFERIORE"
Le pellicole retroriflettenti di "classe 1 - livello prestazionale inferiore", corrispondenti a quelle già definite a normale risposta luminosa, devono avere un coefficiente di re-troriflessione minimo iniziale RA non inferiore ai valori riportati nel prospetto 3 della norma UNI 11480 (valori corrispondenti a quelli della classe RA1 definiti dal prospetto 3 della UNI EN 12899-1) e devono mantenere almeno il 50% dei suddetti valori per il periodo minimo di 7 anni di normale esposizione verticale all'esterno nelle condizioni medie ambientali d'uso. Fa eccezione la pellicola di colore arancio che deve mantenere i requisiti di cui sopra per almeno 3 anni.

Nel caso di colori realizzati mediante stampa serigrafica, stampa digitale o applicazione di trasparenti protettivi autoadesivi ad intaglio, il coefficiente di retroriflessione non deve essere inferiore al 70% dei valori su menzionati.
Tali pellicole retroriflettenti possono essere usati solo limitatamente ai casi in cui ciò è consentito e ove sia prevista una vita utile del segnale stradale inferiore ai 10 anni, secondo quanto ribadito dalla Direttiva Ministeriale 4867/RU.
Valori inferiori devono essere considerati insufficienti ad assicurare la normale percezione di un segnale realizzato con materiali retroriflettenti di "classe 1 - livello prestazionale inferiore".

MATERIALI RETRORIFLETTENTI DI "CLASSE 2 - LIVELLO PRESTAZIONALE BASE
Le pellicole di "classe 2 - livello prestazionale base", corrispondenti a quelle già definiti ad elevata risposta luminosa, devono avere un coefficiente di retroriflessione minimo iniziale RA non inferiore ai valori riportati nel prospetto 4 della norma UNI 11480 (valori corrispondenti a quelli della classe RA2 definiti dal prospetto 4 della UNI EN 12899-1) e devono mantenere almeno l'80% dei suddetti valori per il periodo minimo di 10 anni di normale esposizione verticale all'esterno nelle condizioni

medie ambientali d'uso. Fa eccezione la pellicola di colore arancio che deve mantenere i requisiti di cui sopra per almeno 3 anni.
Nel caso di colori realizzati mediante stampa serigrafica, stampa digitale o applicazione di trasparenti protettivi autoadesivi ad intaglio, il coefficiente di retroriflessione non deve essere inferiore al 70% dei valori su menzionati.
Valori inferiori devono essere considerati insufficienti ad assicurare la normale percezione di un segnale realizzato con pellicole retroriflettenti di "classe 2 - livello prestazionale base".

MATERIALI RETRORIFLETTENTI DI "CLASSE 2 - LIVELLO PRESTAZIONALE SUPERIORE"
Le pellicole di "classe 2 - livello prestazionale superiore", corrispondenti a quelli già definiti ad altissima risposta luminosa, devono avere un coefficiente di retroriflessione minimo iniziale RA non inferiore ai valori riportati nel prospetto 5 della norma UNI 11480 (valori corrispondenti a quelli definiti dal prospetto A.1 della UNI 11122) e devono mantenere almeno l'80% dei suddetti valori per il periodo minimo di 10 anni di normale esposizione verticale all'esterno nelle condizioni medie ambientali d'uso. Fa eccezione la pellicola di colore arancio che deve mantenere i requisiti di cui sopra per almeno 3 anni.
Tali pellicole possono essere anche del tipo "*fluoro-rifrangente*", cioè con più elevato fattore di luminanza e conseguentemente più elevata visibilità diurna, caratteristica utile in particolare per la segnaletica verticale temporanea.
In questo caso il coefficiente di retroriflessione minimo iniziale RA non deve essere inferiore ai valori riportati nel prospetto 6 della norma UNI 11480 (valori corrispondenti a quelli definiti dal prospetto A.2 della UNI 11122).
Nel caso di colori realizzati mediante stampa serigrafica, stampa digitale o applicazione di trasparenti protettivi autoadesivi ad intaglio, il coefficiente di retroriflessione non deve essere inferiore al 70% dei valori su menzionati.
Valori inferiori devono essere considerati insufficienti ad assicurare la normale percezione di un segnale realizzato con pellicole retroriflettenti di "classe 2 - livello prestazionale superiore".

Possono infine essere previste pellicole con MATERIALI NON RETRORIFLETTENTI, generalmente di tipo vinilico, di colore nero, devono avere coordinate cromatiche e fattore di luminanza conformi ai valori definiti nel prospetto 7 della norma UNI 11480 (valori corrispondenti a quelli della classe NR1 definiti dal prospetto 16 della UNI EN 12899-1) e caratteristiche di durabilità coerenti a quelle delle pellicole sulle quali sono applicate.

Tutte le pellicole devono possedere proprietà anticondensa tale da non consentire all'umidità di condensarsi sul segnale in forma di goccioline ma di scivolare in forma lamellare senza provocare alcuna distorsione nel percorso dei fasci di luce che colpiscono il segnale e che da questi viene rinviato.

Salvo non se diversamente specificato negli elaborati progettuali, in ambito autostradale, sono da utilizzare sempre le pellicole di classe 2 con livello prestazionale di base, mentre quelle con classe 2 con livello prestazionale superiore sono da utilizzare secondo la specifica della seguente tabella:

Localizzazione segnali	Preavvisi di bivio	Itinerari	Su portali	Direzione
Intersezione autostradale	si	si	si	si
Area di svincolo	si	si	si	si
Area di servizio	si	-	-	si
Area di parcheggio	si			si
Stazione a barriera	-	-	si	-

La pellicola fluoro-rifrangente dove essere invece impiegata per la realizzazione dei segnali contenenti il simbolo del TELEPEDAGGIO.

I materiali scelti dall'Appaltatore non dovranno presentare, per almeno 7 anni di esposizione all'esterno per quelle non retro-riflettenti e retro-riflettenti di classe RA1, 10 anni per quelle retro-riflettenti di classe RA2, alcuna decolorazione, nessuna fessurazione, corrugamento, formazione di scaglie o bolle, cambio di dimensioni, segni di corrosione, distacco dal supporto o diminuzione dell'adesione.

Per verificare la costanza delle prestazioni nel tempo della visibilità diurna e notturna dei materiali retroriflettenti realizzati con la faccia a vista con la tecnologia a microsfere di vetro, a microprismi e fluoro-rifrangenti, le norme UNI EN 12899-1 e UNI 11480 prescrivono due modalità di verifica:

- l'invecchiamento naturale, con esposizione dei campioni per 3 anni inclinati a 45° rivolti verso sud, in conformità al Metodo A della UNI EN ISO 877-1,
- l'invecchiamento artificiale per un periodo di tempo pari a 2000 ore, in conformità alla norma UNI EN ISO 4892-2 utilizzando i parametri prescritti nel prospetto 5 della UNI EN 12899-1.

Al termine della prova di invecchiamento prescelta, naturale o strumentale, si applicano le condizioni seguenti:

- le coordinate cromatiche e il fattore di luminanza devono essere conformi ai requisiti del § 4.1.1.3 della UNI EN 12899-1
- il coefficiente di retroriflessione non deve essere minore dell'80% (50% per RA1) dei valori indicati al § 4.1.1.4 della UNI EN 12899-1 quando sottoposti a prova ad un angolo di osservazione di α=20° e ad angoli di illuminazione β_1= 5° e 30°, con β_2=0°.

35.3.1.1 Segnali transilluminati

Il progetto può anche prevedere, tipicamente nei tratti in galleria, che i segnali verticali di pericolo, prescrizione e indicazione di cui al § 35.3 e quelli per le vie di fuga e luoghi sicuri, siano illuminati per trasparenza in accordo al Codice della Strada e al DPR n. 495 del 16 dicembre 1992 "Regolamento di esecuzione ed attuazione del nuovo Codice della Strada" e s.m.i. così come definito negli elaborati progettuali.
I segnali all'interno delle gallerie utilizzati per segnalare le vie di fuga o i luoghi sicuri dovranno essere conformi a quanto contenuto nel D.Lgs. n°264 del 5 ottobre 2006 di attuazione della Direttiva Europea 2004/54/CE del 29 aprile 2004.

Tali segnali devono possedere marcatura CE e DOP ai sensi della norma UNI EN 12899-1 con sistema di attestazione di conformità di tipo 1.
Secondo quanto previsto dalla citata UNI EN 12899-1, i livelli minimi di protezione per gli alloggiamenti dei segnali transilluminati e delle apparecchiature di illuminazione, contro la penetrazione di acqua e polvere, previsti dalla CEI EN 60529, devono essere dichiarati di livello 4 per le particelle solide e di livello 4 per l'acqua.
Il livello minimo per la luminanza di cui al punto 7.3.1.4 della UNI EN 12899-1 è la classe L3.
I valori minimi per l'uniformità di luminanza devono essere quelli di cui al prospetto 15 della norma UNI 11488 di seguito richiamato:

Classe	Rapporto massimo
U2	1/6

La procedura di prova per la luminanza deve essere quella riportata al § 7.3.1.7.1 della UNI EN 12899-1.

35.3.2 Prestazioni strutturali dei segnali

I sostegni intesi come la struttura che sostiene il pannello e il pannello stesso inteso come la struttura che sostiene il supporto (ove è applicato il materiale faccia a vista) con i relativi elementi di rinforzo e fissaggio deveno possedere marcatura CE e DOP ai sensi della norma UNI EN 12899-1 con sistema di attestazione di conformità di tipo 1. Sono esclusi da marcatura CE, ai sensi della EN 12899-1, i sostegni con struttura del tipo indicato al § 35.3.5 per cui si applicano i contenuti dell'art. 25 e 25 bis di questo capitolato.

Le prestazioni strutturali dei sostegni e dei pannelli devono soddisfare i requisiti di cui al capitolo 5 della norma UNI 11480 e quelli del capitolo 5 della norma armonizzata UNI EN 12899-1 oltre alla Direttiva Ministeriale n. 4867/RU.
L'integrità strutturale dei sostegni e del pannello è da valutare in funzione alle seguenti prestazioni di cui alla norma UNI EN 12899-1:

- Classi di spinta del vento in conformità ai valori di cui al seguente prospetto 8 della citata norma:

Classe	Carico del vento $kN \times m^{-2}$
WL0	Nessuna prestazione determinata
WL1	0,40
WL2	0,60
WL3	0,80
WL4	0,90
WL5	1,00
WL6	1,20
WL7	1,40
WL8	1,50
WL9	1,60

- Classi del carico dinamico da rimozione neve in conformità ai valori di cui al seguente prospetto 9:

Classe	Carico dinamico della neve $kN \times m^{-2}$
DSL 0	Nessuna prestazione determinata
DSL 1	1,5
DSL 2	2,5
DSL 3	3,0
DSL 4	4,0

- Classi dei carichi concentrati in conformità ai valori di cui al seguente prospetto 10:

Classe	Carico concentrato kN
PL0	Nessuna prestazione determinata
PL1	0,15
PL 2	0,30
PL3	0,50
PL4	0,75
PL5	1,00

- Classi di deformazione temporanea massima a flessione in conformità ai valori di cui al seguente prospetto 11:

Classe	Flessione $mm \times m^{-1}$
TDB0	Nessuna prestazione determinata
TDB1	2
TDB2	5
TDB3	10
TDB4	25
TDB5	50
TDB6	100

- Classi di deformazione temporanea massima a torsione in conformità ai valori di cui al seguente prospetto 12:

Classe	Torsione $grado \times m^{-1}$
TDT0	Nessuna prestazione determinata
TDT1	0,02
TDT2	0,06
TDT3	0,11
TDT4	0,29
TDT5	0,57
TDT6	1,15

L'integrità strutturale dei sostegni di grandi dimensioni tipo i portali non ricade nel campo di applicazioni della UNI EN 12899-1 ma è considerata nei calcoli e nelle verifiche statiche delle singole strutture.

Salvo diversa indicazione progettuale i valori minimi per le prestazioni strutturali devono essere conformi, per tutti i materiali utilizzati, alle seguenti classi:

- Spinta del vento: Classe WL7
- Carico dinamico da neve: Classe DSL1
- Carichi concentrati: Classe PL1
- Deformazioni Temporanee - Flessione: Classe TDB5
- Deformazioni Temporanee - Torsione: TDT3
- Deformazioni permanenti: ≤ 20% di TDB5 (come prescritto § 5.4.2 UNI EN 12899-1)

Le prestazioni strutturali dei sostegni e dei pannelli devono essere dichiarate a cura ed onere dell'Appaltatore con la DoP in applicazione a quanto previsto al punto 5.4.4 della norma UNI EN 12899-1.

35.3.3 Caratterisiche dei segnali

35.3.3.1 Generalità

L'altezza dei caratteri alfabetici componenti le iscrizioni è definita nel progeto in modo tale da garantire una distanza di leggibilità non inferiore ai limiti di cui all'art. 79 del Regolamento.

Il raggio di curvatura dei supporti non deve risultare minore di 10 mm.
Quando i supporti del segnale sono rinforzati con elementi addizionali la faccia a vista non deve avere alcuna foratura in accordo al § 5.8 della UNI 11480.
I supporti devono avere un bordo di tipo E2 secondo la classificazione riportata al prospetto 14 della UNI EN 12899; tali bordi non devono avere soluzione di continuità (fatti salvi i segnali compositi nei punti di giunzione). L'altezza minima del bordo, misurata dall'esterno, deve essere:

- Per supporti fino a 3 m^2: 15 ± 3 mm
- Per supporti maggiori di 3 m^2: 20 ± 3 mm

35.3.3.2 Specifiche per il retro del pannello

Per i segnali in acciaio, alluminio e per quelli in materia plastica e fibra polimerica rinforzata, il fabbricante deve assicurare che il colore del retro e del bordo del pannello venga realizzato di un colore neutro uniforme corrispondente e similare al RAL 7016.
In generale, a parità di caratteristiche tecniche, si dovrà preferire prodotti ad elevate prestazioni ambientali (ad es. biodegradabilità).
Oltre alle informazioni previste dalla marcatura CE in accordo a quanto previsto dal comma 7 dell'art.77 del DPR n. 495 del 16 dicembre 1992 sul retro dei segnali verticali permanenti devono essere chiaramente indicati:

- l'ente o l'amministrazione proprietari della strada;
- il marchio della ditta che ha fabbricato il segnale;
- il marchio della ditta che ha fornito o installato il segnale (non obbligatorio ma opportuno)
- l'anno di fabbricazione

L'insieme delle predette annotazioni non deve superare la superficie di 200 cm².
Sul retro dei segnali di prescrizione, ad eccezione di quelli utilizzati nei cantieri stradali, devono essere riportati inoltre gli estremi dell'ordinanza emessa dall'ente proprietario ai sensi dell'Art. 5, comma 3 del Codice della Strada.
Le indicazioni di cui sopra devono essere apportate tramite serigrafia indelebile, etichetta serigrafata indelebile, etichetta con stampa indelebile o incisione.

35.3.3.3 Materiali

I materiali con cui devono essere formati i segnali stradali sono indicati al § 5.1 della norma UNI EN 12899-1 e devono essere scelti dall'Appaltatore nel rispetto dei requisiti di cui ai §§ 35.3.1 e 35.3.2 di forma e dimensione indicate nel progetto.
Generalmente il pannello è realizzato in alluminio conforme alla norma EN1999-1-1, dello spessore 30/10 mm se la superficie della faccia anteriore del cartello è uguale o superiore a 2,00 m^2, mentre per i cartelli con superficie inferiore a 2,00 m^2 la lamiera di alluminio avrà spessore di 25/10 mm.
Qualora i cartelli siano formati da più pannelli, questi dovranno essere nel più basso numero possibile e di dimensioni compatibili con la reperibilità delle lamiere sul mercato.

Generalmente il sostegno è realizzato in acciaio conforme alla norma EN 1933-1-1.

I fissaggi dei segnali devono essere compatibili con i sostegni così da impedire lo slittamento oppure la rotazione intorno al sostegno stesso e conformi al § 5.1 della norma UNI EN 12899-1. Il segnale finito deve essere provvisto di collari di aggancio per il sostegno aventi le stesse caratteristiche tecnico-costruttive e di disegno ovvero corrispondenti a quelli utilizzati nelle prove iniziali di tipo, relativamente ai rispettivi valori certificati.
Tutti i sostegni e controventi devono essere chiusi nella parte superiore con tappo di gomma o materiale plastico e recherà al piede un'asola per l'alloggiamento dello spinotto di ancoraggio al basamento di fondazione.

Le eventuali strutture saldate devono essere conformi alla norma EN 1011 e la saldatura deve essere effettuata con puntatrice elettrica (la distanza massima fra due punti deve essere di 150 mm) su profilati ad omega in modo da non creare sbavature o altra disuguaglianza sulla superficie del cartello. Per traverse a C la distanza massima fra due punti di saldatura deve essere di 100 mm. Non deve essere eseguita alcuna saldatura su sostegni e controventi già zincati.

35.3.3.3.1 Materiale dei pannelli dei segnali luminosi

Gli schermi dei segnali luminosi saranno costituiti da una lastra di policarbonato dello spessore minimo di 4 mm e comunque tale da garantire stabilità alle sollecitazioni a cui è sottoposto di cui ai requisiti indicati al § 35.3.2 e trasparenza tale da garantire i requisiti di cui al § 35.3.1.1.

35.3.3.4 Protezione contro la corrosione del pannello e del sostegno

Il rivestimento protettivo del pannello deve essere presente almeno sul bordo e sulla superficie posteriore del segnale e deve essere in conforme ai requisiti minimi del prospetto 14 della norma UNI 11480 di seguito richiamata da applicare anche per il sostegno:

Materiale	Classe
Acciaio	SP1
Alluminio	SP1
Legno	SP1
Fibra polimerica rinforzata	SP0
Plastiche	SP0

Il rivestimento protettivo deve avere, per i segnali in acciaio e in alluminio:

- Una adesione al supporto, verificata secondo la UNI EN ISO 2409
- Una resistenza alla corrosione, verificata secondo la UNI EN ISO 9227.

Il rivestimento delle superfici dei sostegni deve essere ottenuto con zincatura a bagno caldo, il quale deve presentarsi uniforme, perfettamente aderente, senza macchie, conforme a quanto previsto dalla norma UNI EN ISO 1461.
In ogni caso i supporti, le traverse, le staffe, i sostegni e tutti i materiali metallici che compongono l'impianto segnaletico, per almeno 10 anni di esposizione all'esterno, non dovranno presentare alcuna forma di ossidazione e ruggine, nemmeno in piccole quantità.

35.3.3.5 Congiunzioni dei pannelli costituenti i cartelli di grandi dimensioni

Premesso che il requisito di integrità strutturale delle congiunzioni dei pannelli costituenti i cartelli di grande diametro deve rientrare nella certificazione di prodotto, si precisa che la buona regola prevedere che tali congiunzioni si devono ottenere con l'apposizione, lungo i lembi contigui dei pannelli, di angolari in anticorodal, spessore 3 mm sia in senso orizzontale che verticale saldato come descritto al § 35.3.3.3.
Tale angolare deve essere opportunamente forato e munito di un numero di bulloncini di acciaio inossidabile da 1/4" sufficiente ad ottenere il perfetto accostamento dei lembi dei pannelli.

35.3.3.6 Prestazioni dei sostegni in caso di impatto con veicolo

Ove richiesto a progetto la prestazione del sostegno all'impatto di un veicolo deve essere riferita alla classe di prestazione prevista dalla UNI EN 12767. Nel caso il sostegno non sia certificato relativamente ad alcuna classe di prestazione, deve essere dichiarato di classe 0 secondo la citata EN 12767.

35.3.3.7 Prescrizioni per fissaggi specifici

Per piccoli lavori di manutenzione e riparazione, ove non sia elaborato uno specifico progetto, si disciplinano i fissaggi delle casistiche di cui ai seguenti §. Tali indicazioni sono applicabili solo nel caso non siano in contrasto con le prestazioni strutturali dei sostegni e dei pannelli di cui al § 35.3.2,

del capitolo 5 della norma UNI 11480, del capitolo 5 della norma armonizzata UNI EN 12899-1 e della Direttiva Ministeriale n. 4867/RU.

35.3.3.7.1 Strutture per segnali su New Jersey

I manufatti necessari per posizionare sulle barriere di sicurezza New Jersey i segnali, fino ad una superficie di 0,810 m² con sostegni in acciaio zincato del diametro 60 mm, devono essere realizzati con una sella in ferro di qualità conforme alla UNI EN 10025 - S235JR, di 5 mm che si adatti alla conformazione della barriera.
Nella testa della sella deve essere praticato un foro nel quale deve essere collocato un tubolare di 200 mm di altezza, di 76 mm di diametro, di 4 mm di spessore, alla cui estremità inferiore deve essere saldata una piastra in ferro di 100x100 mm, spessore 3 mm.
Dopo aver inserito il bicchiere nel foro realizzato nella sella, devono essere eseguite due saldature perimetrali interna ed esterna. Tale bicchiere deve essere predisposto, inoltre, con due fori passanti che consentano l'inserimento di due bulloni M12, per il bloccaggio del sostegno col cartello, classe 8.8 tesati a 2.000 kg. La testa del bicchiere deve essere sigillata con silicone o materiali similari, al fine di proteggere il manufatto da infiltrazioni d'acqua.
In ogni faccia laterale della sella deve essere eseguita un'asola di 40x24 mm per l'alloggiamento della barra filettata e due fori diametro 15 mm per l'eventuale posa di bulloni e relativi prigionieri metallici.

35.3.3.7.2 New Jersey con foro verticale

Il manufatto di cui al precedente paragrafo deve essere bloccato al New Jersey, usufruendo dei fori esistenti sulle facce laterali del manufatto stesso, mediante 2 bulloni con relativi prigionieri metallici ad espansione M12 x 100 che devono essere posizionati uno per faccia laterale.
Alla piastra in ferro, di 100x100 mm saldata con la sella, deve essere saldato, nella parte inferiore un tubolare di 300 mm con diametro di 48 mm.
Il bicchiere di cui sopra e la sella, devono essere uniti tra di loro saldando due fazzoletti in acciaio triangolari, di 100x150 mm spessore 5 mm, applicati nel senso del massimo sforzo.

35.3.3.7.3 New Jersey con foro orizzontale

Si deve adottare uno speciale manufatto in ferro calzante la testa del new jersey in corrispondenza del foro orizzontale esistente.
Il bloccaggio del manufatto alla barriera deve avvenire con una barra filettata M20 e due dadi autobloccanti, classe 8.8 tesata a 5.000 kg usufruendo del foro passante esistente.

35.3.3.7.4 New Jersey senza fori

Il bloccaggio del manufatto deve essere realizzato effettuando un foro passante al fine di poter inserire una barra filettata M20 e due dadi autobloccanti, classe 8.8 tesata a 5.000 kg.

35.3.3.7.5 Supporto per sostegni su barriera metallica

Il supporto per il bloccaggio del sostegno alla barriera metallica deve essere realizzato utilizzando una staffa in ferro, qualità UNI EN 10025-S235JR, composta da un collare normale o antirotazione che avvolge il palo, una piastra sagomata a C, spessore 5 mm, sulla quale devono essere saldate due barre filettate diametro 14 mm e bulloneria necessaria.
Per quei casi particolari e puntuali, dove i manufatti previsti nel presente Capitolato Speciale non sono applicabili, La Direzione Lavori deve determinare la tipologia di attacco più idonea.

L'installazione di segnali in galleria, consentita solo su sostegni a parete o in volta, deve utilizzare staffe in ferro, qualità UNI EN 10025–S235JR, idonee alla parte di manufatto sulla quale devono essere fissate.

35.3.3.7.6 Traverse di rinforzo

Il rinforzo sul retro del cartello deve essere costituito da traverse orizzontali o verticali in alluminio, saldate elettricamente, per punti, al cartello.
Dette traverse devono essere dello spessore di 3 mm, piegate a C con le dimensioni di 56x30x15 mm se la misura del cartello, presa normalmente alle traverse, è ≥ di 500 mm. Se la misura del cartello è < di 500 mm le traverse a C devono essere di 45x17x12 mm e su queste non è previsto l'uso delle traverse di irrigidimento in ferro di cui all'art. 35.2.3.7.
La distanza in asse fra due traverse e quella dal bordo del cartello, non deve superare rispettivamente 500 mm e 250 mm.
I cartelli devono avere non meno di due traverse.

35.3.4 Fondazioni dei segnali

Nei casi di installazione di sostegni in tubolari in ferro su terra si deve realizzare un blocco di ancoraggio in calcestruzzo non inferiore alla classe di resistenza a compressione C16/20 delle dimensioni minime di 0,50x0,50x0,70 m.
Deve essere inoltre ripristinato, sia sullo spartitraffico che sulle scarpate o in qualunque altra situazione di continuità, il preesistente piano di posa.

Nei casi di installazione di portali, monopali e strutture in acciaio in genere occorre realizzare le fondazioni in calcestruzzo armato, delle dimensioni e qualità indicate a Progetto, di classe di resistenza a compressione comunque non inferiore a C20/25.
L'armatura di detti basamenti deve essere realizzata secondo quanto disposto negli elaborati progettuali.

Per la qualifica e i controlli del calcestruzzo, del ferro di armatura per c.a. e delle carpenterie metalliche si rimanda agli articoli di questo capitolato n. 20, 24, 25 e 25 bis.

35.3.5 Strutture in acciaio per portali e pensiline

I portali a cavalletto, a farfalla, a bandiera, monopalo, a messaggio variabile (PMV) e le strutture delle pensiline di stazione dovranno essere realizzati seguendo le prescrizioni progettuali e le indicazioni riportate negli articoli 25 e 25bis del presente CSA.
L'altezza minima tra il limite inferiore dei cartelli ed il piano stradale deve essere di 5,50 m salvo diverse indicazioni progettuali.
I cartelli da posizionare al di sopra delle pensiline di stazione devono essere installati su apposite strutture del tipo e qualità indicate negli elaborati progettuali e, se non diversamente specificato, con acciaio di qualità secondo la norma UNI EN 10025.
Sulle pensiline di vecchia costruzione si dovrà prestare particolare attenzione nell'installazione delle strutture, evitando di causare danni (infiltrazioni d'acqua, sfondamento delle coperture ecc.).

35.3.6 Segnaletica temporanea

Come previsto dalla Direttiva del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti n° 4867/RU del 5/8/2013, per la realizzazione delle facce a vista della segnaletica verticale temporanea dovrà ritenersi idoneo l'utilizzo di pellicole retroriflettenti che abbiano ottenuto la marcatura CE ai sensi

della Norma armonizzata, senza alcun obbligo di ulteriori certificazioni, purché in coerenza con quanto previsto dal Regolamento e dal Decreto Ministeriale 10 luglio 2002 "Disciplinare tecnico relativo agli schemi segnaletici differenziati per categoria di strada da adottare per il segnalamento temporaneo".

In ogni caso si prescrive che, salvo diversa indicazione contenuta negli elaborati progettuali, le pellicole dei segnali della segnaletica verticale temporanea dovranno essere di classe 2 con livello prestazionale base secondo quanto indicato al § 35.3.1, mentre per i sostegni si applica la classe WL6 di spinta del vento di cui al § 35.3.3.

35.4 Criteri di accettazione – Delineatori stradali

I delineatori stradali fanno parte del gruppo dei "Segnali Complementari" di cui all'art. 42, comma 1 del Codice della Strada e descritti compiutamente nel Regolamento. I segnali complementari si suddividono in:

- delineatori normali di margine (art. 173 Regolamento);
- delineatori speciali (art. 174 Regolamento);
- delineatori speciali per galleria di dimensione 150 mm di base e 100 mm di altezza con autorizzazione MINFRA-DIP4 prot. 0084900 del 17/09/2007;
- dispositivi per segnalare gli ostacoli (art. 175 Regolamento);
- isole di traffico (art. 177 Regolamento).

I delineatori dovranno possedere marcatura CE e DOP come di seguito specificato.

35.4.1 Delineatori normali di margine

I delineatori devono possedere la marcatura CE e DoP secondo la UNI EN 12899- 3, con sistema di attestazione di conformità di tipo 1.
Per i materiali retroriflettenti con microprismi dovrà essere rilasciato Benestare Tecnico Europeo o Valutazione Tecnica Europea (ETA) come da indicazioni del EAD 120001-01-0106.

Secondo la citata norma UNI EN 12899-3 i delineatori di margine si classificano in:

- D1: delineatori di margine da fissare al suolo, che non sono specificatamente progettati per essere riutilizzati in seguito alla prova d'urto descritta nel punto 7.4.1.3 della norma UNI EN 12899-3;
- D2: delineatori di margine da fissare al suolo, che sono progettati per essere riutilizzati in seguito alla prova d'urto descritta nel punto 7.4.1.3 della norma UNI EN 12899-3 (per esempio quelle parti che possono essere spostate, ma che sono progettate per essere rimontate);
- D3: delineatori di margine da fissare al suolo che, progettualmente, si deformano tornando ad una posizione perpendicolare (ritorno elastico o flessibile) in seguito alla prova d'urto descritta nel punto 7.4.1.3 della norma UNI EN 12899-3;
- D4: delineatori di margine da fissare a strutture (permanenti), per esempio ponti, barriere di protezione e barriere di sicurezza.

Sempre secondo la UNI EN 12899-3, i dispositivi rifrangenti applicati sui delineatori si suddividono in:

- R1 pellicole retroriflettenti
- R2 catadiottri di plastica

- R3 lenti biconvesse di vetro

35.4.1.1 Requisiti prestazionali visivi e fisici

In conformità alla norma UNI EN 12899-3 i requisiti prestazionali richiesti per i dispositivi sono:

- per le prestazioni visive:
  - le coordinate cromatiche e il fattore di luminanza delle superfici dei delineatori di margine devono essere conformi al prospetto 1 della norma UNI EN 12899-3;
  - Le coordinate cromatiche diurne e il fattore di luminanza delle superfici dei dispositivi rinfrangenti devono essere conformi al prospetto 1 o 2 della norma UNI EN 12899-1;
  - Le coordinate cromatiche iniziali notturne della radiazione riflessa dei dispositivi rinfrangenti devono rientrare nei campi del prospetto 2 della UNI EN 12899-3. Per i materiali che utilizzano la tecnologia a microprismi dovrà essere rilasciato Benestare Tecnico Europeo o Valutazione Tecnica Europea (ETA) come da indicazioni del EAD 120001-01-0106;
  - Il coefficiente di retroriflessione R_A iniziale minimo delle pellicole retroriflettenti (tipo R1) deve essere di classe RA2 secondo il prospetto 4 della EN 12899-1;

- per le prestazioni fisiche dei delineatori di margine:
  - Requisito statico (carico del vento): i delineatori di margine D1, D2 e D3 non devono essere danneggiati (quando sottoposti a prova di cui al § 7.4.1.1 della UNI EN 12899-3) o non devono mostrare una deformazione permanente maggiore del 5% dell'altezza sopra la linea del suolo. La deformazione temporanea non deve eccedere in 15% in conformità alla classe WL1 di cui al prospetto 7 della UNI EN 12899-3;
  - Resistenza all'urto dinamico materiale: quando sottoposti a prova di cui al § 7.4.1.2 della UNI EN 12899-3 nessun delineatore D1, D2 o D3 deve essere danneggiato o diviso in pezzi, non vi deve essere alcuna deformazione permanente maggiore del 5% dell'altezza sopra la linea del suolo;
  - Resistenza all'urto dinamico funzionale: non vi deve essere alcuna deformazione permanente dei tipi D2 o D3 maggiore del 5% dell'altezza al di sopra della linea del suolo quando sottoposti a prova di cui al § 7.4.1.3 della UNI EN 12899-3;
  - Resistenza all'urto dinamico con collisione: i delineatori D1, D2 o D3 con una massa maggiore di 6 kg devono essere sottoposti alla prova in conformità al § 7.4.1.4 della UNI EN 12899-3;
  - Resistenza alla corrosione: qualora i delineatori di margine utilizzino parti metalliche ricoperte da plastica, queste devono esser sottoposte ad una prova alla nebbia salina in conformità al § 7.4.1.5 della UNI EN 12899-3 e non devono mostrare alcun segno di corrosione. La prova non è applicabile alle parti zincate a caldo;
  - Invecchiamento naturale: in seguito all'esposizione di cui alla prova del § 7.4.1.6 della UNI EN 12899-3, è necessario sottoporre i delineatori a prova di visibilità diurna che deve essere conforme al prospetto 1 e a prova di resistenza agli urti, in conformità al § 7.4.1.2 della UNI EN 12899-3, e non devono rompersi o dividersi in pezzi.

- per le prestazioni fisiche dei dispositivi rinfrangenti:
  - Resistenza all'urto dinamico con collisione: i dispositivi rinfrangenti, sottoposti alla prova in conformità al § 7.4.2.2 della UNI EN 12899-3, non devono mostrare alcuna rottura o delaminazione al di fuori di un cerchio con raggio 12 mm con il punto d'urto al centro;

- Resistenza alla corrosione: solo per dispositivi rinfrangenti metallizzati in seguito alla prova di cui al § 7.4.2.3 della UNI EN 12899-3, il coefficiente di retroriflessione medio non deve essere minore dell'80% dei valori richiesti al § 6.3.2.3 della citata norma come appropriato;
- Resistenza all'acqua: dopo l'esposizione in conformità al § 7.4.2.4 della UNI EN 12899-3 i dispositivi rinfrangenti non devono mostrare alcun segno di penetrazione all'acqua o di vapore acqueo nei bordi dei dispositivi ringrangenti R1 e non deve esserci indicazione di deterioramento;
- Durabilità: i dispositivi rinfrangenti R1, classe RA1 e RA3 devono essere sottoposti per 3 anni in conformità al metodo A della EN ISO 877, ed essere poi posti a prova in conformità al § 4.1.1.5 della UNI EN 12899-1. Le coordinate cromatiche della radiazione retroriflessa devono rientrare nei campi definiti nel prospetto 2 della UNI EN 12899-3. Il coefficiente di retroriflessione non deve essere minore dell'80% dei valori richiesti al § 6.3.2.3 della UNI EN 12899-3. In seguito alla prova della resistenza agli urti in conformità al § 7.4.2.2 della UNI EN 12899-3, non vi deve essere alcuna rottura o delaminazione al di fuori di un cerchio con raggio 12 mm con il punto d'urto al centro.

35.4.1.2 Altri requisiti da utilizzare ove non diversamente specificato negli elaborati progettuali

Lungo le carreggiate autostradali e sui rami di svincolo monodirezionali i delineatori in sinistra dovranno avere due elementi rifrangenti di colore giallo della superficie minima rifrangente di 30 cm^2 e quelli in destra uno della superficie minima rifrangente di 60 cm^2.
Sui rami di svincolo bidirezionali i delineatori in sinistra, rispetto alla corrente di traffico dovranno avere un elemento rifrangente di colore bianco e in destra un elemento rifrangente di colore rosso; entrambi dovranno avere una superficie minima rifrangente di 30 cm^2.
I delineatori sono costituiti da paletti di colore bianco con fascia nera alta 25 cm, posta nella parte superiore, nella quale devono essere inseriti elementi rifrangenti volti verso le correnti di traffico interessate.
Il paletto del delineatore deve essere a sezione trapezoidale con spigoli arrotondati che devono potersi iscrivere in un rettangolo di 10x12 cm, con lato minore parallelo all'asse stradale.
Devono essere costruiti mediante soffiaggio, in appositi stampi, di una candela continua di polietilene ad alta densità e della migliore qualità, arricchito di aditivi antinvecchiamento. La parte superiore di colore nero dovrà essere incorporata nel segnalimite in fase di stampaggio, escludendosi operazioni di verniciatura o incastro a pressione.
I paletti dei delineatori devono portare impresso l'anno di fabbricazione ed il marchio della ditta produttrice.
Nel delineatore di destra, l'elemento rifrangente deve essere di colore giallo, di forma rettangolare e della superficie rifrangente minima di 60 cm^2; nel delineatore di sinistra i due elementi rifrangenti, posti verticalmente l'uno rispetto all'altro, devono essere di colore giallo, di forma rettangolare e ciascuno, con una superficie rifrangente minima di 30 cm^2, ad una distanza fra loro pari al doppio dell'altezza di ciascun dispositivo, con una tolleranza in più del 10%.
Sia i catadiottri di destra che quelli di sinistra, corrispondenti, devono avere le stesse dimensioni e caratteristiche, con la base maggiore parallela alla pavimentazione stradale.
Gli elementi rifrangenti devono essere realizzati in metacrilato di metile di colore giallo.
I delineatori devono inoltre essere collocati come stabilito dall'art. 173 del Regolamento di Esecuzione e Attuazione del Nuovo Codice della Strada: al limite esterno della banchina e comunque a non meno di 50 cm dal bordo esterno della carreggiata.

I delineatori devono essere infissi nel terreno per una profondità di 30 cm, curando sia la verticalità e l'allineamento del paletto stesso che l'angolarità del o dei catadiottri. Il terreno intorno al paletto va compattato.
I delineatori posizionati su cordoli o cunette in calcestruzzo devono essere infissi in un foro sagomato praticato nel calcestruzzo stesso.
L'altezza fuori terra deve essere compresa fra 70 e 110 cm e comunque omogenea con gli altri delineatori adiacenti.
L'altezza tra il bordo inferiore dei catadiottri e la pavimentazione stradale deve essere quella figurante nei disegni, curando scrupolosamente che tali altezze restino costanti lungo la medesima tratta anche quando si passa da un tipo all'altro di delineatore.
Qualora si presenti la necessità di installare delineatori su manufatti diversi da quelli di seguito elencati l'Appaltatore dovrà essere studiati i nuovi tipi di supporti e di attacchi, fermo restando i principi basilari prescritti dalle presenti norme, comunque, gli elementi rifrangenti devono essere fissati al supporto metallico mediante attacchi a baionetta o simili e comunque mai incollati.

Nel caso di delineatori su barriere di sicurezza tipo New Jersey, questi devono avere le seguenti caratteristiche:

- i supporti devono essere realizzati in alluminio di spessore 20/10 mm;
- i catadiottri, sia quelli di sinistra che quelli di destra, devono aver dimensioni che garantiscano una superficie minima rifrangente di 10x6 cm.

Nel caso di posizionamento su New Jersey monofilari, i delineatori devono essere installati utilizzando i fori esistenti nel manufatto, con tassello ad espansione.

- Detto tassello, sotto l'azione di una vite a brugola di 6 mm, dilatandosi deve esercitare sulla parete del foro una pressione tale da ostacolarne la fuoriuscita.

Nel caso di New Jersey bifilari e laterali, i delineatori devono essere installati mediante l'impiego di n. 2 tasselli con vite a chiodo.

- Dette viti devono essere zincate galvanicamente e passivate e devono avere una lunghezza minima di 35 mm con il foro di diametro ..

Nel caso di barriere metalliche, i delineatori devono avere le seguenti caratteristiche:

- I supporti devono essere realizzati in lamiera di ferro nello spessore rappresentato nei disegni tipo e zincato a caldo secondo quanto previsto nelle norme CEI 7.6 del luglio 1968.
- Nella realizzazione dei supporti si deve tenere conto della diversa inclinazione delle lame nei vari tipi di guard-rail esistenti sulla rete autostradale da cui scaturisce una diversa angolazione dell'asta di supporto dei catadiottri rispetto all'onda stessa; questa per mantenere costante la verticalità del dispositivo.
- I catadiottri, sia quelli di sinistra che quelli di destra, devono aver dimensioni che garantiscano una superficie minima di 10x6 cm
- Devono essere posizionati sulla parte superiore del nastro con sistemi di attacco tali da non interessare in alcun modo la bulloneria necessaria per l'unione tra le barriere e quella tra le barriere e i montanti.
- Il metodo di attacco deve essere del tipo indicato negli elaborati progettuali, formato da piastra di acciaio sagomata e collegata al supporto tramite una vite a brugola del diametro di 6 mm, anche essi zincati come sopra.

Nel caso di muri di controripa, i delineatori devono avere le seguenti caratteristiche:

- I supporti devono essere realizzati in alluminio spessore 20/10 mm.
- I catadiottri devono avere una superficie riflettente di 15x10 cm.
- Per mantenere il lato maggiore del catadiottro orizzontale occorre determinare l'inclinazione del muro stesso e conseguentemente la piegatura da dare al supporto.

Nel caso di cordoli, muretti ed elementi prefabbricati di varie altezze devono essere realizzati delineatori con supporti tali da mantenere orizzontalità e altezza costante.

- Il fissaggio di detti delineatori deve esser eseguito come quello indicato per i New Jersey.

35.4.2 Delineatori speciali

Per delineatori speciali si intendono, secondo l'art. 174 del Regolamento di Esecuzione e Attuazione del Nuovo Codice della Strada, quei delineatori utilizzati come dispositivi permanenti tra cui:

- delineatori in galleria
- delineatori modulari di curva

Quando i delineatori speciali rientrano nel campo di applicazione della norma UNI EN 12899-3 devono possedere la marcatura CE e DoP secondo la citata norma, con sistema di attestazione di conformità di tipo 1. Per i materiali retroriflettenti con microprismi dovrà essere rilasciato Benestare Tecnico Europeo o Valutazione Tecnica Europea (ETA) come da indicazioni del EAD 120001-01-0106.
In tal caso si applicano i requisiti prestazionali visivi e fisici di cui al § 35.4.1.1

Quando i delineatori speciali rientrano nel campo di applicazione della norma UNI EN 12899-2 devono possedere la marcatura CE e DoP secondo la citata norma, con sistema di attestazione di conformità di tipo 1. Per i materiali retroriflettenti con microprismi dovrà essere rilasciato Benestare Tecnico Europeo o Valutazione Tecnica Europea (ETA) come da indicazioni del EAD 120001-01-0106.
In tal caso si applicano i requisiti prestazionali di cui al §§ 35.3.1 e 35.3.2.

In caso di utilizzo di delineatori transilluminati questi devono posseder marcatura CE e DoP secondo la norma UNI EN 12899 parte 2 con sistema di attestazione di conformità di tipo 1 e si applicano i requisiti prestazionali contenuti nella predetta norma armonizzata.

35.4.2.1 Altri requisiti da utilizzare ove non diversamente specificato negli elaborati progettuali

I delineatori in galleria devono avere le caratteristiche previste dalle presenti norme e di seguito elencate.
I catadiottri, sia quello di destra che quelli di sinistra, devono avere le dimensioni della superficie rifrangente di 15x10 cm.
In sinistra oltre ai due catadiottri posti nel senso di marcia, il delineatore ne deve avere un terzo sul retro, con uguali caratteristiche e dimensioni, ma di colore rosso.
In destra oltre al catadiottro posto nel senso di marcia, il delineatore deve avere sul retro un altro catadiottro con uguali caratteristiche e dimensioni ma di colore bianco.
In relazione alle diverse situazioni devono essere adottate le seguenti tipologie di delineatori:
a) Gallerie con guard-rail
- i delineatori devono avere caratteristiche uguali a quelli previsti per i guard-rail a cielo aperto, ma di dimensioni maggiorate, sia nel supporto che nell'attacco e devono essere installati sulla parte superiore della lama;

b) Gallerie senza marciapiede e senza guard-rail
- i delineatori devono avere i supporti in alluminio 30/10 mm in sinistra e 25/10 mm in destra e devono essere installati sui piedritti delle gallerie mediante l'impiego di n. 3 tasselli con vite a chiodo. Dette viti devono essere uguali a quelle utilizzate per delineatori su New Jersey. Per rispettare la condizione di parallelismo bisogna sagomare opportunamente i supporti secondo l'inclinazione del piedritto stesso;

c) Gallerie con marciapiede
- i delineatori devono avere il supporto in profilato di ferro, spesso 4 mm, avente alla base una piastra in ferro saldata di 10x15 cm, spessore 3 mm, zincata a caldo con quattro fori;
- in detto supporto deve essere fissato un pannello in alluminio30/10 mm per quelli in sinistra e 25/10 mm per quelli in destra, sui quali devono essere fissati i catadiottri necessari;
- il montaggio del delineatore al marciapiede deve essere ottenuto mediante n. 2 bulloni e prigionieri metallici ad espansione.

I delineatori modulari di curva sono regolamentati dall'art. 174 comma e) del Regolamento e devono essere impiegati nei casi previsti in progetto in genere con l'uso di pannelli modulari di curva Fig. II 468 del Regolamento di Esecuzione e Attuazione del Nuovo Codice della Strada, delle dimensioni di 90x90 cm. In condizioni particolari - svincoli, rampe, ecc. qualora gli spazi non siano sufficienti per l'installazione del formato normale, sarà possibile utilizzare il formato ridotto 60x60 cm.
Tali pannelli devono essere realizzati in alluminio 25/10 mm, la faccia anteriore ricoperta da pellicola nera non retro-riflettente e il disegno a punta di freccia realizzato con pellicola bianca retro-riflettente di classe 2 superiore secondo quanto definito al § 35.3.1.

35.5 Criteri di accettazione – Segnaletica orizzontale

Per segnaletica orizzontale si intende quella individuata dall'art. 40 del Codice della Strada e si divide in:

a) strisce longitudinali;
b) strisce trasversali;
c) attraversamenti pedonali o ciclabili;
d) frecce direzionali;
e) iscrizioni e simboli;
f) strisce di delimitazione degli stalli di sosta o per la sosta riservata;
g) isole di traffico o di presegnalamento di ostacoli entro la carreggiata;
h) strisce di delimitazione della fermata dei veicoli in servizio di trasporto pubblico di linea;
i) altri segnali stabiliti dal regolamento.

Le strisce longitudinali possono essere continue o discontinue. Le continue, ad eccezione di quelle che delimitano le corsie di emergenza, indicano il limite invalicabile di una corsia di marcia o della carreggiata; le discontinue delimitano le corsie di marcia o la carreggiata.
La segnaletica orizzontale è definita come forma, dimensione, colore, simboli e caratteristiche negli elaborati progettuali conformemente agli articoli dal 137 al 155 del Regolamento che ne definisce anche le modalità di impiego e di applicazione.

I materiali utilizzati per la segnaletica orizzontale dovranno possedere marcatura CE e DoP come di seguito specificato.

Tutti i materiali dovranno essere esenti da sostanze pericolose. Per la pittura gialla, il pigmento dovrà essere alternativo al cromato di piombo che l'Unione Europea ha inserito tra le sostanze vietate e soggette a preventiva autorizzazione (Regolamento dell'Unione Europea 125/2012 del 14/02/2012).

35.5.1 Requisiti prestazionali

I requisiti prestazionali che la segnaletica orizzontale deve possedere sono richiesti dal c. 4 dell'art. 137 del Regolamento e definiti nella norma UNI EN 1436 richiamata come riferimento dalla Direttiva 24/10/2000 n. 6688 del Ministero delle Infrastrutture e Trasporti (§3.2). Detti requisiti sono specificati anche nel rapporto tecnico UNI/TR 11670 che tratta anche argomenti legati alla scelta dei materiali per la segnaletica orizzontale, ai controlli e ai metodi di rimozione.

I requisiti della segnaletica orizzontale, ai quali tutti i prodotti scelti dall'Appaltatore, devono ottemperare per tutta la loro vita utile. Valori prestazionali minori a quelli richiesti sono da considerare insufficienti a garantire il mantenimento degli standard di sicurezza previsti. La segnaletica orizzontale deve essere efficiente subito dopo la posa in opera.

Gli standard prestazionali richiesti sono riferiti a:

- Riflessione alla luce diurna o in presenza di illuminazione stradale
- Retroriflessione in condizioni di illuminazione con i proiettori dei veicoli
- Colore
- Resistenza al derapaggio

35.5.1.1 Riflessione alla luce diurna o in presenza di illuminazione stradale

Tra i metodi di misura dela riflessione della segnaletica orizzontale asciutta in condizioni di luce diurna o in presenza di illuminazione stradale definiti al § 4.2 della UNI EN 1436 si prende a riferimento quello del coefficiente di luminanza Q_d in conformità all'appendice A della stessa norma, misurato nella direzione del traffico ed espresso come mcd x m^{-2} x lx^{-1} . Le classi Qd sono definite nel prospetto 1 della UNI EN 1436 che si riporta sotto:

Colore del segnale orizzontale	Tipo di manto stradale	Classe	Coefficiente di luminanza minimo in condizioni di illuminazione diffusa Q_d in $mcd \cdot m^{-2} \cdot lx^{-1}$
Bianco	Asfalto	Q0	Nessun valore richiesto
		Q2	$Q_d \geq 100$
		Q3	$Q_d \geq 130$
		Q4	$Q_d \geq 160$
		Q5	$Q_d \geq 200$
	Calcestruzzo	Q0	Nessun valore richiesto
		Q3	$Q_d \geq 130$
		Q4	$Q_d \geq 160$
		Q5	$Q_d \geq 200$
Giallo		Q0	Nessun valore richiesto
		Q1	$Q_d \geq 80$
		Q2	$Q_d \geq 100$
		Q3	$Q_d \geq 130$

Le classi ammesse per tutti i tipi di strade sono:

- Q2 per il colore bianco su asfalto
- Q3 per il colore bianco su calcestruzzo
- Q1 per il colore giallo

35.5.1.2 Retroriflessione in condizioni di illuminazione con i proiettori dei veicoli

Per misurare la retroriflessione in condizione di illuminazione con i proiettori dei veicoli si utilizza il coefficiente di luminanza retroriflessa RL. La misura deve essere effettuata in direzione del traffico in conformità all'appendice B della norma UNI EN 1436 ed il valore è espresso come mcd x m^{-2} x lx^{-1}. Le misure devono essere fatte:

- in condizioni di superficie stradale asciutta con riferimento alle classi di cui al prospetto 3 della EN 1436:

Tipo e colore del segnale orizzontale		Classe	Coefficiente minimo di luminanza retroriflessa R_L in mcd·m^{-2}·lx^{-1}
Permanente	Bianco	R0	Nessun valore richiesto
		R2	$R_L \geq 100$
		R3	$R_L \geq 150$
		R4	$R_L \geq 200$
		R5	$R_L \geq 300$
	Giallo	R0	Nessun valore richiesto
		R1	$R_L \geq 80$
		R2	$R_L \geq 100$
		R3	$R_L \geq 150$
		R4	$R_L \geq 200$
		R5	$R_L \geq 300$
Provvisorio		R0	Nessun valore richiesto
		R2	$R_L \geq 100$
		R3	$R_L \geq 150$
		R4	$R_L \geq 200$
		R5	$R_L \geq 300$

Le classi ammesse sono:

  - R5 per il colore bianco ad uso permanente per strade di tipo A
  - R3 per il colore bianco ad uso permanente per strade di tipo B, C, D, E, F e giallo ad uso permanente per tutti i tipi di strade
  - R5 per il colore giallo ad uso provvisorio nelle strade di tipo A, B e D e classe R3 per gli altri tipo di strade in conformità al Punto 3.2.3 del Decreto del 10/07/2002 del MIT (S.O. G.U. n. 226/2002)

- in condizioni di superficie stradale bagnata con riferimento alle classi di cui al prospetto 4 della EN 1436:

Condizioni di bagnato	Classe	Coefficiente minimo di luminanza retroriflessa R_L in mcd·m^{-2}·lx^{-1}
Come si presenta 1 min dopo l'inondazione della superficie con acqua in conformità al punto B.6	RW0	Nessun valore richiesto
	RW1	$R_L \geq 25$
	RW2	$R_L \geq 35$
	RW3	$R_L \geq 50$
	RW4	$R_L \geq 75$
	RW5	$R_L \geq 100$
	RW6	$R_L \geq 150$

La classe ammessa per tutti i tipi di strade è la RW2

- in condizioni di superficie stradale con pioggia con riferimento alle classi di cui al prospetto 5 della EN 1436;

Condizioni di pioggia	Classe	Coefficiente minimo di luminanza retroriflessa R_L in $mcd \cdot m^{-2} \cdot lx^{-1}$
Come si presenta dopo almeno 5 min di esposizione in conformità al punto B.7 durante una precipitazione uniforme di 20 mm/h	RR0	Nessun valore richiesto
	RR1	$R_L \geq 25$
	RR2	$R_L \geq 35$
	RR3	$R_L \geq 50$
	RR4	$R_L \geq 75$
	RR5	$R_L \geq 100$
	RR6	$R_L \geq 150$

La classe ammessa per tutti i tipi di strade è la RR1

35.5.1.3 Colore

Le coordinate cromatiche x e y in condizione di luce diurna per la segnaletica orizzontale asciutta devono essere misurate in conformità all'appendice C della norma UNI EN 1436 e devono trovarsi all'interno delle regioni definite dai vertici indicati nel seguente prospetto tratto dal quello n. 6 delle citata UNI.

Colore		Vertici			
		1	2	3	4
Bianco	x	0.355	0,305	0.285	0.335
	y	0.355	0.305	0.325	0.375
Giallo (classe Y1)	x	0.443	0.545	0.465	0.389
	y	0.399	0.455	0.535	0.431
Giallo (classe Y2)	x	0.494	0.545	0.465	0.427
	y	0.427	0.455	0.535	0.483
Geometria di lettura: 45°/0°, illuminazione a (45°±5°) e misura a (0°±10°)					
Nota: per il giallo le classi Y1 e Y2 sono intese per segnaletica permanente e temporanea.					

Le coordinate cromatiche x e y in condizione di luce retroriflessa di segnaletica orizzontale gialla asciutta devono essere misurate in conformità all'appendice C della norma UNI EN 1436 e devono trovarsi all'interno delle regioni definite dai vertici indicati nel seguente prospetto tratto dal quello n. 7 delle citata UNI.

Colore		Vertici			
		1	2	3	4
Giallo classe RC1	x	0.575	0,508	0.473	0.510
	y	0.425	0.415	0.453	0.490

35.5.1.4 Resistenza al derapaggio

La resistenza al derapaggio deve essere misurata in conformità alla EN 13036-4. Le classi di rifrimento sono indicate al prospetto 8 della norma UNI EN 1436:

Classe	Valore SRT minimo
S0	Nessun valore richiesto
S1	SRT ≥ 45
S2	SRT ≥ 50
S3	SRT ≥ 55
S4	SRT ≥ 60
S5	SRT ≥ 65

Le classi ammesse sono:

- S4 per strade di tipo A
- S1 per tutti i tipi di strade e per la segnaletica provvisionale gialla di cantiere

35.5.1.5 Campo prove

L'Appaltatore è tenuto ad eseguire, in contraddittorio con la Direzione Lavori, un campo prove dei prodotti che intende proporre in fase di qualifica di cui al § 35.6, per le varie superfici di applicazione (o su pavimentazioni con le medesime carattaristiche di quelle di progetto). Nel campo prove dovranno essere verificati i requisiti di cui ai precedenti §§ 35.5.1.1, 35.5.1.2 (solo per segnaletica orizzontale permanente), 35.5.1.3 e 35.5.1.4. Ove possibile è da preferire un campo prove da realizzare nella posizione ove la segnaletica sarà posata nella configurazione definitiva per testare l'impatto del traffico.
Nelle prove occorre utilizzare le macchine che saranno impegnate effettivamente in cantiere e occorre verificare la velocità di posa e la quantità di materiale impiegato.
Altro fattore importante da testare è l'influenza della condizioni ambientali (temperatura aria, pavimentazione e velocità del vento) al momento della posa e quindi il test andrebbe fatto, quando possibile, nelle condizioni più sfavorevoli ma entro i limiti definiti dal produttore.
Nel caso di applicazioni di materiali da postspruzzare occorre verificare se la modalità di posa è efficace in termini di inserimento, affondamento ed adesione dei materiali da postspruzzare mediante l'uso di lenti di ingrandimento.
Laddove occorre far transitare il traffico nell'immediatezza dell'esecuzione della segnaletica orizzontale è necessario determinare anche il tempo di essiccazione per valutare la compatibilità con i tempi di parzializzazione o chiusura stradale e autostradale. Sono da preferire sempre soluzioni a minor tempo di essiccazione per limitare al massimo l'impatto sul traffico e ridurre il rischio dovuto all'esposizione al traffico degli operai impegnati nelle lavorazioni.

35.5.2 Materiali per segnaletica orizzontale

Se i materiali da utilizzare per la segnaletica orizzontale non sono specificati negli elaborati progettuali l'Appaltatore dovrà selezionare quelli disponibili a mercato utilizzando le considerazioni di cui al § 7 della UNI/TR 11670 che tengono conto:

- Delle caratteristiche della strada e del traffico
- Della compatibilità con il substrato sia in caso di prima applicazione che di ripasso di segnaletica preesistente

Si specifica che, in caso di pavimentazione stradale di nuova realizzazione, l'Appaltatore deve considerare il fenomeno dell'invecchiamento primario del legante bituminoso che può impedire nel breve termine l'adesione della segnaletica sullo strato di usura e può provocare una variazione di colore. Nel caso in cui la viabilità deve essere aperta al traffico nell'immediatezza dell'esecuzione dello strato di usura, per ovviare a tale problema e nel rispetto dei tempi contrattuali, è possibile eseguire una doppia stesura del prodotto:

- la prima con requisiti ridotti rispetto a quelli di cui al § 35.5.1 e durabilità delle prestazioni limitata nel tempo. In tale configurazione il Direttore dei Lavori deve valutare congiuntamente con il Gestore dell'infrastruttura, l'opportunità di applicare delle limitazioni di velocità rispetto a quelle previste in progetto;
- la seconda, dopo un paio di mesi da eseguire quando la superficie bituminosa si è stabilizzata, da eseguire nel rispetto dei requisiti di cui al § 35.5.1.

L'Appaltatore deve altresì considerare che, in caso di applicazioni su pavimentazioni drenanti, il materiale scelto non alteri in alcun modo le capacità drenanti dello strato sottostante.

I materiali da utilizzare per la segnaletica orizzontale devono rientrare tra quelli dei seguenti paragrafi.

35.5.2.1 Pitture

Le pitture sono materiali liquidi con solidi in sospensione dispersi in un sistema costituito da resine e solvente. Può essere fornito sotto forma di mono-componente o a più componenti. Le pitture si suddividono in tre famiglie:

1 – a base di resina acrilica in emulsione acquosa
2 – a base di resina acrilica in solvente organico
3 – a bse di resina alchidica in solvente organico

Per ottenere le prestazioni richieste per la segnaletica orizzontale di cui al § 35.5.1 le pitture in genere devono essere trattate con microsfere di vetro e granuli antiaderenti postspruzzati.

In attesa di una norma armonizzata di marcatura CE le pitture dovranno essere testate secondo la norma UNI EN 1871 e/o UNI EN 1436 a dimostrazione dei requisiti richiesti nel § 35.5.1.
Costituiscono materiali preferenziali quelli dotati di marcatura CE o DoP secondo il Documento Europeo di Valutazione EAD n. 230011-00-0106 con attestazione del sistema di conformità di tipo 1.
Le microsfere di vetro e i granuli antiaderenti impiegati per la postspruzzatura devono essere dotati di marcatura CE e DoP secondo la norma UNI EN1423 con attestazione del sistema di conformità di tipo 1.

35.5.2.2 Termoplastico

Il materiale termoplastico a differenza del precedente è privo di solventi, viene fornito in blocchi sotto forma di prodotto granulare, in polvere o preformato (per esempio a forma di nastro) che viene riscaldato fino alla fusione prima delle applicazioni sulle superfici stradali e che raffreddandosi forma una pellicola coesiva.
All'interno del termoplastico è prevista la presenza di microsfere di vetro premiscelate con granulometrie varie.
Per ottenere le prestazioni richieste per la segnaletica orizzontale di cui al § 35.5.1 il termoplastico in genere deve essere trattato con microsfere di vetro e granuli antiaderenti postspruzzati.

In attesa di una norma armonizzata di marcatura CE il termoplastico deve essere testato secondo la norma UNI EN 1871 e/o UNI EN 1436 a dimostrazione dei requisiti richiesti nel § 35.5.1.
Costituiscono materiali preferenziali quelli dotati di marcatura CE o DoP secondo il Documento Europeo di Valutazione EAD n. 230011-00-0106 con attestazione del sistema di conformità di tipo 1.
Le microsfere di vetro e i granuli antiaderenti impiegati per la postspruzzatura devono essere dotati di marcatura CE e DoP secondo la norma UNI EN1423 con attestazione del sistema di conformità di tipo 1.

35.5.2.3 Materiali plastici a freddo

Prodotti liquidi-viscosi forniti in più componenti. Contengono solidi in sospensione in un sistema costituito da resina metacrilica e monomeri metacrilici che agiscono da diluenti del sistema che, con l'aggiunta di un catalizzatore al momento dell'uso, polimerizzano determinando l'indurimento del prodotto.

Per ottenere le prestazioni richieste per la segnaletica orizzontale di cui al § 35.5.1 il materiale in genere dovrà contenere sfere di vetro premiscelate durante il processo di fabbricazione e/o essere trattato con microsfere di vetro postspruzzate.

In attesa di una norma armonizzata di marcatura CE il materiale plastico a freddo deve essere testato secondo la norma UNI EN 1871 e/o UNI EN 1436 a dimostrazione dei requisiti richiesti nel § 35.5.1. Costituiscono materiali preferenziali quelli dotati di marcatura CE o DoP secondo il Documento Europeo di Valutazione EAD n. 230011-00-0106 con attestazione del sistema di conformità di tipo 1.
Le microsfere di vetro e i granuli antiaderenti impiegati per la postspruzzatura devono essere dotati di marcatura CE e DoP secondo la norma UNI EN1423 con attestazione del sistema di conformità di tipo 1.

35.5.2.4 Segnaletica preformata

La segnaletica orizzontale preformata è realizzata in fabbrica e di presenta sotto forma di simboli, strisce e rotoli. Si applica tramite adesivi, pressione, riscaldamento con o senza primer e può essere costituita da:

- Una sottile lamina di alluminio su cui è applicato un laminato elastoplastico
- Materiali bicomponenti o da termoplastici con o senza microsfere di vetro e granuli antiaderenti da postspruzzare

Tali materiali devono essere dotati di marcatura CE e DoP secondo la norma UNI EN 1790 con attestazione del sistema di conformità di tipo 1
Le microsfere di vetro e i granuli antiaderenti impiegati per la postspruzzatura devono essere dotati di marcatura CE e DoP secondo la norma UNI EN1423 con attestazione del sistema di conformità di tipo 1.

35.6 Dossier di prequalifica

L'Appaltatore deve trasmettere al Direttore dei Lavori per approvazione almeno 15 giorni prima dell'inizio delle attività, la documentazione di seguito elencata.
La mancata presentazione della documentazione preliminare comporta la non autorizzazione all'inizio dell'esecuzione dei lavori, né saranno accettate eventuali lavorazioni svolte prima dell'approvazione delle modalità esecutive.

- La marcatura CE e DoP o, in mancanza, le schede tecniche di tutti i materiali occorrenti per la realizzazione della segnaletica stradale
- La certificazione del sistema di controllo della produzione (FPC) e il Certificato UNI EN ISO 9001 del sistema di gestione qualità delle società produttrici dei materiali
- Il progetto costruttivo della segnaletica con l'indicazione dei materiali utilizzati per la segnaletica orizzontale e i contenuti delle targhe di segnaletica che per dimensione e carattare dovranno essere conformi agli elaborati progettuali

Per la segnaletica verticale l'Appaltatore dovrà fornire anche:

- I certificati delle prove di durabilità (invecchiamento naturale o artificiale di cui al § 35.3.1) per i vari materiali retroriflettenti che si intende utilizzare (microsfere di vetro, microprismi, fluoro-rifrangenti) e per le varie classi di progetto 1, 2 e 2S.

Per la segnaletica orizzontale l'Appaltatore dovrà fornire anche:

- i risultati del campo prove di cui al §35.5.1.5 nel rispetto dei requisiti richiesti. Se il progetto non individua i materiali da utilizzare il campo prove deve essere corredato da una breve relazione sulla conformità delle scelte fatte in riferimento al § 7 della UNI/TR 11670
- i macchinari utilizzati per i vari materiali proposti, le velocità di posa e le rese attese
- le condizioni ambientali limiti di posa in merito a: temperatura ambientale e della pavimentazione, umidità relativa ambientale, velocità del vento
- il tempo di essiccazione dei prodotti

Le prove e i certificati di accettazione iniziale della fase di prequalifica sono da ripetere ad ogni cambio fornitore o tipo di materiale a cura ed onere dell'Appaltatore. I requisiti d'accettazione potranno inoltre essere accertati con ulteriori prove a cura della Direzione Lavori sia in in fase di prequalifica (controllo non vincolante per l'autorizzazione), sia in corso d'opera, prelevando il materiale in sito, prima e dopo avere effettuato le lavorazioni.

Laddove il contratto o i documenti di gara prevedano l'utilizzo di acciai e materiali con ridotta emissione di CO^2 nell'atmosfera rispetto a dei valori di riferimento o laddove prevedano l'utilizzo di elementi composti da materiale riciclato, occorre rispettare i requisiti definiti in detti documenti e le prescrizioni specifiche contenute in questo articolo di capitolato. Inoltre il Direttore dei Lavori potrà richiedere della certificazione integrativa o l'esecuzione di prove ulteriori per la verifica del rispetto dei valori di CO^2 dichiarati dall'Appaltatore, delle percentuali del materiale riciclato o di qualsiasi altro parametro, senza che ciò possa dare diritto a richieste di maggiori costi o tempi.

35.7 Modalità esecutive

35.7.1 Segnaletica verticale

Preliminarmente alla posa della segnaletica verticale l'Appaltatore deve eseguire, quando previste, le fondazioni di progetto.
L'Appaltatore deve posizionare la segnaletica verticale e i delineatori nell'esatta posizione individuata negli elaborati progettuali e, al fine di garantire la perfetta visibilità di giorno come di notte, in qualsiasi condizione, per ciascun segnale deve essere garantito uno spazio di avvistamento, tra il conducente ed il segnale stesso, libero da ostacoli al fine di garantire una distanza di leggibilità non inferiore ai limiti di cui all'art. 79 del Regolamento:

Tipi di strade	Segnali di pericolo	Segnali di prescrizione
Autostrade e strade extraurbane principali	m 150	m 250
Strade extraurbane secondarie e urbane di scorrimento (con velocità superiore a 50 km/h)	m 100	m 150
Altre strade	m 50	m 80

La posizione planimetrica del progetto dei segnali tiene conto delle prescrizioni normative ma in ogni caso l'Appaltatore è tenuto a verificare, in fase di installazione, che tale previsione sia effettivamente attuabile.
La distanza tra l'estremità del cartello, lato carreggiata, ed il margine della carreggiata stessa deve essere minima 0,30 m e massima; fanno eccezione tutti i cartelli dello spartitraffico, quelli a sbalzo, quelli in prossimità delle gallerie, quelli in galleria , ecc., la cui proposta di installazione da parte dell'Appaltatore deve essere di volta in volta concordata con la Direzione Lavori.la Direzione Lavori.
L'altezza tra il bordo inferiore del cartello e la pavimentazione è definita negli elaborati progettuali. In ogni caso sullo stesso itinerario deve essere rispettata un'altezza uniforme.

La segnaletica al lato della carreggiata deve essere installata in modo tale che il segnale abbia un'inclinazione rispetto al flusso del traffico di 93° salvo diverse indicazioni progettuali.
I segnali, collocati al di sopra della carreggiata, devono essere installati in modo tale da avere un inclinazione rispetto al piano perpendicolare di circa 3° verso il lato da cui proviene il traffico.

Il giudizio sull'esattezza del posizionamento dei segnali deve essere riservato in modo insindacabile alla Direzione Lavori e rimane ad esclusivo carico e spesa dell'Appaltatore ogni operazione e fornitura relativa allo spostamento dei segnali giudicati non correttamente posati.
Nel caso di adeguamento o rifacimento della segnaletica preesistente i segnali prima di essere messi in funzione potranno, su richiesta del Direttore dei Lavori essere coperti fino alla completa rimozione del vecchio impianto o di quello di cantiere. Tale operazione è a cura ed onere dell'Appaltatore.
I materiali di risulta derivanti dalla rimozione della preesistente segnaletica, se richiesto dal Direttore dei Lavori, dovranno essere trasportati dall'Appaltatore nelle seguenti destinazioni di ricovero:

- Magazzini Autostrade per L'Italia S.p.A., per i profilati in ferro di qualsiasi forma e dimensione e per l'alluminio;
- Discarica autorizzata, per i basamenti di fondazione.

Deve essere, inoltre, ripristinato sullo spartitraffico, sulle scarpate o in qualunque altra situazione di continuità il preesistente piano di posa.

L'Appaltatore si deve assumere la responsabilità della perfetta conservazione della segnaletica in opera accollandosi l'incarico di eseguire le eventuali correzioni, modifiche o aggiunte sui cartelli già in opera che possono essere ordinate dalla Direzione Lavori fino al giorno del collaudo o dell'agibilità.
Nel caso di piccole correzioni, l'Appaltatore deve provvedere sul posto alla modifica impiegando pellicole autoadesive. Quando ciò non sia possibile il cartello dovrà essere sostituito con uno nuovo che dovrà essere fornito nel rispetto dei contenuti del § 35.3.
Le sopraccitate modifiche saranno compensate come da Elenco Prezzi nel caso non siano dipendenti da non conformità.

35.7.2 Segnaletica orizzontale

La posa del materiale dipende dal tipo di prodotto da applicare al quale è associato una specifica attrezzatura. Per il controllo qualità dell'applicazione dei prodotti si deve fare riferimento alla UNI/TR 11670:2017.
Le superfici interessate dalla segnaletica orizzontale devono essere accuratamente pulite in modo da essere liberate da ogni impurità in grado di nuocere all'adesione dei materiali impiegati. È vietata l'eliminazione di tracce di olio o grasso a mezzo di solventi.
L'applicazione della segnaletica orizzontale è eseguita nelle condizioni ambientali approvate in qualifica che indicativamente saranno:

- Temperatura dell'aria: tra 5 e 40°C;
- Temperatura della pavimentazione: almeno 3 gradi al di sopra del punto di rugiada;
- Velocità del vento: non maggiore di 25 km/h;

L'applicazione dei materiali deve avvenire, con mezzi meccanici idonei cercando inoltre di ridurre al minimo l'ingombro della carreggiata e quindi le limitazioni da imporre alla circolazione.
La posa in opera dei materiali per segnaletica orizzontale deve essere eseguita secondo i tracciati, le figure e le scritte preesistenti o stabiliti negli elaborati progettuali.
Comunque, l'Appaltatore è tenuto a propria cura e spese, ad effettuare la rimozione ed il rifacimento della segnaletica giudicata non regolarmente eseguita anche per quanto concerne la sua geometria (dimensioni, intervalli, allineamenti ecc.).

35.7.2.1 Rimozione di segnaletica

La rimozione della segnaletica orizzontale deve essere eseguita con sistemi che prevedono l'impiego di mezzi meccanici, che non modifichino la regolarità della pavimentazione, creando solchi (tipo pallinatrice), o con sistemi idrodinamici ad alta pressione per interventi sulle strisce che delimitano la piattaforma autostradale e sue pertinenze esplicitamente approvati dalla Direzione Lavori.
L'idrodemolizione della segnaletica orizzontale eseguita con l'asportazione del materiale deve essere eseguita senza provocare nessun danneggiamento alla pavimentazione. Devono essere impiegate attrezzature dotate di pompa ad alta pressione e di sistema per l'aspirazione dei materiali di risulta.

Inoltre, in tutte le fasi esecutive, comprese le fasi di preparazione e di sistemazione finale delle aree, per gli aspetti e le problematiche relative a temi ambientali, quali impatti acustici e vibrazionali, emissioni in atmosfera, impatto sulle acque superficiali, sotterranee e sul suolo, impatti sulla componente fauna e vegetazione, si rimanda integralmente a quanto prescritto dalla Normativa Nazionale e Regionale vigente, alle prescrizioni degli Enti preposti alla tutela ambientale, nonché alle condizioni ambientali contenute nelle autorizzazioni ed alle disposizioni del Capitolato Ambientale allegato al progetto esecutivo.

35.8 Controlli in corso d'opera

35.8.1 Controlli dell'Appaltatore

L'Appaltatore è tenuto a documentare in apposito report l'esito delle seguenti verifiche da trasmettere alla Direzione Lavori:

- rispondenza dei documenti di trasporto delle forniture all'arrivo in cantiere e la rispondenza delle caratteristiche per lo specifico impiego previsto a progetto e alla qualifica approvata dal Direttore dei Lavori;
- dei controlli effettuati in corso d'opera di cui ai successivi paragrafi;

Per la segnaletica verticale specificatamente si richiede:

- verifica della corretta esecuzione della posizione e della geometria delle fondazioni dei segnali;
- verifica corretta posizione del segnale rispetto al piano del terreno, al ciglio stradale e all'inclinazione rispetto all'asse autostradale.

Per la segnaletica orizzontale specificatamente si richiede:

- controllo delle condizioni ambientali al momento dell'inizio delle applicazioni nel rispetto ~~dei valori di qualifica,~~ delle schede tecniche dei prodotti e di quanto indicato al § 35.7;
- controllo dei macchinari di applicazione nel rispetto dei documenti di pre-qualifica e delle schede tecniche dei prodotti e delle modalità di applicazione dei prodotti
- controllo della quantità e della resa dei materiali applicati, dell'omogeneità trasversale e longitudinale della segnaletica (assenza di macchie, schizzi, bolle, screpolature, grumi ecc.)
- controllo della geometria della segnaletica e per le strisce controllo della larghezza delle corsie di marcia
- rispondenza delle modalità di posa, inclusi i mezzi d'opera utilizzati, alle specifiche di capitolato e di pre-qualifica;

35.8.2 Controlli della Direzione Lavori

I controlli di accettazione in cantiere devono essere eseguiti, in contraddittorio e con l'assistenza dell'Appaltatore, con le seguenti modalità:

Per la segnaletica verticale è previsto un controllo visivo notturno della omogeneità della retroriflettenza dei segnali. Gli elementi che non risulteranno omogenei dovranno essere sostituiti a cura ed onere dell'Appaltatore. Inoltre verrà verificato anche:

- il coefficiente di retroriflessione R_A secondo la procedura specificata nel CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) 54.2 ogni 2.000 segnali o frazione provenienti dalla stesso fornitore. Il coefficiente minimo iniziale del materiale retroriflettente, che utilizza la tecnologia a microsfere di vetro non deve essere inferiore ai valori riportati nel prospetto 3 o 4 della norma UNI EN 12899-1 come appropriato. Il coefficiente di retroriflessione R_A di tutti i colori stampati, eccetto il bianco, non deve essere minore del 70% dei valori riportati nel prospetto 3 o 4 della norma UNI EN 12899-1 rispettivamente per i segnali di classe RA1 e RA2.

Saranno inoltre da eseguire le seguenti prove di qualità per i sostegni in acciaio, rimandando all'art. 25 e 25 bis quelle inerenti gli elementi di carpenteria strutturale:

- Prove di trazione (snervamento fy, rottura ft, allungamento): N. 3 campioni ogni 30 tonnellate (o frazione) di acciaio proveniente dallo stesso fornitore di segnaletica. Le norme di riferimento per la verifica dell'acciaio sono: UNI EN 10025-2 per acciai laminati a caldo non legati, UNI EN 10025-3 per acciai laminati a caldo a grano fine saldabili, UNI EN 10025-4 per acciai laminati a caldo saldabili a grano fine ottenuti mediante laminazione termomeccanica, UNI EN 10025-5 per acciai laminati a caldo con resistenza migliorata alla corrosione atmosferica, UNI EN 10210-1 per profilati cavi finiti a caldo di acciai non legati e a grano fine, UNI EN 10219-1 per profilati cavi saldati formati a freddo;
- verifica dello spessore di zincatura secondo la norma UNI EN ISO 2178 con frequenza in n. di 3 prove ogni 30 tonnellate di acciaio proveniente dallo stesso fornitore di segnaletica.

Per la segnaletica orizzontale si prevedono le seguenti prove strumentali da eseguirsi come misura iniziale tra 3 e 14 giorni dall'applicazione:

da eseguire ogni 10.000 metri lineari di strisce (o frazione) e ogni 2.500 m^2 (o frazione) di scritte, zebrature ecc. realizzate con lo stesso materiale e dallo stesso installatore:

- Colore come previsto dall'allegato C della UNI EN 1436, con uno strumento dotato di una sorgente luminosa avente una distribuzione spettrale del tipo D65, come definito dalla norma ISO/CIE 10526. Il valore di n. 5 letture dovrà essere compreso tra i parametri di cui al § 35.5.1.3;
- Retroriflessione in condizione di superficie stradale asciutta con apparecchi che utilizzino la geometria stabilita dalla UNI EN 1436 allegato B. La media di n. 5 letture dovrà essere maggiore dei valori di cui al § 35.5.1.2. Nel caso in cui le prove di retroriflessione dovessero evidenziare valori prestazionali inferiori a quelli prescritti per la segnaletica orizzontale temporanea ma superiori a quelli indicati nel §35.9.1.7, la Direzione Lavori, a suo insindacabile giudizio, potrà comunque ritenere compatibile con la funzionalità e la sicurezza dell'opera la permanenza del prodotto. L'Appaltatore rimane comunque obbligato a ripassare la segnaletica per ripristinare le condizioni di conformità richieste dal contratto, qualora la DL lo ritenga necessario;
- Resistenza al derapaggio con l'apparecchio "Skid Resistance Tester ", come previsto nella UNI EN 1436 allegato D, consistente in un pendolo oscillante accoppiato ad un

cursore di gomma nella sua estremità libera. La media di n. 5 letture dovrà essere maggiore dei valori di cui al § 35.5.1.4.

Tali misure sono da ripetere ogni 6 mesi fino al collaudo tecnico amministrativo, alla consegna all'Ente gestore della viabilità o al termine della cantierizzazione. La media di n. 5 letture dovrà essere maggiore dei valori di cui al § 35.9.1.7.

35.9 Tolleranze e penali

35.9.1 Segnaletica verticale e delineatori

Qualora i risultati delle certificazioni, relativi alla qualità dei materiali ed alla realizzazione dei manufatti e/o i risultati delle prove predisposte dalla Direzione Lavori, non fossero rispondenti al presente Capitolato Speciale, dovranno essere applicati i provvedimenti dei seguenti §.

35.9.1.1 Forme e dimensioni dei segnali

Dovranno essere sostituiti a cura e spese dell'Appaltatore tutti i segnali realizzati con forme e dimensioni diverse da quelle previste dalle norme citate in Premessa ed a quanto esposto dettagliatamente nei disegni di Progetto.

35.9.1.2 Qualità dell'acciaio

Dovranno essere sostituiti a cura e spese dell'Appaltatore tutti i materiali e/o strutture sia forniti che posti in opera, realizzati con qualità di acciaio diverse da quelle richieste.

35.9.1.3 Zincatura

Dovranno essere applicate le penali sotto elencate sull'importo totale relativo alla fornitura della tipologia dei materiali ferrosi, presi in esame, se gli stessi presenteranno uno spessore di zinco inferiore a quanto previsto all'art. 35.3.3.3.4

Tipo	Variazione percentuale di quantità o qualità di protezione anticorrosiva in meno, rispetto al richiesto	Sanzione percentuale da applicarsi sul prezzo/i relativo all'opera non a norma
A	Fino al 10%	5%
B	Dal 10% al 20%	10%
C	Oltre il 20%	Sostituzione completa dei materiali

35.9.1.4 Alluminio

Dovranno essere sostituiti a cura e spese dell'Appaltatore tutti i segnali realizzati con lamiere di alluminio non rispondenti a quanto previsto nel presente Capitolato Speciale.

35.9.1.5 Pellicole retro-riflettenti

Tutti i segnali realizzati con pellicole risultate non rispondenti a quanto previsto dalle Norme in vigore dovranno essere sostituite a cura e spese dell'Appaltatore.

35.9.1.6 Posa in opera

Tutti i basamenti realizzati con dimensioni inferiori rispetto a quelli riportati negli elaborati progettuali dovranno essere rimossi e nuovamente realizzati a cura e spese dell'Appaltatore; potranno anche essere adeguati secondo le direttive indicate dalla Direzione Lavori.
Dovranno essere ad esclusivo carico e spesa dell'Appaltatore ogni operazione e fornitura relativa allo spostamento dei segnali giudicati non correttamente posati.

35.9.1.7 Segnaletica orizzontale

L'Appaltatore, fino alla collaudo tecnico amministrativo o fino alla consegna agli Enti gestori delle strade deve esegure il ripasso della segnaletica orizzontale con lo stesso materiale della prima stesa, per garantire lo standard previsto di:

- RL ≥ 150 mcd x m-2 x lx-1 e resistenza al derapaggio (SRT) ≥ 45 per le strisce permanenti bianche per strade di tipo A;
- RL ≥ 150 mcd x m-2 x lx-1 e resistenza al derapaggio (SRT) ≥ 30 per le strisce provvisionali gialle di cantiere per le strade di tipo A, B e D;
- RL ≥ 80 mcd x m-2 x lx-1 e resistenza al derapaggio (SRT) ≥ 30 per il colore bianco ad uso permanente per strade di tipo B, C, D, E, F, giallo ad uso permanente per tutti i tipi di strade e giallo provvisorio di cantiere per strade di tipo C, E ed F.

Tali valori saranno verificati a cura della Direzione Lavori con le prove di misura iniziale e semestrali di cui al § 35.8.2.
Al fine di limitare il numero degli interventi di ripasso, questi si dovranno programmare tra le localizzazioni fisiche della carreggiata (inizio e termine autostrada o tratta di competenza, stazioni, barriere, aree di servizio o di parcheggio od interconnessioni) più vicine, a monte ed a valle, in cui ricadono gli interventi stessi.

Art. 36 CAM - Sistemi antirumore

36.1 Prequalifica del sistema antirumore

I sistemi antirumore devono essere caratterizzati sia in termini di proprietà prettamente acustiche, descritte da alcune prestazioni funzionali (caratteristiche acustiche), sia in termini di proprietà meccaniche, di sicurezza, di compatibilità ambientale, ecc. (caratteristiche non acustiche).
Laddove il progetto preveda l'utilizzo di sistemi antirumore composti da materiale riciclato, si farà specifico riferimento nei singoli elaborati di progetto alla possibilità di rispettare le percentuali di tale materiale riciclato contenuto nei Criteri Ambientali Minimi (C.A.M.).

L'insieme di queste caratteristiche, acustiche e non acustiche, deve essere opportunamente certificato, secondo le metodologie e le norme di riferimento di seguito esplicitate.
I sistemi antirumore stradali, in quanto rientranti fra i "dispositivi fissi per la circolazione", sono regolamentati deal Regolamento UE n°305/2011 "Prodotti da Costruzione" (CPR). Fondamento del Regolamento è il principio in base al quale i prodotti impiegati nelle costruzioni debbano essere dotati di caratteristiche idonee a garantirne la conformità ai seguenti requisiti essenziali:

- resistenza meccanica e stabilità;
- sicurezza in caso di incendio;
- igiene salute e ambiente;
- sicurezza di utilizzazione;
- protezione contro il rumore;
- risparmio energetico e isolamento termico.
- Uso sostenibile delle risorse naturali

Le norme armonizzate europee riguardano le caratteristiche intrinseche dei prodotti utilizzati e costituiscono il riferimento per il rilascio del marchio CE.
I dispositivi per la riduzione del rumore costituiti o da singoli prodotti (per esempio elementi acustici) o da sistemi di prodotti (per esempio elementi acustici + elementi stutturali+ guarnizioni etc.) devono possedere i requisiti funzionali minimi dettagliati dalla norma armonizzata UNI EN 14388 (Road traffic noise reducing devices – Specifications) ed essere marcati CE secondo quanto indicato nel rapporto tecnico UNI/TR 11338 .
A tal proposito si specifica che nell'ambito di un appalto stradale l'opera antirumore costruita non può essere marcata CE. I singoli componenti dell'opera (per esempio i pannelli acustici) devono essere marcati CE, perché sono prodotti. Nel progetto, sulla base dei dati degli elementi componenti (sia quelli certificati sia quelli di progetto, come le dimensioni geometriche, la posizione, ecc.), verranno indicate le caratteristiche finali dell'opera (per esempio il potere fonoisolante) e date chiare prescrizioni per la realizzazione. Sarà compito dell'appaltatore realizzare l'opera conformemente al progetto.
La marcatura CE garantisce la conformità di un certo numero di prestazioni "minime" e non è quindi esaustiva di altre funzionalità o requisiti dettagliati dal presente Capitolato Speciale al fine di tener conto di particolari situazioni di installazione dei prodotti.
La marcatura CE si riferisce pertanto ad un insieme di caratteristiche prestazionali che attestano la prequalifica del sistema antirumore.
L'attestato di marcatura e relativi certificati di prova rilasciati da laboratorio accreditato devono essere esibiti in fase di approvazione degli elaborati di officina, in ogni caso prima dell'inizio delle attività di cantiere.
La marcatura CE non esime comunque il fornitore dal presentare:

- certificati relativi a alle caratteristiche acustiche intrinseche previste in progetto e/o riportate alla tabella nel §36.1.2 ;

- certificati di conformità di prodotti e materiali richiesti dalla Direzione Lavori in base alle caratteristiche prescrizionali (vedi paragrafo 36.1.2 del presente Capitolato Speciale);
- verifiche di durabilità richieste dalla Direzione Lavori in base alle indicazioni progettuali.

I certificati devono essere forniti secondo le tempistiche e modalità di seguito specificate, relativamente alle seguenti fasi:

1. conformità della produzione;
2. accettazione;
3. durabilità.

L'Appaltatore dovrà altresì fornire il Piano Generale di Fabbricazione e Controlli dello stabilimento di produzione con l'indicazione delle tecnologie, metodologie e sistemi di controllo utilizzati in impianto (Piano Controllo della Qualità di produzione) per garantire la qualità attesa. Il piano dovrà essere corredato da una procedura che identifichi le modalità di qualifica dei fornitori nonché le modalità di identificazione e rintracciabilità dei prodotti e di tenuta sottocontrollo delle strumentazioni di misura;

Conformità della produzione:

Contestualmente alla consegna del Programma Esecutivo dei Lavori, l'Appaltatore fornisce la documentazione relativa al proprio sistema di controllo della produzione in fabbrica, finalizzato a garantire la rintracciabilità dei lotti di produzione di quanto verrà fornito ed installato per la realizzazione della specifica commessa.

La documentazione fornita deve inoltre comprendere la certificazione del sistema di gestione per la qualità secondo UNI EN ISO 9001e ss.mm.ii..

Accettazione:

Per la realizzazione dell'intervento saranno accettati solo sistemi e prodotti con marcatura CE ed inoltre con proprietà tali da soddisfare tutte le prescrizioni integrative relative alle caratteristiche riportate nelle tabelle "Prove e Certificazioni" (par. 36.1.2) e negli elaborati grafici del progetto esecutivo. È inoltre richiesta il Documento di Trasporto (D.D.T.) all'atto della consegna del materiale.

A tale scopo, tutta la documentazione dovrà essere fornita dall'Appaltatore prima dell'assegnazione definitiva e comunque antecedentemente all'invio in cantiere del primo lotto di fornitura, in modo da consentire di verificare la corrispondenza dei materiali prodotti rispetto a quanto richiesto dagli elaborati del progetto esecutivo.

In tale fase i certificati devono essere quindi ottenuti da campioni conformi a quanto riportato negli elaborati dello specifico progetto esecutivo.

Viene comunque applicato il concetto di "famiglia di prodotti"; in particolare:

- per quanto riguarda la resistenza ai carichi dinamici degli elementi strutturali (vento, transito veicoli e pulizia neve) è richiesta la certificazione mediante prova unicamente della situazione più gravosa;
- per quanto riguarda le caratteristiche acustiche devono essere rispettati i valori di riferimento previsti nella Tabella riassuntiva Prove e Certificazioni (paragrafo 36.1.2), con particolare riferimento alle prove con campo sonoro diretto ovvero (UNI 1793-5 e 1793-6); inoltre se nello specifico progetto sono presenti materiali di diversa natura variamente accoppiati (ad esempio pannelli trasparenti interposti a pannelli opachi) o soluzioni costruttive di diverso tipo (ad esempio montanti speciali), si dovrà fornire la certificazione addizionale dell'indice di fonoisolamento DL_{SI} (ai sensi della norma UNI 1793-6) relativa a tali giunzioni o punti singolari

per le barriere integrate sicurezza-rumore sia le prove di laboratorio (UNI EN 1793-1 e UNI EN 1793-2), sia le prove con campo sonoro diretto (UNI EN 1793-5 e UNI EN 1793-6), devono essere eseguite su campioni completi di tutti gli elementi costituenti la barriera di sicurezza (le prove su campioni privi degli elementi costituenti la barriera di sicurezza sono consigliate, ma non obbligatorie).

In caso di incompletezza della documentazione, all'atto del ricevimento in cantiere del primo lotto della fornitura, la Direzione Lavori provvederà a prelevare un quantitativo idoneo di materiali e successivamente inviarli, con costi a carico dell'impresa, ad un laboratorio di prova per l'esecuzione delle prove necessarie a completare le certificazioni richieste, sia per quanto riguarda le prove di laboratorio (UNI EN 1793-1 e UNI EN 1793-2) sia per le prove eseguite in un apposito campo prova (da definire in accordo con la D.L.) e sempre da realizzare a carico dell'impresa appaltatrice (UNI EN 1793-5 e UNI EN 1793-6).

Fino a che non sarà disponibile l'esito delle prove relative alle caratteristiche richieste in Progetto, oltre che alle marcature CE degli elementi costituenti delle barriere, il materiale prodotto sarà considerato "in sospeso"; qualora a seguito di esito negativo delle prove per la marcatura CE o la certificazione di conformità ai requisiti prestazionali richiesti, la Direzione dei Lavori rifiuti una qualsiasi fornitura non idonea, l'Appaltatore dovrà sostituirla con altra che corrisponda alle caratteristiche volute: i materiali rifiutati dovranno essere allontanati dal cantiere a cura e spese dello stesso Appaltatore.

Durabilità:

Le procedure utilizzate per accettazione e collaudo (par.36.3) possono anche essere utilizzate per verificare la durabilità dei materiali impiegati, con riferimento all'invecchiamento (condizioni meteorologiche, effetti chimico-fisici).

Le barriere antirumore devono mantenere i requisiti acustici, strutturali e di sicurezza per la vita utile dichiarata dal produttore in base tipologie di materiali utilizzati, alle modalità costruttive e a condizioni normalizzate di esposizione agli agenti atmosferici.

Il produttore dichiara la vita utile della barriera antirumore secondo la UNI EN 14389.

La vita utile dichiarata è in genere dichiarata distintamente per i componenti strutturali e per i pannelli acustici.

I prodotti impiegati per i pannelli acustici devono assicurare una vita utile non minore di 15 anni.

I componenti strutturali devono avere una vita utile non minore di 50 anni come previsto da NTC 2018.

I rilievi possono essere eseguiti negli stessi punti su cui sono state effettuate le prove di collaudo finale in sito, a distanza di cinque anni dalla data di ultimazione dell'intervento.

Rispetto ai valori nominali di collaudo (par.36.3) è ammessa una tolleranza in difetto al massimo uguale a 2 dB sia per l'indice di riflessione, DL_{RI} che per l'indice di fonoisolamento, DL_{SI}.

In caso di mancato rispetto dei valori sopra esposti, l'Appaltatore dovrà ripristinare a proprie spese le condizioni riportate nelle certificazioni di collaudo.

Tutte le certificazioni richieste nelle fasi precedentemente elencate, sia delle caratteristiche acustiche che di quelle non acustiche, devono essere eseguite presso laboratori accreditato.

Il costo delle prove di accettazione e durabilità è interamente a carico dell'Appaltatore.

La Committente si riserva di far effettuare ulteriori test di controllo, in modo conforme a quanto riportato nel Capitolato Speciale di Appalto.

36.1.1 Modalità di esecuzione delle prove acustiche e classificazione dei sistemi

I requisiti acustici che i sistemi antirumore devono possedere all'atto della prequalifica si riferiscono alle cosiddette caratteristiche intrinseche.
Questa categoria comprende le caratteristiche proprie del prodotto antirumore, indipendentemente dall'ambiente in cui esso sarà installato e dall'effetto finale di riduzione del rumore; sono tali le proprietà di assorbimento o riflessione del suono (vedere UNI EN 1793-1- prova di laboratorio e UNI EN 1793-5- prova in campo aperto con il metodo Adrienne), le proprietà di isolamento acustico per via aerea (vedere UNI EN 1793-2- prova di laboratorio e UNI EN 1793-6: – prova in campo aperto con il metodo Adrienne) e, per le barriere con dispositivi aggiunti, le modalità di diffrazione al bordo superiore (vedere UNI EN1793-4: – prova in campo aperto).

Prima della consegna dei materiali in cantiere l'Appaltatore deve consegnare alla Direzione Lavori i certificati che assicurino la marcatura CE dei sistemi e prodotti previsti nell'appalto (Prequalifica).

36.1.2 Criteri di accettazione (acustici e non acustici)

Tabella riassuntiva Prove e Certificazioni

PRESTAZIONI ACUSTICHE								
		Valori richiesti (1)						
Caratteristica	**Metodo di Prova**	barriera tradizionale	barriera integrata	barriera integrata bifacciale	barriera mista tradizionale + trasparente (**)	barriera mista tradizionale + trasparente (***)	Copertura integrata elemento verticale	Copertura integrata elemento orizzontale
Indice valutazione assorbimento acustico DL_a (2)	UNI-EN 1793-1	≥ 11 dB (****)	≥ 7 dB	≥ 7 dB	≥ 6 dB	-	≥ 7 dB	≥ 7 dB
Indice valutazione isolamento acustico per via aerea DL_R (3)	UNI-EN 1793-2	≥ 24 dB	≥ 24 dB	≥ 24 dB	≥ 24 dB	≥ 24 dB	≥ 24 dB	≥ 24 dB
Indice valutazione riflessione sonora DL_{RI} (2)	UNI-EN 1793-5	≥ 8 dB (****)	≥ 6 dB(*****)	≥ 6 dB (*****)	≥ 5 dB	-	≥ 6 dB (*****)	≥ 6 dB (*****)
Indice valutazione isolamento acustico per via aerea DL_{SI} – elementi acustici (3)	UNI-EN 1793-6	≥ 27 dB	≥ 23 dB	≥22 dB	≥ 27 dB (*)	≥ 27 dB (*)	≥ 27 dB	≥ 27 dB
Indice valutazione isolamento acustico per via aerea DL_{SI} – montanti (3)	UNI-EN 1793-6	≥ 24 dB	≥ 20 dB	≥ 19 dB	≥ 24 dB	≥ 24 dB	≥ 24 dB	≥ 24 dB

(*) la prova deve essere effettuata in corrispondenza di una sezione di barriera in cui siano presenti pannelli trasparenti e in corrispondenza di eventuali punti di giunzione (trasparente – fonoassorbente)

(**) tipologia con percentuale di trasparente inferiore al 30%

(***) tipologia con percentuale di trasparente superiore al 30%

(****) possono essere accettati valori inferiori di 2 dB per barriere che, presentino elementi addizionali derivanti da richieste di natura paesaggistica, che riducono le prestazioni di assorbimento del pannello (es. listelli cotto)

(*****) per barriere integrate la percentuale di trasparente fino al 30% si accettano valori di DLRI con valori inferiori di 1dB, per percentuali di trasparente superiori non si richiede la tipologia di misura

1) I certificati si devono riferire a campioni conformi a quanto previsto nel progetto esecutivo. Non sono ammessi scostamenti dai valori richiesti.
2) Devono essere fornite le certificazioni relative a:
    a. campione, completo di montante, formato dai pannelli previsti per le protezioni antirumore verticali;
    b. campione, completo di elementi di fissaggio. Per quanto riguarda l'indice di valutazione della riflessione sonora, DL_{RI}, è ammesso di effettuare la prova disponendo i pannelli a terra, purché vengano riprodotte nel modo più fedele possibile le reali condizioni di funzionamento dei pannelli, formato dai pannelli metallici previsti per le protezioni antirumore orizzontali;
    c. campione, completo di elementi fissaggio, formato dagli elementi costituenti i rivestimenti muri o gallerie. Per tali elementi il valore ammissibile dell'indice di assorbimento acustico, DLa, e di riflessione acustica, DL_{RI} , deve risultare ≥ 8 dB.
3) Devono essere fornite le certificazioni relative a:
    a. campione, completo di montante, formato dai pannelli previsti per le protezioni antirumore verticali;
    b. campione completo di struttura portante, formato dai pannelli metallici previsti per le protezioni antirumore orizzontali; Per quanto riguarda l'indice di valutazione dell'isolamento acustico per via aerea, DL_{SI}, è consentito di disporre i pannelli in verticale, purché vengano riprodotte nel modo più fedele possibile le reali condizioni di funzionamento dei pannelli (soprattutto per quanto concerne la tenuta fra i pannelli e fra pannelli ed elementi strutturali di sostegno/supporto.
    c. campione, completo di struttura portante, formato dai pannelli trasparenti previsti per le protezioni antirumore.
    d. campione, completo di copertura, formato da struttura portante e dai pannelli trasparenti previsti per le protezioni antirumore.

PRESTAZIONI NON – ACUSTICHE		
Caratteristica	Metodo di Prova	Valori richiesti (1)
Resistenza al carico aerodinamico ed al carico statico per pannelli verticali (4)	UNI-EN 1794-1: Appendice A	≥ 0,90 kN/m^2
Resistenza al carico aerodinamico ed al carico statico per pannelli non-verticali (coperture ed aggetti) (5)	UNI-EN 1794-1: Appendice A	≥ 1,50 kN/m^2
Peso proprio (a secco – bagnato – bagnato ridotto) (6)	UNI-EN 1794-1: Appendice B	≥ 0,2 ; ≤ 0,5 ; ≤ 0,3 kN
Resistenza al peso proprio (6)	UNI-EN 1794-1: Appendice B	≥ 1,20 kN
Resistenza all'impatto causato da pietre (6)	UNI-EN 1794-1: Appendice C	Appendice C paragrafo C.2
Sicurezza nelle collisioni (solo per barriera integrata)	UNI-EN 1794-1: Appendice D	UNI-EN 1317-2, classe H4

PRESTAZIONI NON – ACUSTICHE		
Caratteristica	Metodo di Prova	Valori richiesti (1)
Pericolosità da caduta di frammenti (6)	UNI-EN 1794-2: Appendice A	Classe 2 o 3 o 4
Resistenza al carico da rimozione neve (7)	UNI-EN 1794-1: Appendice E	≥ 10 kN/2x2 m
Resistenza all'incendio della macchia (7)	UNI-EN 1794-3: Appendice A	Classe 3
Riflessione luce (20° - 60° - 85°) (6)	UNI-EN 1794-2: Appendice D	Classe 2 o 3 o 4
Protezione ambientale (6)	UNI-EN 1794-2: Appendice B	Nessuna sostanza pericolosa

1) I certificati si devono riferire a campioni conformi a quanto previsto nel progetto esecutivo. Non sono ammessi scostamenti dai valori richiesti.

4) La certificazione deve essere effettuata relativamente ai soli elementi acustici (UNI EN 1794-1, Appendice A paragrafo A.3.3) e non relativamente agli elementi strutturali (UNI EN 1794-1, Appendice A paragrafo A.3.2).
Deve essere fornita la certificazione relativa ad un campione formato dai pannelli previsti per le protezioni antirumore verticali.

5) Le certificazioni devono essere effettuate relativamente ai soli elementi acustici (UNI EN 1794-1, Appendice A paragrafo A.3.3) e non relativamente agli elementi strutturali (UNI EN 1794-1, Appendice A paragrafo A.3.2).
Devono essere fornite le certificazioni relative ad un campione formato dai:
- pannelli metallici previsti per le protezioni antirumore non-verticali (coperture ed aggetti);
- pannelli trasparenti, completi di telaio, previsti per le protezioni antirumore.

6) Devono essere fornite le dichiarazioni relative a tutte le tipologie di pannelli antirumore, verticali ed orizzontali.
Per quanto riguarda i rivestimenti muri e gallerie non si applicano le prescrizioni relative al peso proprio; per quanto riguarda la protezione ambientale, le certificazioni o dichiarazioni del Fornitore devono riguardare tutti i materiali costituenti gli elementi acustici (pannelli e rivestimenti muri e gallerie).

7) Devono essere fornite le certificazioni relative a campioni, completi di montanti o sistemi di fissaggio, formati dalle tipologie di pannelli metallici previsti per le protezioni antirumore verticali (barriera tradizionale e barriera integrata) e per i rivestimenti di muri e gallerie.

.

36.1.2.1 Assorbimento acustico

Per assorbimento acustico si intende la capacità di ridurre l'energia sonora riflessa dal sistema antirumore.
Le caratteristiche intrinseche di assorbimento acustico, ovvero di riflessione del suono, sono determinate:
- in laboratorio in un campo sonoro diffuso, in conformità alla UNI EN 1793-1; viene misurato il coefficiente di assorbimento acustico a_S ;

- in ambiente esterno in un campo sonoro direttivo, in conformità alla UNI EN 1793-5; viene misurato il reflection index, RI.

Entrambe le metodologie richiedono che le prestazioni siano valutate in funzione della frequenza in bande di terzi di ottava da 100 Hz a 5 kHz e, successivamente, sintetizzate dall'indice unico di valutazione, che viene indicato come:

- DL_a per prodotti sottoposti a prova, in accordo alla UNI EN 1793-1;
- DL_{RI} per prodotti sottoposti a prova, in accordo alla UNI EN 1793-5.

L'indice unico di valutazione viene calcolato in funzione dello spettro di rumore da traffico stradale, riportato nella UNI EN 1793-3 e raggruppato per classi così come definite dalla norma UNI EN 17931.

I Target di riferimento prestazionali dell'assorbimento acustico sono riportati in dettaglio nella Tabella riassuntiva Prove e Certificazioni.

36.1.2.2 Isolamento acustico

Per isolamento acustico si intende la capacità di ridurre l'energia sonora trasmessa dal sistema antirumore.

Le caratteristiche intrinseche di isolamento acustico per via aerea sono determinate:

- in laboratorio in un campo sonoro diffuso, in conformità alla UNI EN 1793-2; viene misurato il potere fonoisolante, R;
- in ambiente esterno in un campo sonoro direttivo, in conformità alla UNI EN 1793-6; viene misurato il sound insulation index, SI.

Entrambe le metodologie richiedono che le prestazioni siano valutate in funzione della frequenza in bande di terzi di ottava da 100 Hz a 5 kHz e, successivamente, sintetizzate dall'indice unico di valutazione, che viene indicato come:

- DL_R, per prodotti provati in accordo alla UNI EN 1793-2;
- DL_{SI}, per prodotti provati in accordo alla UNI EN 1793-6.

L'indice unico di valutazione viene calcolato in funzione dello spettro di rumore da traffico stradale, riportato nella UNI EN 1793-3.

I Target di riferimento prestazionali dell'isolamento acustico sono riportati in dettaglio nella Tabella riassuntiva Prove e Certificazioni.

36.1.3 Caratteristiche non acustiche

36.1.3.1 Premessa

I sistemi antirumore collocati in margine alle infrastrutture stradali sono sottoposti alle azioni meccaniche conseguenti al carico del vento e della neve, alla spinta aerodinamica dei mezzi in transito ed al peso proprio. Occasionalmente possono essere interessati da impatto di pietrisco e sottoposti al carico addizionale della neve espulsa dai mezzi di sgombero.

La norma di riferimento relativa alle caratteristiche strutturali dei sistemi antirumore è la UNI EN 1794-1. Si deve inoltre tenere conto dei criteri generali per la progettazione strutturale, riportati nelle Norme UNI EN dal numero 1990 al 1999 (Eurocodici) e ai relativi Documenti Nazionali di riferimento.

I sistemi antirumore dovranno essere posti in opera a una distanza sufficiente dalle barriere di sicurezza, tale da garantire il funzionamento indipendente dei due sistemi. Qualora il Progetto preveda l'utilizzo di sistemi combinati di sicurezza ed antirumore, questi, oltre alle verifiche di conformità previste per le barriere antirumore, dovranno rispondere anche alla normativa vigente in materia di barriere di sicurezza stradale (D.M.21/6/2004, UNI EN 1317-1 e UNI EN 1317-2).

I Target di riferimento prestazionali richiesti sono riportati in dettaglio nella Tabella riassuntiva Prove e Certificazioni, nella parte relativa alle caratterisiche non acustiche (par. 36.1.2).

36.1.3.2 Requisiti meccanici

La norma UNI EN 1794 Parte 1 specifica i requisiti meccanici dei sistemi per la riduzione del rumore; tali sistemi sono soggetti alle tipologie di carico seguenti, come definite dalla stessa norma:

- carichi indotti dal vento (Appendice A);
- pressione dinamica dovuta al passaggio dei veicoli (Appendice A);
- neve (barriere non verticali - Appendice A);
- peso proprio (Appendice B);
- impatto di pietre (Appendice C);
- carichi indotti dalla rimozione della neve (Appendice E)

In particolare, anche nel caso in cui la barriera antirumore sia collocata su un ponte stradale, l'azione del vento da considerare per le verifiche di stabilità del sistema è ricavata dal documento ENV 1991-2-4 (Eurocodice 1: Basi di calcolo ed azioni sulle strutture – Parte 2-4: Azioni sulle strutture – Azioni del vento) e dal relativo Documento Nazionale di riferimento.
Le combinazioni, la contemporaneità e i fattori di combinazione dei carichi elementari elencati sono definiti nelle Appendici A e B della UNI EN 1794-1
La conformità di un sistema antirumore ai requisiti meccanici richiesti deve essere dimostrata da una relazione di calcolo, firmata da un professionista abilitato che se ne assume la piena responsabilità, quando tutti i fattori concorrenti, incluse le tipologie di vincolo, siano determinabili con affidabilità. Il resoconto di calcolo deve includere tutte le informazioni richieste nell'Appendice A della UNI EN 1794-1.

36.1.3.3 Prove

La verifica della conformità del sistema antirumore ai requisiti richiesti può essere ottenuta mediante prove, da condurre in accordo alla UNI EN 1794-1. E' richiesta la prova sperimentale in presenza di elementi acustici compositi (esempio lastra trasparente con cornice) e, in generale, quando alcuni fattori, come le caratteristiche di resistenza del prodotto, le tipologie di vincolo, etc., non possano essere determinati con piena affidabilità.
Qualora in Progetto si preveda che, a causa della vicinanza della barriera alla corsia di marcia e della presenza di notevoli volumi di traffico, la barriera antirumore sia soggetta a fenomeni di fatica, occorre effettuare, oltre alla verifica della struttura portante, anche una verifica sperimentale del comportamento dei moduli acustici (pannelli o lastre trasparenti con relative cornici). Tale prova dovrà essere eseguita secondo procedure e modalità di carico concordate con il progettista, in funzione delle caratteristiche specifiche dell'opera da eseguire.
Il resoconto di prova deve includere una descrizione completa delle condizioni di prova, inclusi i dettagli dei supporti, delle procedure seguite e del carico degli elementi; deve inoltre fornire tutte le informazioni richieste nell'Appendice A della UNI EN 1794-1.
I Target di riferimento prestazionali richiesti sono riportati in dettaglio nella Tabella riassuntiva Prove e Certificazioni, nella parte relativa alle caratterisiche non acustiche (par. 36.1.2;).

36.1.4 Requisiti di sicurezza nell'esercizio e compatibilità ambientale dei materiali impiegati.

Per quanto riguarda la sicurezza nell'esercizio, la normativa europea tratta i seguenti aspetti:

- comportamento degli elementi in presenza di fuoco;
- pericolo di caduta di parti di barriera in seguito a violenti urti;
- uscite di sicurezza;
- riflessione della luce e trasparenza

Per quanto riguarda la compatibilità ambientale dei materiali impiegati valgono le normative e prescrizioni tecniche sulle proprietà intrinseche dei materiali utilizzati: atossicità, riciclabilità, smaltimento. La compatibilità dei sistemi antirumore alle specifiche inerenti i temi sopraelencati viene valutata con riferimento alla norma tecnica UNI EN 1794-2.

36.1.4.1 Sistemi anticaduta e Pericolo di caduta di frammenti

Frammenti di barriera, derivanti da rotture a seguito di impatti violenti, non devono costituire elementi di pericolo per gli occupanti dei veicoli o per altre persone poste in vicinanza della barriera.

Per i materiali fragili (esempio lastre trasparenti) è previsto l'impiego di lastre rinforzate (esempio lastre in PMMA con armatura interna realizzata con fili in poliammide) o di sistemi di ritenuta dei frammenti (esempio rete di sicurezza installata a tergo della barriera).

Inoltre è importante che a seguito di urti violenti i pannelli, pur rimanendo integri, non cadano creando pericoli per persone sottostanti, sia dal lato strada che dal lato ricettori. Per questo tipo di prodotti si ricorre in genere a sistemi di cavi di sicurezza che assicurano il pannello alla struttura portante della barriera.

In generale quindi, nel caso di barriere posizionate su opere d'arte sovrastanti altre infrastrutture di trasporto o abitazioni, come anche nel caso di barriere poste nelle immediate vicinanze di abitazioni o di aree in cui è probabile lo svolgimento di attività umane, vengono definiti criteri di accettabilità e test da eseguire, secondo quanto riportato nell'allegato B della norma tecnica UNI EN 1794 – 2.

36.1.4.2 Comportamento in presenza di fuoco

I sistemi antirumore possono essere esposti a fiamme provenienti dalla vegetazione secca o da altro materiale in stretta vicinanza.
Fiamme di maggiore intensità possono levarsi come risultato di incidenti. Particolarmente critico in caso d'incendio risulta il comportamento dei rivestimenti utilizzati per le gallerie o delle coperture parziali della sede viaria.
La conformità di un sistema antirumore per infrastrutture di trasporto ai requisiti di resistenza all'incendio della macchia deve essere dimostrata da una prova sperimentale, conforme alla UNI EN 1794-3, appendice A.
Il campione sottoposto a prova deve avere la medesima composizione del sistema antirumore per infrastrutture di trasporto che verrà effettivamente installato; se, per esempio, si vuole caratterizzare la resistenza al fuoco di un sistema antirumore composto da pannelli di materiali differenti, posti a diverse altezze dal suolo, il campione in prova deve essere costituito da pannelli dello stesso tipo e con la stessa posizione relativa.
Poiché la prova specificata nella UNI EN 1794-3, appendice A, non sottopone alle medesime condizioni tutti i materiali di cui può essere composto un sistema antirumore (per esempio, in un sistema antirumore composto da pannelli di due materiali differenti, con cambiamento della tipologia a partire da 2 m dal suolo, i pannelli posti ad altezza maggiore non sono esposti alla fiamma di prova come quelli vicini al suolo) e poiché comunque tale prova non contempla aspetti quali la classe di reazione al fuoco dei singoli materiali componenti, la tossicità dei fumi sprigionati in presenza di combustione, ecc. essa deve essere intesa solo come un'attestazione convenzionale di alcune caratteristiche di prodotto.
Al fine di assicurare requisiti minimi di sicurezza in presenza di un elevato carico d'incendio, il presente Capitolato Speciale d'Appalto raccomanda l'applicazione dei seguenti criteri:

- mantenere una distanza minima di 8 m tra i sistemi antirumore per infrastrutture di trasporto contenenti materiali non incombustibili ed i più vicini siti con presenza di persone e/o di materiali

infiammabili; per distanze inferiori, i sistemi antirumore devono essere totalmente costruiti con materiali incombustibili;
- per la sicurezza al fuoco dei rivestimenti di gallerie o per coperture parziali di infrastrutture di trasporto i pannelli in PMMA dovranno essere antigocciolamento "no drop" al fine di evitare gocciolamento del materiale fuso in fase di incendio; occorrerà anche valutare il carico d'incendio e la temperatura massima raggiungibile in accordo con le autorità competenti; in tali casi non utilizzare la prova specificata in UNI EN 1794-3 app.A;
- al fine di evitare la propagazione della combustione lungo sistemi antirumore costruiti con materiali non incombustibili, tali sistemi devono includere almeno ogni 150 m un tratto di lunghezza pari almeno a 6 m costruito con materiali incombustibili;
- su entrambi i lati di ogni via di fuga e/o accesso d'emergenza i sistemi antirumore devono comprendere un tratto di almeno 3 m di lunghezza costruito con materiali incombustibili;
- i materiali, combustibili e non combustibili, utilizzati nella realizzazione dei sistemi antirumore non devono sviluppare in caso di incendio fumi densi e/o tossici né provocare la caduta di materiale infiammato o produrre gocce o fili incandescenti che possano essere trasportati dal vento.

A supporto delle scelte tecniche di cui sopra, tutti i prodotti e/o componenti del sistema antirumore riguardo alla reazione al fuoco, devono essere testati e classificati in conformità alla UNI EN 13501-1.

36.1.4.3 Riflessione della luce

Per angoli di incidenza specifici, la luce solare o quella dei corpi illuminanti dei veicoli riflettendosi sui sistemi antirumore, può produrre effetti di abbagliamento per gli utenti dell'infrastruttura, pregiudicando la sicurezza stradale.
L'effetto dipende da parametri intrinsechi dei prodotti da caratteristiche estrinseche dei siti di installazione.
Le norme tecniche non fissano pertanto un valore limite di riflessività. E' tuttavia richiesto che i prodotti siano testati così da poter disporre dei valori di riflessività determinati in condizioni normalizzate.
Per i sistemi antirumore per impieghi stradali o comunque in prossimità di strade i valori di riflessività sono misurati in conformità al metodo di prova prescritto dalla UNI EN 1794-2, appendice D.

36.1.4.4 Trasparenza statica e dinamica

Per le barriere si considerano due aspetti della trasparenza:
- trasparenza statica per le persone che vivono oltre la barriera
- trasparenza dinamica per gli utenti dell'infrastruttura stradale.

La trasparenza statica è importante per ragioni estetiche; quella dinamica viene valutata al fine di migliorare la visibilità e l'orientamento degli utenti della strada (ad esempio in corrispondenza di incroci e corsie di accesso), contribuendo alla sicurezza.
Tra i requisiti prestazionali richiesti per i sistemi antirumore, devono essere forniti valori di trasparenza statica e dinamica calcolati in conformità al metodo di prova prescritto dalla UNI EN 1794-2, appendice F.

36.1.4.5 Accessi di servizioa scopo manutentivo

Gli accessi per la manutenzione delle barriere e dei margini della strada, ove presenti nel progetto, devono essere conformi a quanto prescritto dalla UNI EN 1794-2, appendice C.

Sono in genere previste porte attrezzate (dispositivi di apertura azionabili dall'esterno con chiavi e dall'interno con maniglioni antipanico) realizzate con gli stessi elementi costituenti la barriera o elementi equivalenti.
Ove necessario, si prevederanno scale realizzate secondo le norme di sicurezza vigenti, o altri provvedimenti qualora gli accessisi trovino in condizioni avverse.
In mancanza di un indicazione precisa relativamente alla distanza minima , si assume come riferimento la norma sui collegamenti pedonali previsti nelle gallerie a doppio fornice (ogni 300 metri), secondo il D.M. 05.11.01, capitolo 4.1.2, salvo specifiche indicazioni progettuali differenti.

36.1.4.6 Compatibilità ambientale

Relativamente ai requisiti di protezione ambientale deve essere rilasciata una dichiarazione dal fornitore del sistema antirumore, per la quale è possibile eventualmente avvalersi delle attestazioni emesse dai produttori dei singoli materiali componenti. Le voci da esplicitare chiaramente e compiutamente sono di seguito riportate:
- elenco dei materiali costituenti il sistema antirumore, utilizzando la nomenclatura chimica ed evitando i nomi commerciali,
- elenco delle sostanze che risultano dalla decomposizione a seguito di esposizione naturale durante l'intera vita di servizio del sistema antirumore,
- elenco delle sostanze che risultano dall'esposizione al fuoco del sistema antirumore,
- elenco delle condizioni chimiche o fisiche che potrebbero determinare il rilascio nell'ambiente di sostanze potenzialmente nocive o tossiche per l'uomo e per l'ambiente,
- elenco dei materiali che possono essere riciclati, indicando in quale misura sono presenti ed eventuali limitazioni d'uso,
- elenco dei materiali riciclati e relativa percentuale,
- elenco dei materiali che devono essere smaltiti secondo particolari procedure, da indicare in dettaglio,
- elenco di eventuali benefici legati al riutilizzo dei materiali costituenti, indicando tutte le limitazioni esistenti alle condizioni di trasformazione.

36.1.5 Requisiti di durabilità e criteri di manutenzione

Il sistema antirumore deve mantenere le prestazioni dichiarate (i requisiti funzionali strutturali ed acustici) per l'intera durata della vita utile.
Per la durabilità delle caratteristiche acustiche si fa riferimento alla prEN 14389-1.
Secondo questa norma è onere del produttore di sistemi antirumore dichiarare la durabilità delle caratteristiche acustiche di ogni tipologia di elemento prodotto.
La durabilità delle caratteristiche acustiche deve essere espressa dalla degradazione delle prestazioni (indice di valutazione di reflection index e sound insulation index), in decibel, in funzione degli anni di installazione della barriera.
Essa può essere stabilita in due modi:
- con soluzioni descrittive basate sull'esperienza pregressa;
- con prove prestazionali secondo la UNI CEN/TS 1793-5.

Relativamente alla durabilità delle caratteristiche non acustiche, con riferimento alla UNI EN 14389-2 che fornisce un'indicazione non vincolante, la durata della vita di servizio è posta pari a:
- 15 anni per gli elementi acustici;
- 50 per gli elementi strutturali.

Il produttore deve presentare per ogni tipologia di elemento acustico e strutturale una attestazione (sotto forma di certificato emesso da un laboratorio prove) sulla durata della vita di servizio prevista,

con la classificazione delle condizioni ambientali utilizzate per la valutazione, la specificazione delle procedure progettuali usate e le eventuali prove sperimentali.
A lavori ultimati deve essere predisposto un piano di manutenzione che specifichi tipologia e frequenza dei controlli da effettuare oltre gli interventi di pulizia ordinaria, rimozione dei graffiti ed in genere, lavori dovuti a cause accidentali.
Indicazioni sui requisiti di durabilità e manutenibilità delle opere in relazione ai diversi materiali impiegati sono contenute nel capitolo 36.2 relativo ai requisiti prescrizionali dei prodotti impiegati.

36.2 Caratteristiche dei pannelli e dei materiali costituenti le barriere

I componenti di sistemi antirumore per infrastrutture di trasporto possono essere realizzati con materiali di varia natura che devono garantire i requisiti prestazionali enunciati nel capitolo precedente.
Il presente capitolo, per le tipologie di prodotto finito comunemente utilizzate, specifica le caratteristiche fisiche e chimiche rilevanti dei materiali costituenti e definisce i rispettivi valori di riferimento affinché il sistema antirumore mantenga le prestazioni dichiarate per l'intera durata della vita di servizio.

Circolarità dei prodotti da costruzione

Salvo diverse specifiche contenute negli elaborati di progetto esecutivo e riassunte nella relazione CAM (criterio 1.1. del D.M.), si riportano di seguito i contenuti minimi per l'applicazione dei criteri ai sensi del D.M. 5 agosto 2024 (CAM Strade).
Le barriere antirumore prodotte con un contenuto di materia recuperata, riciclata o di sottoprodotti come indicato dal criterio 2.3.10 del D.M. 5 agosto 2024 (CAM Strade) nel rispetto delle caratteristiche prestazionali previste dal progetto e dal presente capitolato. Le percentuali minime obbligatorie, riferite al peso del prodotto finito, secco su secco, sono le seguenti:

- **Calcestruzzi confezionati in cantiere e preconfezionati**: come indicato nell'art. 20 del presente CSA.
- **Prodotti prefabbricati in calcestruzzo, in calcestruzzo aerato autoclavato e in calcestruzzo vibro compresso**: come indicato nell'art. 20 del presente CSA.
- **Prodotti in acciaio per usi strutturali**: come indicato nell'art. 25 del presente CSA.
- **Prodotti in acciaio per usi non strutturali**: come indicato nell'art. 25 del presente CSA.
- **Alluminio**: almeno il 70%.
- **PVC**: almeno il 40%.
- **Lana di vetro**: almeno il 60%.
- **Lana di roccia**: almeno il 15%.
- **Fibre di poliestere o altri materiali sintetici**: almeno il 50%.
- **Murature in pietrame e miste**: solo materiale riutilizzato o di recupero.
- **Legno o a base legno:** come in CAM strade al criterio 2.3.5.

Per i materiali isolanti costituiti da lane minerali, queste devono essere conformi alla Nota Q o alla Nota R del regolamento (CE) n. 1272/2008 (CLP).

L'attestazione del contenuto deve avvenire come previsto nell'art. CG05 del presente capitolato

Viene inoltre elencata la documentazione ed i principali controlli che l'Appaltatore dei lavori è tenuto a consegnare a corredo dei materiali forniti a garanzia della conformità del prodotto al campione oggetto di prove di prequalifica.
Vengono trattati in sequenza i moduli acustici delle principali famiglie di materiali. Seguono gli elementi strutturali, le guarnizioni ed i sigillanti, gli accessori metallici e le porte di servizio.
Separatamente vengono trattati i sistemi antirumore per i quali non è sempre possibile distinguere tra elementi acustici ed elementi strutturali (terrapieni naturali ed in terra rinforzata, biomuri, barriere inverdibili a basso ingombro trasversale).

36.2.1 Pannelli metallici

Si tratta di elementi acustici costituiti da uno o più gusci in lamiera metallica con eventuali nervature di irrigidimento, in genere preassemblati fino a costituire un pannello scatolato.
Il guscio metallico può essere realizzato in lega di alluminio, in acciaio o in altro metallo, adeguatamente protetto contro la corrosione
Al suo interno è inserita una stratificazione di materiale fonoassorbente, costituito da complessi porosi o fibrosi che sfruttano fenomeni di attrito e risonanza.

36.2.1.1 Pannelli in acciaio (al carbonio ed inox)

Lo spessore della lamiera non forata deve essere di almeno 1,0 mm con tolleranze secondo la norma UNI EN 10143[10], ad eccezione dei pannelli in acciaio inox (DIN 17440) per cui lo spessore minimo è di 0,8 mm.
Tutti i pannelli di acciaio al carbonio, ad eccezione dei pannelli in inox, dovranno essere protetti mediante zincatura eseguita in modo conforme alla EURONORM 147, con granatura di zinco del tipo Z275.
Per quanto riguarda il rivestimento protettivo i pannelli metallici (ad eccezione dei pannelli in acciaio inossidabile) possono essere, in alternativa:

1) preverniciati , con protezione mediante cloruro di polivinile, per uno spessore di verniciatura non minore di 100mm;
2) verniciati e sottoposti ad un trattamento di protezione superficiale contro la corrosione atmosferica secondo i cicli appresso indicati:
   - sgrassaggio a 60° C e risciacquo con acqua industriale;
   - fosfatazione microcristallina oppure fosfatazione amorfa con fosfati di ferro;
   - applicazione di uno strato intermedio di anaforesi o cataforesi o di brugalizzazione, oppure in alternativa un fondo a base epossidica;
   - verniciatura finale con applicazione a spruzzo o ad immersione di smalti a base poliestere o poliuretanica (in questo caso è indispensabile un fondo epossidico), oppure con applicazione elettrostatica di polvere a base poliestere;
   - polimerizzazione in forno a 140° C.

[10] Sostituisce la norma UNI 5753;

Lo spessore minimo locale della protezione, comprensivo della zincatura, deve essere 80 mm.
I cicli di verniciatura devono essere effettuati dopo tutte le lavorazioni meccaniche (foratura, piegatura, saldatura, ecc.).
Cicli diversi di verniciatura e di zincatura possono essere adottati solo se preventivamente concordati.

Si dovranno prendere gli accorgimenti idonei a ridurre l'ingresso di acqua meteorica o a favorirne la fuoriuscita mediante opportuni fori di drenaggio.
Tale requisito può essere valutato effettuando la "prova di tenuta ai liquidi" secondo il metodo di prova ricavato dalla Euronorm 86 per le prove del serramenti: verrà determinata la quantità di acqua penetrata nel pannelli con acqua spruzzata per 10 min (a livello superiore ed inferiore) con portata di 2 l/m²/min, ed il valore ottenuto verrà presentato al Committente per accettazione.
Per i pannelli in acciaio, con esclusione dei pannelli in acciaio inox, si prescrivono le seguenti prove e valori minimi per verificare l'idoneità del cicli di trattamenti protettivi (zincatura e verniciatura).

- Spessore della protezione:
  Esigenza minima: 80 mm o il valore dichiarato (si assume il valore più elevato tra i due);
- Aderenza, secondo la Norma Unichim MU 630:
  Esigenza minima: grado 1, sia nell'esecuzione a secco (dry-adesion, a tempo zero), sia dopo l'immersione in acqua a 40 °C per 150 h (wet adesion);
- Resistenza alla graffiatura, secondo le Norme UNI EN ISO 1518-1 e UNI EN ISO 1518-2:;
  Esigenza minima: 60N;
- Resistenza agli urti, secondo la Norma UNI EN ISO 6272-2;
  Esigenza minima: dopo 1000 h di esposizione deve risultare assenza di blistering e/o di perdita di aderenza; lungo l'incisione l'ossidazione e la bollatura non devono penetrare per più di 2 mm;
- Resistenza alla corrosione da nebbia salina neutra, secondo la Norma UNI EN ISO 9227:;
  Esigenza minima: con una soluzione di NaClAs 5%, procedura ASTM B117-64, dopo 1.500 h l'ossidazione o la bollatura lungo l'incisione non devono penetrare per più di 2 mm.
  Non sono ammesse alterazioni visive e perdite di aderenza.
  Applicando un nastro TESA n° 104 sul campione in esame, almeno dopo 4 h dall'estrazione dello stesso dalla camera, non devono verificarsi distacchi.

36.2.1.2 Pannelli in alluminio

Devono essere realizzati in lega Al-Mn-Mg tipo 3105 (UNI EN 573-3), con buona resistenza alla corrosione.
Per tali pannelli lo spessore minimo della lamiera su entrambi i lati, forati e non, è di almeno 1,2 mm; nel caso si applichi sulla lamiera non forata un materiale di appesantimento (smorzante a base bituminosa o di gomma) del peso di almeno 5 kg/m², lo spessore può essere ridotto a 1,0 mm.
Gli elementi dei pannelli in alluminio devono essere pretrattati alla verniciatura mediante opportuni sistemi di decapaggio e di preparazione.
L'alluminio non deve essere in contatto con rame o sue leghe
Lo spessore minimo locale della protezione deve essere di almeno 60 mm.
Si prescrivono i seguenti requisiti:

- Spessore della protezione anticorrosiva
  Esigenza minima: i valori dichiarati o 60 mm (il maggiore tra i due);
- Aderenza, secondo Unichim MU 630:

Esigenza minima: almeno grado 0;

- Resistenza alla scalfittura, secondo le Norme UNI EN ISO 1518-1 e UNI EN ISO 1518-2 (solo sulla faccia esposta):
  Esigenza minima: 60 N
- Resistenza agli urti, secondo la Norma UNI EN 6272-2;
  Esigenza minima: per caduta di una massa di 1 kg da un'altezza da 30 cm sulla faccia esposta, non devono verificarsi screpolature o distacchi su entrambe le facce;
- Resistenza all'umidità, secondo la Norma UNI EN ISO 6270-1;
  Esigenza minima (dopo 1500 h di esposizione) comprovata da corrosione e/o bollatura lungo l'incisione con penetrazione al massimo pari a 2 mm.
  Non è ammessa nessuna altra alterazione visiva o perdita di aderenza.
- Resistenza alla corrosione da nebbia salina neutra, secondo la Norma UNI EN ISO 9227;
  Esigenza minima: dopo 1500 h l'ossidazione o la bollatura lungo l'incisione non devono penetrare per più di 2 mm.
  Non sono ammesse alterazioni visive e perdite di aderenza.
  Applicando un nastro TESA n.104 sul campione in esame, almeno dopo 4 h dall'estrazione dello stesso dalla camera, non devono verificarsi distacchi.

Le operazioni meccaniche di foratura vanno effettuate prima dei trattamenti protettivi.

36.2.1.3 Caratteristiche del guscio in alluminio

Nella tabella seguente sono riportate le caratteristiche minime raccomandate per il guscio in alluminio unitamente al metodo di verifica a cui il materiale deve essere sottoposto.
Lo stato fisico dell'alluminio, indipendentemente dal tipo di lega, deve essere tale da permettere la formabilità a freddo senza che siano compromesse le caratteristiche meccaniche (per esempio a causa della formazione di cricche).
Nella realizzazione di giunzioni metalliche occorre evitare il problema della corrosione per contatto bimetallico.
E' raccomandato l'impiego di lamiere bucciardate che consentono di mascherare eventuali piccoli danni arrecati al prodotto durante il montaggio o nella sua vita operativa.
La lega di alluminio non deve essere stabilmente in contatto con materiale di diverso potenziale elettrico al fine di prevenire fenomeni di corrosione per effetto galvanico
. Di questa guaina occorre controllarne le modalità applicative per garantire la completa adesione alla superficie metallica. Il materiale costituente, in genere di tipo elastomerico, deve assicurare il mantenimento delle caratteristiche elastiche nel range di temperature di impiego dei pannelli.

Metodi di prova e valori raccomandati di alcune proprietà dei gusci metallici dei pannelli scatolati		
Caratteristica	Metodo di prova	Valore di riferimento
Percentuale di foratura della lamiera (lato sorgente)	---	$30\% \leq p_f \leq 40\%$
Lega di alluminio – tipologia	UNI EN 573-1	Lega Al-Mg-Mn del gruppo 3xxx
Lega di alluminio – spessore minimo	---	1,2 mm

Il film di vernice deve inoltre rispondere alle caratteristiche riportate in tabella. Al fine di garantire l'integrità dello strato protettivo si raccomanda che le operazioni meccaniche di foratura siano effettuate prima dell'esecuzione del trattamento. E' pertanto da escludere l'impiego di coils preverniciati per la realizzazione dei pannelli.

Metodi di prova e valori raccomandati di alcune proprietà dei prodotti verniciati		
Caratteristica	Metodo di prova	Valore di riferimento
Valutazione dello spessore del film di vernice	UNI EN ISO 2360	> 60 µm
Determinazione della brillantezza (con luce incidente a 60°)	UNI EN ISO 2813	30±5 gloss
Valutazione del grado di aderenza	UNI EN ISO 2409	Classe 0 (nessun distacco)
Valutazione della durezza (resistenza all'impronta Buchholz)	UNI EN ISO 2815	>80
Valutazione della resistenza all'urto	UNI EN ISO 6272	Nessun distacco o fessurazione
Prova di resistenza alla corrosione in camera a nebbia salina acetica	UNI ISO 9227	Dopo 1500 h di esposizione l'arruggimento e/o la bollatura lungo l'incisione non devono penetrare per più di 16 mm^2 per un taglio di 100 mm, con un massimo di 4 mm per ogni infiltrazione. Non è ammessa altra alterazione visibile o perdita di aderenza
Prova di resistenza alla corrosione accelerata Kesternich	UNI EN ISO 3231	Nessuna corrosione oltre 1 mm dall'incisione dopo 24 cicli
Determinazione della ritenzione della brillantezza	UNI EN ISO 16474-1	Perdita < 50% del valore iniziale
Determinazione della resistenza del colore	UNI EN ISO 16474-1	Perdita < 50% del valore iniziale
Determinazione della resistenza all'umidità	UNI EN ISO 6270-1	Dopo 1000 ore di esposizione, nessuna formazione di bolle e penetrazione < 1 mm
Determinazione della resistenza alla corrosione filiforme	UNI EN ISO 3665	Dopo 1500 ore di esposizione, penetrazione < 2 mm

36.2.1.4 Pannelli misti

È permesso l'utilizzo di pannelli misti acciaio-alluminio con il lato forato in alluminio e il lato pieno in acciaio.
Per ognuno dei due lati valgono rispettivamente le prescrizioni presenti per le singole tipologie del presente paragrafo.

36.2.1.5 Pannelli in acciaio Cor-Ten

Devono essere realizzati in acciaio Cor-Ten tipo A-B-C.
Per tali pannelli lo spessore minimo della lamiera su entrambi i lati, forati e non, è di almeno 1,0 mm;

36.2.2 Materiale fonoassorbente

Il materiale fonoassorbente inserito nel guscio metallico è in genere costituito da materassini di materiale fibroso (lane minerali o fibra di poliestere).

Per la fibra in poliestere termolegata deve essere garantita l'assenza di collanti termoindurenti nei materiali costituiti da fibre plastiche. Per aumentare la durabilità ed evitare impregnazioni il Progetto del guscio metallico deve prevedere accorgimenti e soluzioni atte a garantire l'evacuazione dell'acqua. Ad ulteriore garanzia per le lane minerali occorre prevedere una membrana microporosa ed idrorepellente, posizionata sulla superficie del materassino rivolta verso la sorgente del rumore. Il materiale deve risultare imputrescibile, inerte agli agenti atmosferici e non infiammabile. Per le fibre minerali (roccia o vetro) deve essere esclusa la classificazione di sostanza pericolosa in relazione a quanto previsto dal Regolamento (CE) n. 1272/2008 del 16 dicembre 2008.
Per assicurare le proprietà acustiche, di resistenza e di durabilità, i materiali fonoassorbenti fibrosi utilizzati devono soddisfare i requisiti riportati in tabella

Valori raccomandati di alcune proprietà relative ai più diffusi materiali fonoassorbenti fibrosi presenti negli elementi acustici		
Caratteristica	Metodo di prova	Valore di riferimento
Spessore strato	---	> 50 mm
Diametro medio delle fibre	UNI 6484	> 6 µm
Massa volumica apparente	UNI 6485	Lana di roccia: 90 kg/m^3 £ Mva£180 kg/m^3 Lana di vetro 40 kg/m^3 £ Mva£60 kg/m^3 Fibre di poliestere 30 kg/m^3 £ Mva£60 kg/m^3
Grado di igroscopicità	UNI 6543	<0.2% in volume con tempo di prova: 1 giorno
Classe di reazione al fuoco (nel caso di installazione in galleria)	EN 13501-1	Contributo al fuoco: A1 e A2 (non combustibili) Densità dei fumi s1 (assenza di fumi) Gocce incandescenti: d0 (assenza di gocce entro 600s)

Per quanto riguarda le proprietà di resistenza all'acqua, resistenza al calore ed ancoraggio del materiale fonoassorbente, non esistono metodi di prova normalizzati. Nella tabella sono riportati i metodi di prova da seguire per la valutazione delle proprietà testé citate ed i valori di riferimento raccomandati.

Metodi di prova non normalizzati e relativi valori di riferimento		
Caratteristica	Metodo di prova	Valore di riferimento
Resistenza all'acqua	Si pone un provino del materiale in esame, di dimensioni 100 mm x 100 mm e stesso spessore di quello effettivamente utilizzato, completamente immerso in acqua distillata per 24 h a temperatura ambiente.	Al termine della prova non devono essere avvenuti né sfaldamenti né colorazione rispettivamente del provino e dell'acqua.
Resistenza al calore	Si pone un provino del materiale in esame, di dimensioni 100 mm x 100 mm e stesso spessore di quello effettivamente utilizzato, in una stufa ad 80° C per 24 h poggiandolo su una delle due facce.	Al termine della prova non devono essere avvenute variazioni di lunghezza o larghezza del provino superiori a 5 mm, né variazioni di spessore superiori ad 1 mm.
Ancoraggio del materiale	L'elemento acustico, o una sua porzione significativa, disposto in posizione	Al termine della prova, il materiale fonoassorbente

fonoassorbente	verticale, è sottoposto per 24 h a vibrazione, anch'essa verticale, con livello di accelerazione di 123 dB nell'intervallo di frequenza compreso tra 1 e 80 Hz. La vibrazione deve essere trasmessa all'elemento in prova imponendo una scansione a passi di 1 Hz, riproducendo un ciclo completo di scansione ogni 12 minuti (9 s per singola frequenza)	deve risultare privo di sfaldamenti ed ancora saldamente ancorato alla struttura.

36.2.3 Pannelli in legno

Si tratta di elementi acustici costituiti da una struttura scatolare in legno al cui interno è alloggiata una stratificazione di materiale fonoassorbente, costituito da complessi porosi o fibrosi che sfruttano fenomeni di attrito e risonanza.
La struttura scatolare è in genere costituita da travetti portanti in legno a cui è fissato posteriormente un tavolato perlinato ed anteriormente una griglia di contenimento del materassino fonoassorbente formata da listelli di legno.
In alternativa questa griglia anteriore può essere sostituita da lamiera grecata in alluminio a realizzare un sistema misto legno – metallo.
Per le caratteristiche prescrizionali delle parti metalliche si rinvia al paragrafo 36.2.1.
Per le caratteristiche prescrizionali del materassino fonoassorbente si rinvia al paragrafo 36.2.2.
Segue una trattazione specifica delle componenti in legno.

36.2.3.1 Caratteristiche della struttura scatolare in legno

Per il grado di esposizione agli agenti atmosferici, i pannelli devono essere accuratamente lavorati e realizzati con legno di ottima qualità, esente da radici, funghi e muffe. Non sono accettabili elementi danneggiati dagli attacchi da parte di batteri o insetti. Analogamente non sono accettabili elementi che presentino cricche, fessure profonde e nodi non collegati fermamente alla struttura.
Il legno deve resistere al deperimento organico e va trattato con impregnanti speciali per evitare la formazione di funghi. In alternativa è previsto l'impiego di legno di durabilità naturale che non richiede di essere protetto mediante impregnazione in autoclave.
Come sostanza impregnante devono essere utilizzati sali preservanti inorganici indilavabili cosiddetti "ecologici", cioè esenti da arsenico e cromo.
Il legno utilizzato deve provenire da foreste gestite in maniera sostenibile nel rispetto delle norme ambientali di corretta politica forestale.

Metodi di prova, valori raccomandati e altri requisiti di alcune proprietà degli elementi acustici in legno		
Caratteristica	Metodo di prova	Valore di riferimento
Legno lamellare – classe di resistenza	DIN 4074, DIN 1052-10	Classe II
Classe di impregnazione	UNI EN 350	Classe 1 o 2
Classificazione di penetrazione e ritenzione del preservante	UNI EN 351-1	Conforme il legno impregnato deve essere stato trattato con sali preservanti inorganici indilavabili cosiddetti "ecologici", cioè esenti da arsenico e cromo, in autoclave in pressione
Durabilità del legno	UNI EN 350	Certificata

Classe della specie legnosa per il legno di pino	UNI EN 350	Certificata
Caratteristiche minime della struttura del pannello, al fine di garantire una durabilità di almeno 15 anni	UNI 11160, punto 8.2.3	Conforme

Le caratteristiche minime della struttura del pannello, al fine di garantire una durabilità di almeno 15 anni, devono essere le seguenti:

- telaio scatolare in legni di massello con sezione di 100 mm x 80 mm, bloccati fra loro da incastri angolari;
- telaio attrezzato sui lati della lunghezza con una fresatura esterna per la sede dei regoli in legno, aventi lo scopo di congiungere ermeticamente la sovrapposizione dei pannelli;
- tavolato finale di tamponamento composto da assiti trattati, di spessore minimo 20 mm, fissato sia in lunghezza che in altezza almeno in almeno tre punti con viti in acciaio inossidabile;
- tessuto antispolvero in rete di polietilene con tramatura rinforzata, resistente ai raggi UVA, da posizionare anteriormente a protezione del materassino fonoassorbente;

I listelli in legno, che possono essere una variante ai modelli dei pannelli, devono essere trattati in autoclave, avere sezione minima di 50 mm x 25 mm, essere opportunamente lavorati e sagomati, fissati con viti in acciaio inossidabile alle estremità, in fori predisposti, lasciando la parte legnosa di 20 mm - 30 mm.
Deve essere presente una scossalina in lamierino di acciaio verniciato a caldo a protezione dei pannelli. Tutta la parte metallica necessaria all'assemblaggio del pannello, deve essere in acciaio inossidabile.

36.2.4 Pannelli trasparenti

L'impiego di lastre trasparenti nelle barriere antirumore è dovuto ad esigenze di tipo architettonico o inserimento paesaggistico, di visibilità e, in casi specifici, di sicurezza dell'esercizio (garanzia di visuale su corsie di immissione o segnaletica).
Queste lastre non hanno proprietà fonoassorbenti intrinseche. Devono comunque garantire i valori di fonoisolamento minimi richiesti a Progetto.
I materiali trasparenti comunemente impiegati sono il polimetilmetacrilato, il policarbonato ed il vetro stratificato. Il modulo pannello è realizzato con idonee guarnizioni ed una cornice strutturale portante realizzata in acciaio, alluminio o legno.
Nei paragrafi seguenti sono trattati specificatamente le singole tipologie di materiale trasparente e relativi accessori (guarnizioni / bulloneria).
Per le caratteristiche della cornice strutturale portante si rimanda al paragrafo 36.2.1 se di acciaio ed al paragrafo 36.2.3 se di legno.

36.2.4.1 Pannelli trasparenti con lastre in polimetilmetacrilato (PMMA)

Le lastre di polimetilmetacrilato (PMMA) possono essere di tipo colato conforme alla UNI EN ISO 7823-1 o estruso conforme alla UNI EN ISO 7823-2.
In tabella sono elencate le caratteristiche tecniche del materiale.

Caratteristiche delle lastre in PMMA		
Caratteristica	Metodo di prova	Valore di riferimento
Massa volumica	ISO 1183-1	≥ 1 190 kg/m^3
Assorbimento d'acqua	UNI EN ISO 62, metodo 1 (24h, 23°C) le provette sono quadrate, di lato pari a 50 mm e di spessore pari a 3 mm	≤ 0,5 %
Resistenza a flessione	UNI EN ISO 178	≥ 100 MPa
Resistenza a trazione	UNI EN ISO 527-2/1B/50	≥ 65 MPa
Resistenza a trazione dopo invecchiamento	UNI EN ISO 527-2/1B/50	≥ 60 MPa
Modulo elastico a flessione	UNI EN ISO 178	≥ 3 000 MPa
Modulo elastico a trazione	UNI EN ISO 527-2/1B/50	≥ 3 000 MPa
Modulo elastico a trazione dopo invecchiamento	UNI EN ISO 527-2/1B/50	≥ 2 800 MPa
Resistenza all'urto Charpy senza intaglio	UNI EN ISO 179-1/1fU	≥ 10 kj/m^2
Temperature di rammollimento Vicat	UNI EN ISO 306, metodo B50	≥ 95° C
Coefficiente di dilatazione termica lineare	DIN 53752-A	≤ 70 x 10 $^{-6}$ 1/K
Fattore di trasmissione luminosa totale	UNI EN ISO 13468-1 le provette sono incolori e di spessore pari a 3 mm (UNI EN ISO 7823-1 e UNI EN ISO 7823-2)	≥ 90%
Fattore di trasmissione luminosa a 420 mm: prima dell'esposizione	UNI EN ISO 13468-1	≥ 90%
Fattore di trasmissione luminosa a 420 mm: dopo l'esposizione alla lampada allo Xenon	UNI EN ISO 4892-2 per 1000 h	≥ 88%
Tensione ammessa sul materiale (fino a 40° C)	---	≤ 7 N/mm^2

Le lastre in PMMA devono essere inserite in un telaio metallico con interposta una guarnizione in EPDM, per una profondità tale da evitare l'uscita delle lastre per effetto della deformazione sotto carico.
Le lastre in PMMA devono potersi dilatare o ritirare in funzione della temperatura.
Lo spessore della lastra deve essere determinato in funzione dei carichi dinamici e statici richiesti, delle dimensioni delle lastre e del tipo di cornice utilizzata. Lo spessore delle lastre di PMMA deve essere non inferiore a *20 mm o 15 mm con rinforzo in fili di poliammide*.
La verifica di resistenza ai carichi dinamici e statici deve essere certificata dal produttore del sistema, secondo quanto richiesto dalla UNI EN 1794-2, e deve essere eseguita sull'intero pannello comprensivo di lastra, guarnizione e cornice metallica simulando le condizioni reali di installazione comprensive delle modalità di vincolo tra il sistema pannello-cornice-guarnizione e i montanti.
Analogamente per la prova di impatto e caduta dei frammenti prevista in conformità alla UNI EN 1794-2, appendice A. Per le condizioni di impatto più severe previste dalla norma, oltre ai sistemi tradizionali di ritenuta dei frammenti (rete di contenimento) è possibile utilizzare lastre in PMMA rinforzate internamente con filamenti in poliammide o altro materiale compatibile. Le lastre di PMMA

rinforzato devono essere assicurate alla struttura portante (HE o altro) mediante idonei collegamenti come, per esempio, cavetti di sicurezza in acciaio (con una resistenza a trazione non minore di 1 500 N/mm2), fissati sui 4 angoli della lastra in PMMA, a non meno di 140 mm dal bordo. Per l'esecuzione dei fori sulla lastra devono essere rispettate le istruzioni del produttore.
Tra i requisiti di protezione ambientale per le lastre in PMMA deve essere fornita specifica scheda di sicurezza CE per le lastre in PMMA estruso e colato in quanto le due tipologie di materiale vanno trattate in modo diverso in fase di riciclo a fine vita di esercizio.
Al fine di rendere visibile l'ostacolo barriera ai volatili può essere adottata una opportuna colorazione in massa; questa soluzione è consigliata altresì per minimizzare l'effetto sporco nei periodi di siccità. In alternativa è possibile ricorrere a trattamenti serigrafici o ad applicazione di decalcomanie.
Per la pulizia delle lastre devono essere programmate operazioni di pulizia periodiche delle lastre di PMMA con acqua in pressione, in conformità alla cadenza temporale dichiarata dal produttore del PMMA.
Al fine di individuare l'onere connesso con la manutenzione degli elementi in PMMA, deve essere indicato il tipo di trattamento a cui occorre che tali elementi siano sottoposti per la rimozione della polvere e dei graffiti.
Le guarnizioni che vengono impiegate a contatto con il PMMA, devono essere realizzate in EPDM o altro materiale compatibile con il materiale trasparente; non devono cioè rilasciare, durante la vita di servizio, prodotti chimici che aggrediscano chimicamente il materiale
trasparente. La geometria della guarnizione deve essere tale da consentire la dilatazione ed il ritiro delle lastre evitando che queste fuoriescano durante la vita di servizio.
Le guarnizioni devono avere le caratteristiche minime elencate nel prospetto.

Caratteristiche delle guarnizioni		
Caratteristica	Metodo di prova	Valore minimo (*)
Durezza	UNI EN ISO 868	70 ± 5 Shore A/3 (± 3 Shore A/3)
Carico di rottura	UNI 6065	10 Mpa (± 5%)
Allungamento a rottura	UNI 6065	300% (± 15%)

(*) Tra parentesi sono riportate le variazioni ammesse dopo invecchiamento termico di sette giorni alla temperatura di 70 °C, in conformità alla UNI ISO 188.

La cornice metallica deve essere installata su almeno tre lati della lastra, offrendo a quest'ultima idonea resistenza meccanica per effetto della forma, dello spessore e delle caratteristiche meccaniche del materiale impiegato.

36.2.4.2 Pannelli trasparenti con lastre in policarbonato protetto a UV

L'impiego di lastre in policarbonato presuppone che non si tratti di materiale riciclato e che sia prevista idonea protezione per i raggi UV. Possono essere impiegate lastre in policarbonato a partire da uno spessore minimo di 12 mm.
In tabella sono elencate le caratteristiche tecniche del materiale.

Caratteristiche delle lastre in policarbonato		
Caratteristica	Metodo di prova	Valore di riferimento
Massa volumica	UNI EN ISO 1183	≥ 1 000 kg/m^3
Assorbimento d'acqua	UNI EN ISO 62, metodo 1(24h, 23°C) le provette sono quadrate, di lato pari a 50 mm e di spessore pari a 3 mm	≤ 16 %
Resistenza a trazione	UNI EN ISO 527-2/1B/50	≥ 60 MPa
Resistenza a trazione dopo	UNI EN ISO 527-2/1B/50	≥ 55 MPa

Caratteristiche delle lastre in policarbonato		
Caratteristica	Metodo di prova	Valore di riferimento
invecchiamento		
Modulo elastico a trazione	UNI EN ISO 527-2/1B/50	≥ 2 200 MPa
Modulo elastico a trazione dopo invecchiamento	UNI EN ISO 527-2/1B/50	≥ 2 000 MPa
Resistenza all'urto Charpy con intaglio	UNI EN ISO 179-1/1fU	≥ 6 Kj/m2
Temperatura di rammollimento Vicat	UNI EN ISO 306, metodo B50	≥ 145°C
Coefficiente di dilatazione termica lineare	DIN 53752-A	≤ $6{,}5.10^{-5}$ $°C^{-1}$
Modulo elastico a trazione	UNI EN ISO 527-2/1B/5	≥ 2 200 MPa
Fattore di trasmissione luminosa a 420 mm		
Prima dell'esposizione	UNI EN ISO 13468-1	≥ 85%
Dopo l'esposizione	UNI EN ISO 4892-2 per 1 000 h	≥ 82%
Tensione ammessa sul materiale (fino a 40°C)	---	≤ 10 N/mm2

Valgono per i pannelli con lastra in policarbonato tutte le caratteristiche generali riportate per le lastre in PMMA al paragrafo 36.2.4.1

36.2.4.3 Pannelli trasparenti con lastre in vetro stratificato

Per motivi di sicurezza gli elementi acustici in vetro devono essere realizzati esclusivamente con lastre di vetro stratificato ottenute da procedimento di lavorazione float per colata su bagno metallico in atmosfera controllata e da un film intermedio in polivinilbutirrale (PVB), avente uno spessore costante di 0.76 mm, per uno spessore totale minimo di 15 mm (6+8+PVB).
Le singole lastre devono essere sottoposte a trattamento termico di tempera o di indurimento in funzione del tipo di applicazione e del grado di sicurezza che si vuole conseguire in caso di urto.
Il trattamento di tempera aggiunge al livello di sicurezza dovuto alla stratificazione i risultati di maggior resistenza meccanica ed agli shock termici, migliorando la sicurezza di impiego del prodotto nel caso di applicazione in barriere antirumore poste a lato delle infrastrutture di trasporto.
In caso di lastre curve è preferibile la stratificazione di due o più vetri temperati della stessa natura e spessore.
Qualora le lastre siano applicate in copertura, si raccomanda l'uso di vetro stratificato costituito da una lastra temperata ed una indurita; il vetro temperato ha una migliore resistenza meccanica; il vetro indurito ha una compattezza in caso di rottura superiore al vetro stratificato temperato, poiché presenta una frammentazione di grandi dimensioni.
I pannelli realizzati in vetro possono essere costituiti da materiale incolore o colorato, eventualmente con serigrafie decorative. Il colore può essere ottenuto con l'impiego di fogli di PVB della colorazione richiesta.

Caratteristiche delle lastre in vetro stratificato		
Caratteristica	Metodo di prova	Valore di riferimento
Spessore totale	---	³ 15 mm
Caratteristiche del materiale di base e limitazione dei difetti ottici e visivi	UNI EN 572-1, UNI EN 572-2 e UNI EN ISO 12543-6	
Resistenza ad alta temperatura, all'umidità e all'irraggiamento solare simulato	UNI EN ISO 12543, parti 1, 2, 3 e 4	

Caratteristiche delle lastre in vetro stratificato		
Caratteristica	Metodo di prova	Valore di riferimento
Dimensioni, scostamenti limite e finiture dei bordi	UNI EN ISO 12543-5	
Criteri di sicurezza nelle applicazioni vetrarie	UNI 7697	
Molatura delle lastre	UNI 11649	
Trattamento serigrafico (eventuale)	UNI EN 12150-1	
Fattore di trasmissione luminosa	UNI EN 410 e UNI EN 673	0,81
Fattore di riflessione luminosa	UNI EN 410 e UNI EN 673	0,07
Fattore di trasmissione energetica	UNI EN 410 e UNI EN 673	0,54
Fattore di riflessione energetica	UNI EN 410 e UNI EN 673	0,40
Fattore di assorbimento energetico	UNI EN 410 e UNI EN 673	0,06
Fattore solare	UNI EN 410 e UNI EN 673	0,65

Le lastre devono essere certificate con trattamento termico Heat Soak Test (HST) secondo UNI EN 14179-2.

Valgono per i pannelli con lastra in vetro tutte le caratteristiche generali riportate per le lastre in PMMA al paragrafo 36.2.4.1

Per assicurare la compatibilità con il plastico PVB, è preferibile impiegare guarnizioni a mescola a base siliconica.

36.2.4.4 Mitigazioni ambientali per l'avifauna

Le marcature atte a prevenire le collisioni dell'avifauna contro i pannelli trasparenti previste sono costituite dall'applicazione di strisce adesive o di strisce sabbiate o fresate sui pannelli oppure fili di poliammide coestrusi o colati.

Sono previste pertanto marcatura aventi le seguenti caratteristiche:

- Tipo 1:
  - strisce orizzontali;
  - colore bianco (o giallo);
  - larghezza: 20 mm;
  - spaziatura: 100 mm.
- Tipo 2:
  - Strisce orizzontali;
  - Colore nero;
  - Larghezza: 2 mm;
  - Spaziatura 30 mm.

Nel caso di applicazione di strisce adesive, strisce sabbiate o fresate queste devono essere applicate verso l'esterno - lato ricettore (direzione di arrivo presumibile degli uccelli, quindi verso l'habitat laterale all'autostrada).

36.2.4.5 Pannelli in materiale plastico

I materiali utilizzati (polietilene, polipropilene, polivinilcloruro, poliestere) devono garantire resistenza allo scorrimento (shrinkage) a temperatura ambiente ed alle alte temperature (70 °C), alla fessurazione (creep) e ai raggi ultravioletti.

In particolare i pannelli in materiale plastico dovranno essere realizzati con materiale avente un modulo elastico a flessione superiore a 2.600 MPa secondo la norma DIN 16948.

36.2.5 Pannelli in calcestruzzo

Si tratta di pannelli costituiti da uno strato portante in calcestruzzo armato abbinato ad uno strato di materiale poroso di varie tipologie.
Lo strato portante assicura le proprietà fonoisolanti del pannello; lo strato poroso assicura le proprietà fonoassorbenti grazie alla sua geometria ed al materiale di cui può essere costituito (granuli di argilla espansa o lapillo vulcanico).
I due strati sono normalmente abbinati in fase di getto con la tecnica del fresco su fresco che assicura l'omogeneità del pannello se effettuata con tempi di getto ravvicinati in modo da garantire la contemporaneità del fenomeno di presa.
Esistono tuttavia altre modalità produttive quali la prefabbricazione separata dei moduli alleggeriti ed il successivo fissaggio meccanico allo strato portante.
Per questa tipologia di elementi acustici, la norma tecnica UNI EN 14992 contiene i riferimenti tecnici per le caratteristiche meccaniche, di sicurezza e durabilità.
L'eventuale colorazione dello strato fonoassorbente deve essere preferibilmente realizzata con pigmentazione dell'impasto mediante impiego di ossidi, al fine di non pregiudicare le proprietà fonoassorbenti del manufatto. Il ricorso a sistemi di colorazioni mediante vernici silicatiche o poliuretaniche è approvato se i test di fonoassorbimento sono effettuati sul pannello verniciato.
Le due tipologie di pigmentazione possono essere applicate indifferentemente per lo strato portante in calcestruzzo.
Qualora siano richieste unicamente proprietà fonoisolanti (esempio panello di base di barriere antirumore) il pannello sarà realizzato in unico strato in cls armato.

36.2.5.1 Strato in cls armato

I pannelli che costituiscono la barriera saranno realizzati con calcestruzzo durevole avente requisiti di resistenza e porosità adeguati al tipo di protezione antifonica richiesta; in ogni caso la resistenza a compressione, secondo UNI EN 12390-3 non dovrà essere inferiore a 40 N/mm² e lo spessore del pannello non inferiore a 8 cm per ottenere uno spessore adeguato del copriferro.
I materiali utilizzati nel confezionamento del calcestruzzo devono essere marcati CE, secondo il regolamento (UE) 305/2011 e Dlgs 106/2017, e devono soddisfare le norme richiamate dalla UNI EN 206.
Il cemento sarà di tipo Portland o pozzolanico conformi alla UNI EN 197-1. L'acqua d'impasto deve essere conforme alla norma UNI EN 1008. Gli additivi devono essere conformi alla norma UNI EN 934-2.
Gli aggregati devono essere conformi alle UNI EN 12620 e UNI 8520. In particolare, dovranno avere assorbimento inferiore al 2,5% e, per applicazioni in ambienti gelivi (classe di esposizione XF), inferiore all'1%. È possibile l'utilizzo degli aggregati di riciclo in conformità alla norma UNI 11104.
Il coefficiente di permeabilità,secondo UNI EN 12390-8,ottenuto con prova a carico costante alla pressione di 1400 kPa su provini di 100 mm di diametro oppure preliminarmente ai getti su provini cubici aventi lo spigolo di 150 mm, dovrà essere $K < 10^{-10}$ cm s-1.
Le superfici di cemento o calcestruzzo dovranno essere protette con additivi idrofobizzanti inseriti in fase di confezionamento.
L'armatura sarà in reti elettrosaldate e/o barre d'acciaio ad aderenza migliorata del tipo B450C o B450A come da D.M. 17/01/2018.

Gli elementi che costituiscono la barriera saranno realizzati da una parte portante in calcestruzzo con i seguenti requisiti:

- spessore pannello: □5 cm

- rapporto acqua/cemento: <0,45
- slump: > 16 cm
- acqua essudata :<0,1%
- tipo di cemento: pozzolanico o altoforno
- contenuto in cemento :<450 Kg/m3
- classe minima Rck >= 40 N/mm2
- contenuto minimo di cemento in funzione del diametro massimo dell'aggregato:

Diametro (mm)	30	20	10
Cemento (kg/m^3)	380	400	450

A discrezione della Direzione Lavori potrà essere richiesta la prova del coefficiente di permeabilità ottenuto con prova a carico costante alla pressione di 1.400 kPa su provini di 100 mm di diametro oppure, preliminarmente ai getti, su provini cubici di spigolo di 150 mm: il valore minimo ammissibile è di 10-10 cm/s.
Le componenti in cemento o calcestruzzo dovranno essere additivate di soluzioni idrorepellenti o, in alternativa, trattate in superficie con soluzioni a base di silani, in modo che ne sia comunque garantita la impermeabilizzazione; tutti i trattamenti devono assicurare adeguate caratteristiche di trasparenza, traspirazione, resistenza alle intemperie, agli UV, alle muffe ai cloruri agli alcali ed agli agenti aggressivi presenti nelle acque meteoriche.

Il trattamento non deve sviluppare fumi o gas tossici in caso di incendio e deve consentire l'applicazione di opportuni prodotti vernicianti con funzione estetica funzionale.

Il trattamento impermeabilizzante non deve compromettere la permeabilità alle onde sonore: tale caratteristica sarà verificata secondo quanto prescritto dalla norma UNI EN 1793-5.

Le proprietà fonoassorbenti (sono assicurate dallo strato in calcestruzzo di argilla espansa o pomice o fibre di legno mineralizzato al silicio). possono essere assicurate:
- da uno strato di calcestruzzo di argilla espansa o pomice o fibre di legno mineralizzato al silicio;
- da elementi modulari vibrocompressi realizzati in calcestruzzo di argilla espansa, pomice o legno mineralizzato al silicio e solidarizzati ad una struttura portante in calcestruzzo o in metallo. Nel caso di impiego di argilla espansa quale elemento base fonoassorbente, tale strato dovrà avere le seguenti caratteristiche:
- massa volumica in mucchio (secondo la norma UNI EN 13055) compresa preferibilmente tra 350 e 600 Kg/m3, e comunque mai superiore a 1.100 Kg/m3;
- cemento di tipo pozzolanico od altoforno dosato a 180÷350 Kg/m3 di inerti;
- resistenza alla compressione dovrà essere in media di 5 N/mm2, per pannelli con argilla espansa o pomice, e 2 N/mm2 per pannelli con fibre di legno, se misurata su cubetti stagionati con lato 100 mm (norma UNI EN 12390-1);
- spessore dello strato potrà essere variabile e comunque non dovrà scendere al disotto di 4 cm;
- massa volumica non superiore a (1.200) 1.400 kg/m3 ;
- diametro massimo del granulo compreso tra 12 e 15 mm.

Nel caso di impiego di argilla espansa quale elemento fonoassorbente e congiuntamente strutturale e di alleggerimento dei manufatti prefabbricati, tale materiale dovrà presentare le seguenti caratteristiche:
- inerti leggeri costituiti da granuli in argilla espansa tipo T6 con massa volumica in mucchio compresa tra 600 e 800 Kg/m3
- massa volumica media del granulo 1 kg/l;
- diametro massimo del granulo compreso tra 12 e 15 mm;

- cemento di tipo pozzolanico od alto forno dosato a 350÷400 kg/m3 di inerti e non oltre ad evitare di intasare i pori con perdita di efficacia antirumore;
- resistenza caratteristica del calcestruzzo (Rck) maggiore od uguale a 25 N/mm2 e massa volumica non inferiore a 1200 kg/m3.

Il calcestruzzo di argilla espansa con cui vengono prodotti gli elementi vibrocompressi (blocchi o piastre) dovrà possedere una resistenza media a compressione, misurata su cubetti stagionati con lato 100 mm (norma UNI EN 12390-1), non inferiore a 5 N/mm2.

In particolare si dovrà porre cura nella realizzazione del giunto tra i pannelli, tra pannello e montante e tra il pannello e il suolo.

Eventuali dispositivi per lo smaltimento delle acque al suolo, dovranno essere realizzati impedendo che le onde sonore possano propagarsi aldilà dello schermo.

Tutte le fessure tra gli elementi in calcestruzzo saranno riempite con un sigillante che assicuri la perfetta tenuta acustica.

36.2.5.2 Strato fonoassorbente in argilla espansa o pomice

La superficie fonoassorbente del pannello è ottenuta con un getto di argilla espansa o pomice normalmente grecato per incrementare la superficie fonoassorbente attiva.
I pannelli dovranno avere apposita protezione della struttura cellulare in argilla espansa o pomice esposta agli agenti atmosferici mediante applicazione in fase di confezionamento di additivi idrofobizzanti.
La protezione della superficie deve impedire l'assorbimento delle acque meteoriche, limitando così i rischi del gelo ed impedendo la naturale formazione di vegetazione, nonché la proliferazione di microrganismi all'interno del materiale.
La protezione nei confronti degli agenti atmosferici potrà essere realizzata in tempi successivi al processo produttivo, mediante trattamenti superficiali, effettuati in stabilimento o in cantiere, con impiego di una soluzione composta di acqua e silicone spruzzata sulla superficie, oppure da una soluzione a base di silani (in quantitativi dipendenti dalla porosità del supporto), applicata sulle superfici pulite e asciutte tramite irroratori a bassa pressione. Questo tipo di applicazione, avendo effetti sul fonoassorbimento del manufatto, comporta la certificazione di questa caratteristica per il pannello verniciato.
Nel caso di realizzazione del pannello stratificato con la tecnica del fresco su fresco, le caratteristiche dell'argilla espansa sono riportate in tabella.

Metodi di prova e valori raccomandati di alcune proprietà dell'argilla espansa in granuli utilizzata in conglomerati cementizi non strutturali		
Caratteristica	Metodo di prova	Valore di riferimento
Massa volumica in mucchio dei granuli di argilla espansa	UNI EN 13055-1	350 kg/m^3 £ M_{va} £ 850 kg/m^3
Diametro massimo dei granuli di argilla espansa	UNI EN 13055-1	12 mm £ D_{max} £ 20 mm
Dosaggio del cemento (pozzolanico o Portland) per metro cubo di impasto		200 kg/m^3 £Dosaggio£ 350 kg/m^3
Massa volumica del calcestruzzo di argilla espansa		£ 1200 kg/m^3
Spessore dello strato di calcestruzzo poroso		³ 40 mm
Resistenza media a compressione del calcestruzzo di	UNI EN 1345	³ 5N/mm^2

argilla espansa misurata su cubetti stagionati con lato di 100 mm		

In alcune applicazioni vengono realizzati blocchi di argilla espansa vibrocompressi successivamente solidarizzati ad uno strato portante in calcestruzzo. Per questo tipo di applicazione le caratteristiche dell'argilla espansa sono riportate in tabella.

Metodi di prova e valori raccomandati di alcune proprietà degli elementi vibrocompressi fonoassorbenti in calcestruzzo di argilla espansa da solidarizzare ad una struttura portante		
Caratteristica	Metodo di prova	Valore di riferimento
Massa volumica in mucchio dei granuli di argilla espansa	UNI EN 13055-1	500 kg/m^3 £M_{va} £ 800 kg/m^3
Diametro massimo dei granuli di argilla espansa	UNI EN 13055-1	£ 20 mm
Dosaggio del cemento (pozzolanico o Portland) per metro cubo di impasto.		³ 200 kg/m^2
Massa volumica del calcestruzzo di argilla espansa		£ 1200 kg/m^3
Spessore dello strato di calcestruzzo poroso		³ 80 mm
Resistenza media a compressione del calcestruzzo di argilla espansa misurata su cubetti stagionati con lato di 100 mm	UNI EN 1345	³ 5N/mm^2

Alternativamente all'argilla espansa, per realizzare lo strato fonoassorbente del pannello può essere utilizzato lapillo vulcanico o pomice che deve avere le caratteristiche riportate in tabella.

Metodi di prova e valori raccomandati di alcune proprietà dell'inerte naturale di pomice in conglomerati cementizi non strutturali.		
Caratteristica	Metodo di prova	Valore di riferimento
Massa volumica in mucchio dell'inerte naturale di pomice	UNI EN 13055-1	600 kg/m^3 £M_{va} £ 900 kg/m^3
Diametro massimo dei granuli	UNI EN 13055-1	£ 14 mm
Dosaggio del cemento (pozzolanico o Portland) per metro cubo di inerte		200 kg/m^3 £M_{va} £ 350 kg/m^3
Massa volumica del calcestruzzo con inerte naturale di pomice		£ 1200 kg/m^3
Spessore minimo dello strato in calcestruzzo poroso		³ 40 mm
Resistenza media a compressione del calcestruzzo poroso di argilla espansa misurata su cubetti stagionati con lato di 100 mm	UNI EN 1345	³ 5N/mm^2

36.2.6 Rivestimenti muri e gallerie

Si tratta di elementi con funzioni esclusivamente fonoassorbenti, per i cui requisiti si rimanda a quanto riportato per i materiali fonoassorbenti § 36.2.2.

36.2.6.1 Pannelli in laterizio

Il principio su cui si basa l'assorbimento di tali pannelli deriva dalla proprietà che una cavità possiede di attenuare il rumore per risonanza e dalla capacità di materiale.
La massa d'aria contenuta all'interno della cavità sotto l'effetto delle onde sonore incidenti, si pone in vibrazione ed attraverso lo smorzamento dovuto ai molteplici urti sulle pareti ne trasforma l'energia in calore.
L'assorbimento per risonanza, essendo legato alle dimensioni del foro di ingresso e della cavità, funziona per una specifica frequenza, il diagramma del coefficiente di Sabine presenterà allora una cuspide in corrispondenza della frequenza caratteristica descritta: si può quindi ottenere un elevato valore dell'assorbimento per suoni incidenti con frequenza compresa tra i 100 ed i 1.000 Hz.
La struttura portante di tali schermature è generalmente costituita da pilastri in cemento armato.
Varianti di questo tipo di pannelli si possono ottenere con blocchi di cemento anch'essi dotati di cavità risonanti.

36.2.7 Barriere integrate rumore e sicurezza

Si tratta di sistemi che svolgono contemporaneamente le funzioni di protezioni antirumore e barriere di sicurezza antisvio.
Gli elementi che svolgono le funzioni acustiche possono essere costituiti da pannelli di diverso materiale, con caratteristiche comunque conformi a quanto dettagliato nel presente articolo di capitolato speciale.
Gli elementi che svolgono le funzioni di sicurezza, operando congiuntamente agli elementi acustici, devono avere caratteristiche funzionali tali da soddisfare quanto definito nel Decreto Ministero Infrastrutture e Trasporti del 21 giugno 2004 e quanto disciplinato nell'art 37 di questo capitolato speciale.

36.2.8 Sistemi di copertura a "baffles"

Si tratta di un sistema di copertura a cielo aperto ottenuta con pannelli fonoisolanti/fonoassorbenti sospesi (baffles) sulla sede stradale così da formare una griglia in grado di attenuare l'onda acustica e garantire lo smaltimento dei fumi; integrati con altri sistemi di copertura (trasparente o cieca) consentono di gradualizzare il livello di luminosità all'interno della copertura.

I pannelli tipo baffles sono generalmente costituiti da un involucro metallico e materassino fonoassorbente/fonoisolante interno con caratteristiche rispondenti alle specifiche elencate al paragrafo 36.2.2.
Dal punto di vista prestazionale è richiesta la qualificazione acustica del sistema con l'effettuazione di un test di fonoarrobimento secondo la UNI EN 1793-1 (valori di DL_α>11 dB) e fonoisolamento secondo la norma UNI EN 1793-2 (valori di DL_R>12 dB). Il campione deve essere rappresentativo del sistema di copertura e costituito quindi da una porzione di grigliato a baffles montato nella camera di prova così come previsto dagli elaborati progettuali, rispettando cioè le quote relative agli interassi fra i pannelli.
Sono inoltre richieste le prove di prequalifica acustica sul prodotto come riportato al capitolo 35.1.1.
Considerata la modalità di impiego dei pannelli baffles, è richiesta la verifica strutturale prevista al paragrafo 36.1.2relativa ai carichi aerodinamici e statici.

Relativamente ai requisiti di sicurezza e compatibilità ambientale occorre siano prodotti i certificati di comportamento in presenza di fuoco (rif par. 36.1.3.2 e le attestazioni relative ai materiali come elencato nel paragrafo 36.1.3.6.

36.2.9 Diffrattori di sommità per barriere

Si tratta di dispositivi che installati sulla sommità delle barriere antirumore agiscono sull'onda diffratta migliorando le prestazioni globali della barriera stessa.
Sono in genere elementi lineari collegati alla struttura portante della barriera e costituiti da un guscio metallico con materassino interno fonoassorbente. In questi casi le loro caratteristiche tecniche devono essere rispondenti alle specifiche elencate al paragrafo 36.2.2.
Relativamente alle prove di tipo statico deve essere verificata la resistenza ai carichi (rif. par. 36.1.2.1).
Relativamente alla sicurezza in esercizio devono essere verificati i sistemi anticaduta ed il comportamento in presenza di fuoco (rif. par. 36.1.3.1 e 36.1.3.2).

36.2.10 Biomuri in calcestruzzo armato vibrato

I biomuri in calcestruzzo sono costituiti da una griglia spaziale tridimensionale di elementi prefabbricati in conglomerato cementizio armato vibrato, che, incastrati o comunque collegati fra di loro, realizzano un'intelaiatura avente larghe superfici aperte, atta però a contenere materiale di riempimento a matrice terrosa di modo che la struttura prefabbricata, a regime, possa restare pressoché totalmente immersa all'interno dell'inverdimento del proprio paramento frontale.

Gli elementi prefabbricati costituenti il muro devono essere modulari e vincolabili, atti a qualsivoglia configurazione planimetrica, comprese le curvilinee. Inoltre gli elementi costituenti le parti frontali esterne della barriera devono essere sagomati in modo da evitare la fuoriuscita del terreno di riempimento, garantendo nel contempo la minima presenza di calcestruzzo prefabbricato in facciata e la massima capacità di accogliere le essenze arbustive e/o erbacee.
Le strutture costituenti l'intelaiatura devono avere conformazioni e sagome tali da realizzare una struttura autostabile. Devono altresì poter essere applicate in collegamento con strutture similari utilizzate per il sostegno di terrapieni per le conformazioni a duna.
I suddetti elementi prefabbricati saranno realizzati con calcestruzzo durevole avente requisiti di resistenza e porosità adeguati al tipo di protezione antifonica richiesta; in ogni caso la resistenza a compressione, secondo UNI EN 12390-3 non dovrà essere inferiore a 40 N/mm² e lo spessore dell'elemento tale da garantire uno spessore adeguato del copriferro.
I materiali utilizzati nel confezionamento del calcestruzzo devono essere marcati CE, secondo il regolamento (UE) 305/2011 e Dlgs 106/2017, e devono soddisfare le norme richiamate dalla UNI EN 206.
Il cemento sarà di tipo Portland o pozzolanico conformi alla UNI EN 197-1. L'acqua d'impasto deve essere conforme alla norma UNI EN 1008.Gli additivi devono essere conformi alla norma UNI EN 934-2.
Gli aggregati devono essere conformi alla UNI EN 12620 e UNI 8520. In particolare dovranno avere assorbimento inferiore al 2,5% e per applicazioni in ambienti gelivi (classe di esposizione XF) inferiore all'1%. È possibile l'utilizzo degli aggregati di riciclo in conformità alla norma UNI 11104.
Il coefficiente di permeabilità,secondo UNI EN 12390-8,ottenuto con prova a carico costante alla pressione di 1400 kPa su provini di 100 mm di diametro oppure preliminarmente ai getti su provini cubici aventi lo spigolo di 150 mm, dovrà essere $K < 10^{-10}$ cm s-1.
L'armatura sarà in reti elettrosaldate e/o barre d'acciaio ad aderenza migliorata del tipo B450C o B450A come da D.M. 17/01/2018.

A richiesta del Committente gli elementi prefabbricati possono presentare colorazioni a seguito di pigmentazione dell'impasto di calcestruzzo.

La colorazione dell'impasto di cemento ed aggregati avverrà utilizzando ossidi di ferro, pigmenti insolubili in acqua, resistenti agli alcali ed aventi ottima stabilità alla luce e alle intemperie.

I contenitori andranno riempiti con materiale a matrice terrosa, con la tolleranza di una quota-parte fino ad una percentuale pari al 25% di materiale a matrice pietroso-lapidea, diametro massimo di 15 cm, a fungere da scheletro.
Detto materiale di riempimento ha la funzione di configurarsi come massa resistente nei confronti della propagazione del rumore oltre che la funzione di conferire stabilità all'opera di attenuazione dei fenomeni acustici, ma altresì soprattutto la funzione di substrato per lo sviluppo della vegetazione; deve quindi essere esente da qualsivoglia sostanza inquinante e comunque possedere caratteristiche tali da non ostacolare o addirittura impedire la buona propagazione al suo interno della radicazione delle essenze messe a dimora nello strato superficiale più ricco di terreno agrario.

L'impianto delle essenze deve essere preceduto dalla rimozione di eventuali materiali estranei quali detriti, ciottoli, radici e/o eventuali erbe infestanti.
Per assicurare la massima velocità di sviluppo delle pianticelle il paramento frontale del biomuro deve essere arricchito con la somministrazione di terreno agrario prelevato ad una profondità massima di 0.50 m, privo di pietre, tronchi, rami, radici e loro parti che possano ostacolare le lavorazioni agronomiche del terreno dopo la posa in opera, e chimicamente neutro (pH 6,5-7). La quantità di scheletro non dovrà eccedere il 5% del volume totale e la percentuale di sostanza organica non dovrà essere inferiore al 2%. L'Appaltatore, prima di effettuare il riporto del terreno agrario, altrimenti denominabile terra di coltivo, dovrà accertarne la qualità per sottoporla all'approvazione della Direzione Lavori e dovrà, se richiesto, disporre a proprie spese l'esecuzione delle analisi di laboratorio per ogni tipo di suolo. Le analisi dovranno essere eseguite, salvo quanto diversamente disposto dal presente capitolato, secondo i metodi ed i parametri normalizzati di analisi del suolo, pubblicati dalla Società Italiana della Scienza del Suolo S.I.S.S.. Detto terreno agrario dovrà essere privo di agenti patogeni e di sostanze tossiche per le piante e dovrà inoltre essere mescolato con terriccio, torba o compost di origine ligneo-cellulosica sufficientemente stabilizzato dal punto di vista microbiologico in ragione di almeno 20 litri per m^2 di superficie frontale, compresa altresì la distribuzione di concime minerale complesso a lenta cessione da spandere prima della definitiva sistemazione del terreno.
La messa a dimora delle essenze deve essere effettuata avendo cura di non danneggiare né l'apparato radicale né la parte epigea, distanziando opportunamente le pianticelle in base alle esigenze della singola specie e provvedendo alla leggera compattazione manuale del terreno in prossimità del colletto radicale.
La scelta delle specie vegetali da inserire nei Muri Cellulari inverdibili a reticolo spaziale deve essere effettuata fra le essenze erbacee e/o arbustive nelle varietà tappezzanti, ricadenti e/o rampicanti; le pianticelle dovranno essere vigorose e di buon sviluppo, provviste di buon apparato radicale, esenti da fitopatie e sintomi di carenze e da postumi di attacchi parassitari, non manifestanti segni di grandinata; dovranno inoltre soddisfare le esigenze qui di seguito elencate, contemperandole in maniera il più possibile efficace, nei casi in cui le stesse risultino contrapposte:

- adattamento al clima generale della zona
- adattamento al microclima della barriera a reticolo spaziale, caratterizzato da possibili minori apporti idrici meteorici, maggiori temperature massime giornaliere e stagionali e più elevata escursione termica;
- capacità biotecniche di ricoprimento e consolidamento;

- ottimo sviluppo radicale (per resistere alle sollecitazioni meccaniche prodotte dall'effetto aerodinamico del passaggio di veicoli ed automezzi), discreto sviluppo epigeo (necessario per coprire il più possibile la vista degli elementi strutturali), avendo cura dal lato carreggiata stradale di scegliere essenze a sviluppo esterno contenuto per salvaguardare la percorribilità del camminamento di ispezione e/o di manutenzione;
- buona possibilità di inserimento nel contesto ambientale circostante;
- appartenenza al patrimonio botanico locale, il più adatto a rispondere alle esigenze sopraesposte di adattabilità al clima della zona e di migliore effetto di inserimento nell'ambiente circostante, con possibilità di intercalare anche piante di origine diversa ma ben inseribili nel particolare contesto ambientale, per tener conto degli altri fattori elencati.

In condizioni climatiche o microclimatiche particolari o comunque laddove si ravvisa la necessità di accelerare il processo di attecchimento delle pianticelle, la barriera a reticolo spaziale potrà essere dotata di impianto irriguo a somministrazione localizzata.
L'impianto, fisso ed automatizzato, sarà alimentato dalla rete idrica pubblica e/o da pozzi specificatamente eseguiti in prossimità dell'intervento e sarà costituito da rete di distribuzione a goccia e verrà di volta in volta opportunamente dimensionato.

36.2.10.1 Biomuri in calcestruzzo armato vibrato a basso ingombro trasversale

I biomuri inverdibili in cemento armato vibrato a basso ingombro trasversale sono sistemi antirumore a parete doppia ed a limitato ingombro trasversale (dimensione trasversale nel punto di massimo ingombro minore di 1 m) costituiti da doppia facciata inverdibile, oppure da una sola facciata inverdibile con la facciata opposta realizzata con pannelli fonoassorbenti oppure semplicemente fonoisolanti, in conformità alla necessità.
Essi sono ottenuti mediante l'inserimento di elementi prefabbricati in calcestruzzo armato vibrato, tra loro variamente composti, per sovrapposizione nel senso dello sviluppo in altezza, in linea di principio su montanti di sostegno in profilato metallico. Sempre in linea di principio i montanti metallici, eventualmente sostituibili con elementi di sostegno prefabbricati in cemento armato vibrato o altro materiale, devono risultare totalmente mascherati od inglobati all'interno della struttura finita.
I suddetti elementi prefabbricati formano dei contenitori tra loro comunicanti, aventi sulla facciata e/o sulle facciate inverdibili larghe superfici aperte; al loro interno viene posto il materiale di riempimento costituito interamente da una miscela di inerti miscelati a materiale di origine vulcanica, argille speciali, concimi minerali complessi a lenta cessione ed ammendanti organici (torbe, fibre naturali, cortecce) con funzione di substrato per lo sviluppo della vegetazione le cui percentuali componenti varieranno in relazione sia alle specie vegetali impiegate sia alle condizioni microclimatiche del sito e saranno quindi oggetto, di volta in volta, di specifica definizione.
Gli elementi costituenti le pareti frontali inverdibili della barriera acustica sono sagomati in modo da impedire la fuoriuscita del materiale di riempimento per dilavamento, senza impiego di alcun mezzo di ritenzione aggiuntivo (geosintetici), garantendo nel contempo la minor superficie possibile di calcestruzzo in vista.
Per determinare le caratteristiche costruttive delle singole parti componenti i biomuri inverdibili a basso ingombro trasversale, si fa riferimento alle specifiche tecniche di competenza ed in particolar modo a quelle relative ai pannelli fonoisolanti e fonoassorbenti in c.a., agli elementi prefabbricati in c.a per realizzazione di biomuri, ed alle essenze per l'inverdimento.
Questo particolare tipo di barriera acustica, vista la esigua quantità di substrato all'inverdimento legata alle limitate dimensioni di ingombro trasversale deve sempre essere dotata di impianto irriguo a somministrazione localizzata.

L'impianto, fisso ed automatizzato, sarà alimentato dalla rete idrica pubblica e/o da pozzi specificatamente eseguiti in prossimità dell'intervento e sarà costituito da rete di distribuzione a goccia e verrà di volta in volta opportunamente dimensionato.

36.2.11 Pannelli realizzati con altri materiali

Ove vengano adottati pannelli realizzati con materiali diversi da quelli indicati o integrati con sistemi innovativi di attenuazione del rumore, dovranno essere fornite tutte le caratteristiche necessarie per il controllo qualitativo dei materiali ai fini acustici, strutturali, di sicurezza, durabilità e di corretto inserimento paesaggistico/ambientale, nonché la casistica delle situazioni similari in cui sono stati applicati, corredata delle certificazione degli Enti appaltanti.
Detti prodotti devono comunque essere sottoposti alla preventiva approvazione del Committente.

36.2.12 Carpenteria metallica portante

I sistemi antirumore sono soggetti a collaudo statico e pertanto agli elementi di carpenteria metallica eventualmente costituenti la barriera si applicano i contenuti di cui all'articolo 25 di questo capitolato mentre gli elaborati progettuali definiscono ed individuano compiutamente le caratteristiche meccaniche, geometriche, chimiche e fisiche e i tipi di profilati da impiegare.

Per la protezione contro la corrosione degli elementi di carpenteria metallica di cui al presente articolo si applicano i contenuti di cui all'articolo 25bis di questo capitolato.

36.2.13 Accessori

I sigillanti e le guarnizioni devono garantire nel tempo l'ermeticità acustica e deve quindi resistere all'invecchiamento da agenti naturali (raggi UV, variazioni di temperatura, ecc.).
Il fornitore dovrà specificare preventivamente le caratteristiche tecniche dei materiali utilizzati per i sigillanti e le guarnizioni specie per quanto riguarda la qualità dell'elemento elastico e la sua resistenza all'invecchiamento.

36.2.14 Particolarità costruttive della barriera

La geometria della barriera indicata negli elaborati grafici dovrà essere rigorosamente rispettata in fase di esecuzione. Qualora si rendano necessari adattamenti del profilo, si richiede la preventiva approvazione del progettista.
I materiali costituenti le barriere devono essere forniti nei colori previsti a Progetto, scelti per una corretta integrazione dell'opera con l'ambiente circostante.
Tutta la barriera deve essere costruita in modo da evitare in ogni punto il ristagno dell'acqua. In particolare per i pannelli composti l'acqua deve fuoriuscire facilmente dai singoli pannelli e non ristagnare sia fra pannello e pannello sia tra pannello inferiore della parete e superficie di appoggio.
Le soluzioni costruttive devono consentire la rimozione della barriera senza che occorra la demolizione della relativa fondazione. I getti di bloccaggio dovranno essere effettuati con idonee malte cementizie di tipo reoplastico.
Dovranno essere previsti dispositivi atti a impedire l'asportazione dei pannelli.
Qualora previsto a Progetto tutte le componenti metalliche della barriera devono essere rese equipotenziali e collegate all'impianto di messa a terra elettrico.
Per le modalità di messa a terra e per il dimensionamento elettrico dell'impianto si dovrà fare riferimento alla Norma CEI 9.6 vigente.

36.2.15 Protezione ambientale

Ai fini della protezione dell'uomo e dell'ambiente, per tutti i materiali utilizzati per la realizzazione delle barriere antirumore, si applicano le prescrizioni di cui alla Norma UNI EN 1794-2, allegato B.
Per i materiali dovranno essere fornite anche le schede dei dati di sicurezza secondo il D.Lgs 16/07/1998, n. 285.
In ogni caso non è ammesso l'uso di materiali per la cui produzione occorrano sostanze previste dagli elenchi riportati dal Decreto Ministero della Sanità del 29/07/1994.

36.2.16 Conformità di produzione

L'appaltatore deve essere in possesso della certificazione del sistema di gestione della qualità secondo UNI EN ISO 9001[11].
Per le costruzioni saldate il Costruttore deve essere in possesso della certificazione ai sensi della Norma UNI EN ISO 3834 nelle parti corrispondenti alla entità e difficoltà dell'appalto.
Tutti i materiali devono pervenire in cantiere provvisti di certificazione di provenienza, effettuata dal fornitore, completa di manuale della qualità attestante le procedure messe in atto per garantire la conformità di produzione.
In particolare, devono essere esplicitate le procedure attraverso cui si garantiscono le caratteristiche acustiche e non acustiche dei prodotti, come riportate nel § 36.1.2 sia per quanto riguarda l'approvvigionamento delle materie prime, la selezione dei fornitori, le fasi di lavorazione (capacità di processo), le prove di laboratorio ed il trattamento delle non-conformità.
Al fine di definire comuni criteri di controllo validi per tutti i Fornitori, il Committente può predisporre visite valutative presso le unità produttive del Fornitore: tali visite potranno essere svolte sia in fase di preselezione che di fornitura dei materiali, e, nel caso di gravi inadempienze, potranno dar luogo sia a prescrizioni vincolanti che alla sospensione della fornitura.

36.2.17 Resistenza al fuoco

Tutte le barriere devono garantire un grado di resistenza al fuoco, secondo il D.M. 9.03.2007, il D.M. 09.05.2007.
L'esigenza minima dovrà essere il rispetto della classe REI 30.
Nei casi in cui le barriere acustiche siano ad una distanza inferiore a 10 m da edifici od oggetti dove esiste pericolo d'incendio, esse devono essere costituite da materiale non infiammabile (classe A, secondo DIN 2102).
Per barriere acustiche costituite da elementi difficilmente infiammabili, ma tuttavia combustibili, sarà necessario impiegare montanti non combustibili in grado di agire da sbarramento antincendio tra i pannelli stessi; dopo un tratto di 30 m di pannelli non infiammabili per almeno 6 m di lunghezza.
In caso di incendio i materiali non devono produrre gas tossici.

36.2.18 Colorazioni

Su richiesta, i pannelli dovranno essere verniciati secondo uno dei colori della gamma RAL e NCS previsti in progetto.
La tonalità di colore dovrà variare il meno possibile, ma in nessun caso in modo vistosamente irregolare (non sono ammesse formazione di macchie).
Solo dietro consenso da parte della Direzione Lavori, saranno ammesse barriere con variazioni cromatiche rispetto a quelle sopra riportate.

[11] Sostituisce la norma UNI EN ISO 9001;

Durante il periodo di garanzia sono accettabili variazioni di colore non superiori a due unità della scala dei grigi per pannelli adiacenti e variazioni di colore non superiori a 3 unità della scala del grigi per la barriera nel suo insieme.

36.2.19 Tenuta acustica

La costruzione delle barriere deve essere tale da evitare assolutamente che, anche dopo scadenza del periodo di garanzia, si producano punti non a tenuta dovuti all'azione di agenti atmosferici, ad alterazione di materiali, a deformazioni, ecc..
Per garantire la durata dell'ermeticità tra pannello e pannelli è prescritto un accoppiamento sigillante a tenuta acustica da descrivere negli elaborati di progetto.

36.2.20 Resistenza agli agenti atmosferici

Tutta la barriera deve essere costruita in modo da evitare in ogni punto il ristagno dell'acqua.
In particolare, per i pannelli compositi l'acqua deve fuoriuscire facilmente dai singoli pannelli (fori sul fondo) e non ristagnare sia fra pannello e pannello, sia fra pannello inferiore della barriera e superficie di appoggio.
Elementi provvisti di fori in sommità devono essere chiusi con profili dl copertura, questi ultimi devono essere fissati sui montanti con possibilità di dilatarsi a causa delle variazioni di temperatura.

36.2.21 Sistemi di fissaggio per prevenire l'asportazione dei pannelli

Nei casi in cui l'installazione delle protezioni consenta un facile accesso alla parte retrostante della barriera, deve essere predisposto un sistema/metodo per impedire l'asportazione dei pannelli; il progetto di tale sistema/metodo deve essere preventivamente sottoposto all'approvazione della D.L..

36.2.22 Sistemi antigraffiti

Nei casi in cui l'installazione delle protezioni consenta un facile accesso alla barriera, devono essere predisposti dei sistemi/prodotti in grado di ridurre/minimizzare atti vandalici, in particolare l'imbrattamento delle pareti mediante graffiti.

36.2.23 Montaggio

Il montaggio in opera di tutte le strutture costituenti ciascun manufatto sarà effettuato in conformità a quanto è previsto nella relazione di calcolo e negli elaborati progettuali.
Durante il carico, il trasporto, lo scarico, il deposito e il montaggio, si dovrà porre la massima cura per evitare che le strutture vengano deformate o sovrasollecitate.
Le parti a contatto con funi, catene od altri organi di sollevamento saranno opportunamente protette.
Il montaggio sarà eseguito in modo che la struttura raggiunga la configurazione geometrica di progetto.
In particolare, per quanto riguarda le strutture a travata, si dovrà controllare che la controfreccia ed il posizionamento sugli apparecchi di appoggio siano conformi alle indicazioni di progetto, rispettando le tolleranze previste.
La stabilità delle strutture dovrà essere assicurata durante tutte le fasi costruttive e la rimozione dei collegamenti provvisori e di altri dispositivi ausiliari dovrà essere fatta solo quando essi risulteranno staticamente superflui.
Nei collegamenti con bulloni si dovrà procedere alla alesatura di quei fori che non risultino centrali e nei quali i bulloni previsti in progetto non entrino liberamente.

Se il diametro del foro alesato risulta superiore al diametro nominale del bullone oltre la tolleranza prevista dal D.M. 14 febbraio 1992 sopraccitato, si dovrà procedere alla sostituzione del bullone con uno di diametro superiore.
Nei collegamenti ad attrito con bulloni ad alta resistenza è prescritta l'esecuzione della sabbiatura a metallo bianco non più di due ore prima dell'unione.
È ammesso il serraggio dei bulloni con chiave pneumatica purché questo venga controllato con chiave dinamometrica, la cui taratura dovrà risultare da certificato rilasciato da Laboratorio ufficiale in data non anteriore ad un mese.
Per ogni unione con bulloni, l'Appaltatore effettuerà, alla presenza della Direzione Lavori, un controllo di serraggio su un numero di bulloni pari al 10% del totale ed in ogni caso su non meno di quattro.
Dopo il completamento della struttura e prima dell'esecuzione della prova di carico, l'Appaltatore dovrà effettuare la ripresa della coppia di serraggio di tutti i bulloni costituenti le unioni, dandone preventiva comunicazione alla Direzione del Lavori.
L'assemblaggio ed il montaggio in opera delle strutture dovrà essere effettuato senza che venga interrotto il traffico di cantiere sulla sede stradale salvo brevi interruzioni durante le operazioni di sollevamento, da concordare con la Direzione Lavori.
Nella progettazione e nell'impiego delle attrezzature di montaggio, l'Appaltatore è tenuto a rispettare le norme, le prescrizioni ed i vincoli che eventualmente venissero imposti da Enti, Uffici e persone responsabili riguardo alla zona interessata e in particolare:

- per l'ingombro degli alvei dei corsi d'acqua;
- per le sagome da lasciare libere nei sovrappassi o sottopassi di strade, autostrade, ferrovie, tramvie, ecc.;
- per le interferenze con servizi di soprasuolo e di sottosuolo.

La geometria è indicata negli elaborati grafici di progetto e va assolutamente rispettata.
Salvo eventuali modifiche, da sottoporre all'approvazione, i montanti vanno messi in opera ortogonalmente rispetto alla livelletta fino a che questa non superi la pendenza del 3%.
Per pendenze superiori è ammesso il montaggio scalettato con passo da stabilire di volta in volta.
In questo caso la distanza da terra del bordo superiore del pannelli deve essere ovunque non inferiore a quella ottimale prevista ai fini della fonoassorbenza.
Per quanto possibile ogni interruzione della barriera deve essere protetta da uno schermo opportunamente arretrato e di lunghezza pari almeno all'interruzione più due volte la distanza tra la barriera principale e barriera arretrata.
Sui viadotti, ponti o altri luoghi, o per revisione di progetto, o su richiesta, può essere previsto che una o più file inferiori di pannelli non siano fonoassorbenti per un'altezza di circa 1 m, conservando però le loro proprietà fonoisolanti.
Per il resto (aspetto esterno, protezione anticorrosiva, ecc.) essi devono corrispondere il più possibile ai pannelli superiori.
Tale fascia inferiore potrà essere costituita da muretti, parapetti o simili.
I collegamenti ai manufatti, alle porte di emergenza, i giunti di dilatazione, ecc. dovranno essere realizzati, mediante dispositivi a tenuta acustica, a regola d'arte.
Anche fra i montanti ed i pannelli devono essere previste guarnizioni acusticamente ermetiche.
Allo scopo di evitare la propagazione delle onde sonore dovute all'irregolarità delle superfici in calcestruzzo, tra i pannelli e le lastre prefabbricate (e rispettivamente tra i pannelli e le fondazioni in calcestruzzo) deve essere previsto un elemento sigillante.
Laddove, sui ponti, viadotti, ecc., anche a causa della presenza delle piastre ai piedi dei montanti, si crea un interstizio tra pannelli e cordolo, il fornitore deve proporre un dispositivo acusticamente ermetico che non causi però il ristagno di acqua tra calcestruzzo e pannelli.

Per ragioni di sicurezza, tutti i materiali utilizzati devono essere difficilmente infiammabili in modo da escludere ogni pericolo d'incendio.
Nei casi in cui le barriere acustiche siano ad una distanza inferiore a 10 m da edifici od oggetti dove esiste pericolo d'incendio, esse devono essere costituite da materiale non infiammabile (classe A, secondo DIN 2102).
Per barriere acustiche costituite da elementi difficilmente infiammabili, ma tuttavia combustibili, sarà necessario impiegare montanti non combustibili in grado di agire da sbarramento antincendio tra i pannelli stessi.
In caso di incendio i materiali non devono produrre gas tossici.
Su richiesta, i pannelli devono essere verniciati secondo uno dei colori della gamma RAL; in mancanza di indicazioni il colore standard sarà il RAL 6021.
La tonalità di colore deve variare il meno possibile, ma in nessun caso in modo vistosamente irregolare (non sono ammesse formazione di macchie).
Solo dietro consenso da parte della Direzione Lavori, sono ammesse barriere con variazioni cromatiche rispetto a quelle sopra riportate.
Durante il periodo di garanzia sono accettabili variazioni di colore non superiori a due unità della scala dei grigi per pannelli adiacenti e variazioni di colore non superiori a 3 unità della scala del grigi per la barriera nel suo insieme.
La costruzione delle barriere deve essere tale da evitare assolutamente che, anche dopo scadenza del periodo di garanzia, si producano punti non a tenuta dovuti all'azione di agenti atmosferici, ad alterazione di materiali, a deformazioni, ecc..
Per garantire la durata dell'ermeticità tra pannello e pannello è prescritto un accoppiamento sigillante a tenuta acustica da descrivere negli elaborati del progetto costruttivo predisposto dal Fornitore.
Tutta la barriera deve essere costruita in modo da evitare in ogni punto il ristagno dell'acqua.
In particolare, per i pannelli compositi l'acqua deve fuoriuscire facilmente dai singoli pannelli (fori sul fondo) e non ristagnare fra i singoli pannelli o fra il pannello inferiore e superficie di appoggio.
Elementi provvisti di fori in sommità devono essere chiusi con profili dl copertura, questi ultimi devono essere fissati sui montanti con possibilità di dilatarsi a causa delle variazioni di temperatura.
Per tutti i pannelli disposti su opere d'arte (ponti, viadotti, sovrappassi), costituenti coperture della carreggiata stradale (sia sistemi baffles che coperture totali) o per i pannelli posti a distanza da edifici abitativi inferiore a 10 m, deve essere predisposto un sistema di ritenuta/aggancio che impedisca il distacco/caduta dalle strutture portanti (tale prescrizione vale anche nel caso di pannelli di classe C3 o C6 testati secondo la procedura di cui alla UNI EN 1794-2, appendice A.
In tutte le fasi esecutive, comprese le fasi di preparazione e di sistemazione finale delle aree, per gli aspetti e le problematiche relative a temi ambientali, quali impatti acustici e vibrazionali, emissioni in atmosfera, impatto sulle acque superficiali, sotterranee e sul suolo, impatti sulla componente fauna e vegetazione, si rimanda integralmente a quanto prescritto dalla Normativa Nazionale e Regionale vigente, alle prescrizioni degli Enti preposti alla tutela ambientale, nonché alle condizioni ambientali contenute nelle autorizzazioni ed alle disposizioni del Capitolato Ambientale allegato al progetto esecutivo.

36.2.24 Porta di servizio

Le porte di servizio, ove necessarie e/o richieste nel Progetto, devono essere apribili verso l'esterno rispetto alla sede stradale, in genere, con gli stessi elementi acustici costituenti il sistema antirumore.
In corrispondenza di tali porte devono essere previste scale di servizio in conformità alle norme di sicurezza vigenti.
Le porte di servizio devono essere adeguatamente segnalate (vedere la Norma UNI EN 1794-2).
Le porte di servizio devono avere dispositivi di apertura:

- azionabili dall'esterno con l'uso di chiavi (preferibilmente una chiave unica per ogni tratto omogeneo del sistema antirumore);
- azionabili dall'interno con maniglione di tipo "antipanico" senza richiedere l'uso di chiavi.

Ove ne sia previsto l'impiego, la progettazione di dette porte di servizio e la loro dislocazione lungo l'opera, deve essere preventivamente approvata dal committente.
Per le porte di servizio è richiesto un indice di valutazione del potere fonoisolante in conformità alla Norma UNI EN 1793-2 (DL_R), calcolato utilizzando lo spettro normalizzato di rumore per la tipologia di veicoli transitanti sull'infrastruttura di trasporto, che ricada nella medesima categoria di quello degli elementi acustici impiegati.

36.2.25 Cancello antirumore, scorrevole motorizzato

Quando previsto in progetto, per la chiusura di varchi di accesso sarà prevista la posa in opera di cancello scorrevole composto da elementi strutturali metallici:

- in acciaio in profilati del tipo HE/IPE con caratteristiche meccaniche non minori di quelle del tipo S235JR in conformità alla Norma UNI EN 10025 e zincati a caldo, in conformità alla Norma UNI EN ISO 1461, per uno spessore non minore di 85 µm previo ciclo di sabbiatura SA 2,5 oppure trattamento di decapaggio chimico.

  Inoltre, è richiesto un ulteriore trattamento della superficie, subito dopo la zincatura, consistente in mano di fondo e verniciatura.

  Tali trattamenti dovranno essere effettuati secondo quanto stabilito dalla norma UNI 11160;

oppure:

- in acciaio Cor-Ten con caratteristiche e prestazioni secondo quanto previsto all'art. 25 di questo capitolato speciale d'appalto;

secondo le indicazioni di progetto.
Il montante verrà fissato al cordolo in calcestruzzo per mezzo di piastre di base che devono essere realizzate con acciaio con caratteristiche meccaniche non minori di quelle del tipo S235JR in conformità alla Norma UNI EN 10025, e tirafondi annegati nei getti di fondazione.
Lo spessore minimo locale della protezione, compreso lo spessore della zincatura, deve essere almeno di 200 µm in modo da realizzare una superficie esente da pori.
Le caratteristiche prestazionali acustiche e non acustiche devono rispettare il Capitolato Speciale di Appalto nonché le Norme tecniche di Prodotto e le Linee Guida redatte dall'ANAS.
Il pannello è così composto:

- I gusci in lamiera di allumino, dello spessore minimo di 1,5 mm, devono presentare almeno un lato forato, con una percentuale di vuoto su pieno compreso in un intervallo tra il 30% ed il 40%;
- Materiale fonoassorbente composto da un materassino di materiale fonoassorbente riciclabile nel rispetto della normativa vigente avente spessore minimo di 50 mm;
- Ferramenta in acciaio zincato e/o acciaio inox 304;
- Guarnizione in EPDM con durezza compresa tra 65 shores e 75 shores, per evitare eventuali passaggi di onde sonore ed aumentare la stabilità del pannello stesso all'interno del profilo HE;

La lamiera in lega di alluminio deve essere in lega Alluminio-Magnesio-Manganese (Al-Mg-Mn) del gruppo 3xxx in conformità alla UNI EN 573-1.
La verniciatura dei gusci metallici deve prevedere uno spessore maggiore di 60 µm in conformità alla UNI EN ISO 2360.
I film di vernice devono avere tutti i requisiti specificati nel prospetto 6 della UNI 11160.
Il materiale fonoassorbente deve comunque soddisfare la norma UNI 11160.

Gli elementi accessori metallici devono essere in acciaio inox o zincati a caldo (ad eccezione delle piastre di base, per le quali vale quanto indicato per gli elementi strutturali).

Quando previsto in progetto, le pannellature saranno in acciaio Cor-Ten conformi a quanto riportato all'art. 36.2.1.5 "*Pannelli in acciaio Cor-Ten*".

È altresì compresa la fornitura e posa in opera dei seguenti componenti necessari per la motorizzazione:

- Motore per automazione cancello scorrevole con centrale di comando;
  Motoriduttore elettromeccanico irreversibile con ingranaggi totalmente in metallo e corpo in alluminio; sistema di fine corsa magnetico
- cremagliera zincata;
- piastra di fondazione;
- radioricevente completa di antenna;
- coppia di fotocellule ad incasso;
- lampeggiatore;
- pulsante di apertura a chiave;
- n° 2 tastiere a codice numerico antivandalo con pulsanti retroilluminati;
- n° 4 coste di sicurezza antischiacciamento altezza minima 2,00 m.

Quando previsto in progetto o richiesto dalla D.L., nell'anta del cancello scorrevole sarà realizzata una porta di servizio aventi caratteristiche e prestazioni come descritte all'art. 36.2.24 "*Porta di servizio*".

36.3 Collaudo acustico della barriera antirumore

Il collaudo dei sistemi antirumore viene effettuato, a carico della Stazione Appaltante, per verificare la rispondenza alle previsioni progettuali tramite:

a) un collaudo tecnico e amministrativo, attraverso la verifica puntuale tra le opere realizzate e le opere progettate e con particolare riferimento alle caratteristiche geometriche e dimensionali delle opere, alle caratteristiche strutturali, a quelle acustiche dei singoli componenti e quindi del sistema (caratteristiche acustiche intrinseche, da effettuare in via preliminare subito dopo il completamento dell'installazione delle prime barriere e da ripetere su valutazione della D.L su altre barriere);
b) alla verifica dell'avvenuta mitigazione acustica al ricettore (caratteristiche acustiche estrinseche da effettuare entro 180 giorni dalla fine dei lavori) la verifica al ricettore sarà effettuato solo nel caso di nuove installazioni o di potenziamenti di installazioni pre-esistenti.

La non conformità di una o più delle verifiche di cui al punto a) precedente non consente l'esecuzione delle verifiche di cui al punto b) come previste dal progetto e, non rendendo collaudabile e liquidabile il lavoro.
La non conformità delle verifiche di cui al punto b), fatte salve le positive verifiche di cui al punto a), non hanno effetto sulla collaudabilità dell'opera e sulla relativa liquidazione.

Collaudo delle caratteristiche acustiche intrinseche:

Chi esegue il collaudo acustico deve controllare la documentazione relativa alle caratteristiche dei materiali e alle prove effettuate prima dell'installazione (prequalifica). In seguito, provvede alle verifiche delle caratteristiche acustiche intrinseche al fine di accertare l'idoneità del

sistema antirumore in opera rispetto agli obiettivi progettuali. A verifiche ultimate, emette il relativo certificato di collaudo, eventualmente avvalendosi di laboratori di prova in possesso dei necessari requisiti:

1. determinazione delle caratteristiche intrinseche di riflessione del suono in esterno, tramite il reflection index secondo la UNI EN 1793-5;
2. determinazione delle caratteristiche intrinseche di isolamento acustico per via aerea in esterno, tramite sound insulation index secondo la UNI EN 1793-6.

La prova di fonoisolamento deve essere effettuata in punti della barriera individuati in accordo con la Direzione Lavori, con particolare attenzione alle giunzioni critiche tra elementi acustici di diversa tipologia impiegati nella barriera o tra elementi acustici ed elementi strutturali. Tale verifica dovrebbe essere eseguita già nelle fasi iniziali del cantiere per prevenire e correggere eventuali errori di installazione.

Per la valutazione dei risultati il collaudatore deve fare esplicito riferimento ai valori minimi richiesti dalla tabella di cui al paragrafo (par.36.1.2) o a quanto previsto dal Progetto Esecutivo. È ammessa una tolleranza di 1dB rispetto ai valori ottenuti in fase di prequalifica in campo prova con campo sonoro diretto (UNI 1793-5 e 1793-6).

A fini di collaudo i rilievi devono essere eseguiti in ragione di almeno un punto ogni 2.000 metri lineari di barriera con caratteristiche omogene (qualora possibile prevedendo almeno una verifica per ogni barriera), o in corrispondenza delle principali tipologie di barriere previste nel progetto esecutivo (percentuali di fonoassorbente e trasparente), e considerando sempre, se presenti, collaudi per le barriere integrate, disaccoppiate e le coperture acustiche. Il punto di collaudo potrà essere individuato in accordo con la D.L.

Collaudo delle caratteristiche acustiche estrinseche:

Il collaudo delle caratteristiche acustiche estrinseche è eseguito e firmato da un tecnico competente in acustica (TCA) iscritto all'elenco istituito presso il Ministero dell'Ambiente (ENTECA). Chi collauda, dopo aver controllato la documentazione relativa alla progettazione acustica, provvede alla verifica del rispetto dei limiti di legge assunti a riferimento nella progettazione, seguendo la metodologia di prova descritta nella legislazione vigente utilizzando preliminarmente i punti di monitoraggio Ante operam o di maggiore esposizione dei ricettori mitigati.
Le verifiche al ricettore saranno effettuate solo nel caso di nuove installazioni o di potenziamenti di installazioni pre-esistenti.

Quando previsto da progetto viene effettuata la verifica della perdita per inserzione del sistema antirumore, ovvero della sua efficacia acustica in relazione agli obiettivi progettuali. Tale valutazione è eseguita in conformità alla UNI 11022 con l'emissione, a verifica ultimata, del relativo certificato di collaudo, eventualmente avvalendosi di istituti di ricerca e/o laboratori di prova in possesso dei requisiti necessari.
Per la posizione ed il numero dei punti di verifica si deve far riferimento agli elaborati progettuali.

Collaudo delle caratteristiche non acustiche:

Relativamente alle caratteristiche strutturali, chi collauda deve essere un professionista abilitato a firmare relazioni di calcolo strutturale.

Chi collauda, dopo aver verificato la documentazione relativa alla progettazione, e in particolare le relazioni di calcolo strutturale obbligatorie ai sensi di legge, provvede al rilascio del relativo certificato di collaudo.

Art. 36 NO CAM - Sistemi antirumore

36.1 Prequalifica del sistema antirumore

I sistemi antirumore devono essere caratterizzati sia in termini di proprietà prettamente acustiche, descritte da alcune prestazioni funzionali (caratteristiche acustiche), sia in termini di proprietà meccaniche, di sicurezza, di compatibilità ambientale, ecc. (caratteristiche non acustiche).

Laddove il progetto preveda l'utilizzo di sistemi antirumore composti da materiale riciclato, si farà specifico riferimento nei singoli elaborati di progetto alla possibilità di rispettare le percentuali di tale materiale riciclato contenuto nei Criteri Ambientali Minimi (C.A.M.).

L'insieme di queste caratteristiche, acustiche e non acustiche, deve essere opportunamente certificato, secondo le metodologie e le norme di riferimento di seguito esplicitate.

I sistemi antirumore stradali, in quanto rientranti fra i "dispositivi fissi per la circolazione", sono regolamentati deal Regolamento UE n°305/2011 "Prodotti da Costruzione" (CPR). Fondamento del Regolamento è il principio in base al quale i prodotti impiegati nelle costruzioni debbano essere dotati di caratteristiche idonee a garantirne la conformità ai seguenti requisiti essenziali:

- resistenza meccanica e stabilità;
- sicurezza in caso di incendio;
- igiene salute e ambiente;
- sicurezza di utilizzazione;
- protezione contro il rumore;
- risparmio energetico e isolamento termico.
- Uso sostenibile delle risorse naturali

Le norme armonizzate europee riguardano le caratteristiche intrinseche dei prodotti utilizzati e costituiscono il riferimento per il rilascio del marchio CE.

I dispositivi per la riduzione del rumore costituiti o da singoli prodotti (per esempio elementi acustici) o da sistemi di prodotti (per esempio elementi acustici + elementi stutturali+ guarnizioni etc.) devono possedere i requisiti funzionali minimi dettagliati dalla norma armonizzata UNI EN 14388 (Road traffic noise reducing devices – Specifications) ed essere marcati CE secondo quanto indicato nel rapporto tecnico UNI/TR 11338 .

A tal proposito si specifica che nell'ambito di un appalto stradale l'opera antirumore costruita non può essere marcata CE. I singoli componenti dell'opera (per esempio i pannelli acustici) devono essere marcati CE, perché sono prodotti. Nel progetto, sulla base dei dati degli elementi componenti (sia quelli certificati sia quelli di progetto, come le dimensioni geometriche, la posizione, ecc.), verranno indicate le caratteristiche finali dell'opera (per esempio il potere fonoisolante) e date chiare prescrizioni per la realizzazione. Sarà compito dell'appaltatore realizzare l'opera conformemente al progetto.

La marcatura CE garantisce la conformità di un certo numero di prestazioni "minime" e non è quindi esaustiva di altre funzionalità o requisiti dettagliati dal presente Capitolato Speciale al fine di tener conto di particolari situazioni di installazione dei prodotti.

La marcatura CE si riferisce pertanto ad un insieme di caratteristiche prestazionali che attestano la prequalifica del sistema antirumore.

L'attestato di marcatura e relativi certificati di prova rilasciati da laboratorio accreditato devono essere esibiti in fase di approvazione degli elaborati di officina, in ogni caso prima dell'inizio delle attività di cantiere.

La marcatura CE non esime comunque il fornitore dal presentare:

- certificati relativi a alle caratteristiche acustiche intrinseche previste in progetto e/o riportate alla tabella nel §36.1.2 ;
- certificati di conformità di prodotti e materiali richiesti dalla Direzione Lavori in base alle caratteristiche prescrizionali (vedi paragrafo 36.1.2 del presente Capitolato Speciale);
- verifiche di durabilità richieste dalla Direzione Lavori in base alle indicazioni progettuali.

I certificati devono essere forniti secondo le tempistiche e modalità di seguito specificate, relativamente alle seguenti fasi:

1. conformità della produzione;
2. accettazione;
3. durabilità.

L'Appaltatore dovrà altresì fornire il Piano Generale di Fabbricazione e Controlli dello stabilimento di produzione con l'indicazione delle tecnologie, metodologie e sistemi di controllo utilizzati in impianto (Piano Controllo della Qualità di produzione) per garantire la qualità attesa. Il piano dovrà essere corredato da una procedura che identifichi le modalità di qualifica dei fornitori nonché le modalità di identificazione e rintracciabilità dei prodotti e di tenuta sottocontrollo delle strumentazioni di misura;

Conformità della produzione:

Contestualmente alla consegna del Programma Esecutivo dei Lavori, l'Appaltatore fornisce la documentazione relativa al proprio sistema di controllo della produzione in fabbrica, finalizzato a garantire la rintracciabilità dei lotti di produzione di quanto verrà fornito ed installato per la realizzazione della specifica commessa.

La documentazione fornita deve inoltre comprendere la certificazione del sistema di gestione per la qualità secondo UNI EN ISO 9001e ss.mm.ii..

Accettazione:

Per la realizzazione dell'intervento saranno accettati solo sistemi e prodotti con marcatura CE ed inoltre con proprietà tali da soddisfare tutte le prescrizioni integrative relative alle caratteristiche riportate nelle tabelle "Prove e Certificazioni" (par. 36.1.2) e negli elaborati grafici del

progetto esecutivo. È inoltre richiesta il Documento di Trasporto (D.D.T.) all'atto della consegna del materiale.

A tale scopo, tutta la documentazione dovrà essere fornita dall'Appaltatore prima dell'assegnazione definitiva e comunque antecedentemente all'invio in cantiere del primo lotto di fornitura, in modo da consentire di verificare la corrispondenza dei materiali prodotti rispetto a quanto richiesto dagli elaborati del progetto esecutivo.

In tale fase i certificati devono essere quindi ottenuti da campioni conformi a quanto riportato negli elaborati dello specifico progetto esecutivo.

Viene comunque applicato il concetto di "famiglia di prodotti"; in particolare:

- per quanto riguarda la resistenza ai carichi dinamici degli elementi strutturali (vento, transito veicoli e pulizia neve) è richiesta la certificazione mediante prova unicamente della situazione più gravosa;
- per quanto riguarda le caratteristiche acustiche devono essere rispettati i valori di riferimento previsti nella Tabella riassuntiva Prove e Certificazioni (paragrafo 36.1.2), con particolare riferimento alle prove con campo sonoro diretto ovvero (UNI 1793-5 e 1793-6); inoltre se nello specifico progetto sono presenti materiali di diversa natura variamente accoppiati (ad esempio pannelli trasparenti interposti a pannelli opachi) o soluzioni costruttive di diverso tipo (ad esempio montanti speciali), si dovrà fornire la certificazione addizionale dell'indice di fonoisolamento DL_{SI} (ai sensi della norma UNI 1793-6) relativa a tali giunzioni o punti singolari per le barriere integrate sicurezza-rumore sia le prove di laboratorio (UNI EN 1793-1 e UNI EN 1793-2), sia le prove con campo sonoro diretto (UNI EN 1793-5 e UNI EN 1793-6), devono essere eseguite su campioni completi di tutti gli elementi costituenti la barriera di sicurezza (le prove su campioni privi degli elementi costituenti la barriera di sicurezza sono consigliate, ma non obbligatorie).

In caso di incompletezza della documentazione, all'atto del ricevimento in cantiere del primo lotto della fornitura, la Direzione Lavori provvederà a prelevare un quantitativo idoneo di materiali e successivamente inviarli, con costi a carico dell'impresa, ad un laboratorio di prova per l'esecuzione delle prove necessarie a completare le certificazioni richieste, sia per quanto riguarda le prove di laboratorio (UNI EN 1793-1 e UNI EN 1793-2) sia per le prove eseguite in un apposito campo prova (da definire in accordo con la D.L.) e sempre da realizzare a carico dell'impresa appaltatrice (UNI EN 1793-5 e UNI EN 1793-6).

Fino a che non sarà disponibile l'esito delle prove relative alle caratteristiche richieste in Progetto, oltre che alle marcature CE degli elementi costituenti delle barriere, il materiale prodotto sarà considerato "in sospeso"; qualora a seguito di esito negativo delle prove per la marcatura CE o la certificazione di conformità ai requisiti prestazionali richiesti, la Direzione dei Lavori rifiuti una qualsiasi fornitura non idonea, l'Appaltatore dovrà sostituirla con altra che corrisponda alle caratteristiche volute: i materiali rifiutati dovranno essere allontanati dal cantiere a cura e spese dello stesso Appaltatore.

Durabilità:

Le procedure utilizzate per accettazione e collaudo (par.36.3) possono anche essere utilizzate per verificare la durabilità dei materiali impiegati, con riferimento all'invecchiamento (condizioni meteorologiche, effetti chimico-fisici).

Le barriere antirumore devono mantenere i requisiti acustici, strutturali e di sicurezza per la vita utile dichiarata dal produttore in base tipologie di materiali utilizzati, alle modalità costruttive e a condizioni normalizzate di esposizione agli agenti atmosferici.

Il produttore dichiara la vita utile della barriera antirumore secondo la UNI EN 14389.

La vita utile dichiarata è in genere dichiarata distintamente per i componenti strutturali e per i pannelli acustici.

I prodotti impiegati per i pannelli acustici devono assicurare una vita utile non minore di 15 anni.

I componenti strutturali devono avere una vita utile non minore di 50 anni come previsto da NTC 2018.

I rilievi possono essere eseguiti negli stessi punti su cui sono state effettuate le prove di collaudo finale in sito, a distanza di cinque anni dalla data di ultimazione dell'intervento.

Rispetto ai valori nominali di collaudo (par.36.3) è ammessa una tolleranza in difetto al massimo uguale a 2 dB sia per l'indice di riflessione, DL_{RI} che per l'indice di fonoisolamento, DL_{SI}.

In caso di mancato rispetto dei valori sopra esposti, l'Appaltatore dovrà ripristinare a proprie spese le condizioni riportate nelle certificazioni di collaudo.

Tutte le certificazioni richieste nelle fasi precedentemente elencate, sia delle caratteristiche acustiche che di quelle non acustiche, devono essere eseguite presso laboratori accreditato.

Il costo delle prove di accettazione e durabilità è interamente a carico dell'Appaltatore.

La Committente si riserva di far effettuare ulteriori test di controllo, in modo conforme a quanto riportato nel Capitolato Speciale di Appalto.

36.1.1 Modalità di esecuzione delle prove acustiche e classificazione dei sistemi

I requisiti acustici che i sistemi antirumore devono possedere all'atto della prequalifica si riferiscono alle cosiddette caratteristiche intrinseche.

Questa categoria comprende le caratteristiche proprie del prodotto antirumore, indipendentemente dall'ambiente in cui esso sarà installato e dall'effetto finale di riduzione del rumore; sono tali le proprietà di assorbimento o riflessione del suono (vedere UNI EN 1793-1- prova di laboratorio e UNI EN 1793-5- prova in campo aperto con il metodo Adrienne), le proprietà di isolamento acustico per via aerea (vedere UNI EN 1793-2- prova di laboratorio e UNI EN 1793-6: – prova in campo aperto con il metodo Adrienne) e, per le barriere con dispositivi aggiunti, le modalità di diffrazione al bordo superiore (vedere UNI EN1793-4: – prova in campo aperto).

Prima della consegna dei materiali in cantiere l'Appaltatore deve consegnare alla Direzione Lavori i certificati che assicurino la marcatura CE dei sistemi e prodotti previsti nell'appalto (Prequalifica).

36.1.2 Criteri di accettazione (acustici e non acustici)

Tabella riassuntiva Prove e Certificazioni

PRESTAZIONI ACUSTICHE								
		Valori richiesti (1)						
Caratteristica	**Metodo di Prova**	barriera tradizionale	barriera integrata	barriera integrata bifacciale	barriera mista tradizionale + trasparente (**)	barriera mista tradizionale + trasparente (***)	Copertura integrata elemento verticale	Copertura integrata elemento orizzontale
Indice valutazione assorbimento acustico DL_A (2)	UNI-EN 1793-1	≥ 11 dB (****)	≥ 7 dB	≥ 7 dB	≥ 6 dB	-	≥ 7 dB	≥ 7 dB
Indice valutazione isolamento acustico per via aerea DL_R (3)	UNI-EN 1793-2	≥ 24 dB	≥ 24 dB	≥ 24 dB	≥ 24 dB	≥ 24 dB	≥ 24 dB	≥ 24 dB
Indice valutazione riflessione sonora DL_{RI} (2)	UNI-EN 1793-5	≥ 8 dB (****)	≥ 6 dB(*****)	≥ 6 dB (*****)	≥ 5 dB	-	≥ 6 dB (*****)	≥ 6 dB (*****)
Indice valutazione isolamento acustico per via aerea DL_{SI} – elementi acustici (3)	UNI-EN 1793-6	≥ 27 dB	≥ 23 dB	≥22 dB	≥ 27 dB (*)	≥ 27 dB (*)	≥ 27 dB	≥ 27 dB
Indice valutazione isolamento acustico per via aerea DL_{SI} – montanti (3)	UNI-EN 1793-6	≥ 24 dB	≥ 20 dB	≥ 19 dB	≥ 24 dB	≥ 24 dB	≥ 24 dB	≥ 24 dB

(*) la prova deve essere effettuata in corrispondenza di una sezione di barriera in cui siano presenti pannelli trasparenti e in corrispondenza di eventuali punti di giunzione (trasparente – fonoassorbente)

(**) tipologia con percentuale di trasparente inferiore al 30%

(***) tipologia con percentuale di trasparente superiore al 30%

(****) possono essere accettati valori inferiori di 2 dB per barriere che, presentino elementi addizionali derivanti da richieste di natura paesaggistica, che riducono le prestazioni di assorbimento del pannello (es. listelli cotto)

(*****) per barriere integrate la percentuale di trasparente fino al 30% si accettano valori di DLRI con valori inferiori di 1dB, per percentuali di trasparente superiori non si richiede la tipologia di misura

8) I certificati si devono riferire a campioni conformi a quanto previsto nel progetto esecutivo. Non sono ammessi scostamenti dai valori richiesti.

9) Devono essere fornite le certificazioni relative a:

   a. campione, completo di montante, formato dai pannelli previsti per le protezioni antirumore verticali;

   b. campione, completo di elementi di fissaggio. Per quanto riguarda l'indice di valutazione della riflessione sonora, DL_{RI}, è ammesso di effettuare la prova disponendo i pannelli a terra, purché vengano riprodotte nel modo più fedele possibile

le reali condizioni di funzionamento dei pannelli, formato dai pannelli metallici previsti per le protezioni antirumore orizzontali;

c. campione, completo di elementi fissaggio, formato dagli elementi costituenti i rivestimenti muri o gallerie. Per tali elementi il valore ammissibile dell'indice di assorbimento acustico, DLa, e di riflessione acustica, DL_{RI} , deve risultare ≥ 8 dB.

10) Devono essere fornite le certificazioni relative a:

a. campione, completo di montante, formato dai pannelli previsti per le protezioni antirumore verticali;

b. campione completo di struttura portante, formato dai pannelli metallici previsti per le protezioni antirumore orizzontali; Per quanto riguarda l'indice di valutazione dell'isolamento acustico per via aerea, DL_{SI}, è consentito di disporre i pannelli in verticale, purché vengano riprodotte nel modo più fedele possibile le reali condizioni di funzionamento dei pannelli (soprattutto per quanto concerne la tenuta fra i pannelli e fra pannelli ed elementi strutturali di sostegno/supporto.

c. campione, completo di struttura portante, formato dai pannelli trasparenti previsti per le protezioni antirumore.

d. campione, completo di copertura, formato da struttura portante e dai pannelli trasparenti previsti per le protezioni antirumore.

PRESTAZIONI NON – ACUSTICHE		
Caratteristica	Metodo di Prova	Valori richiesti (1)
Resistenza al carico aerodinamico ed al carico statico per pannelli verticali (4)	UNI-EN 1794-1: Appendice A	≥ 0,90 kN/m^2
Resistenza al carico aerodinamico ed al carico statico per pannelli non-verticali (coperture ed aggetti) (5)	UNI-EN 1794-1: Appendice A	≥ 1,50 kN/m^2
Peso proprio (a secco – bagnato – bagnato ridotto) (6)	UNI-EN 1794-1: Appendice B	≥ 0,2 ; ≤ 0,5 ; ≤ 0,3 kN
Resistenza al peso proprio (6)	UNI-EN 1794-1: Appendice B	≥ 1,20 kN
Resistenza all'impatto causato da pietre (6)	UNI-EN 1794-1: Appendice C	Appendice C paragrafo C.2
Sicurezza nelle collisioni (solo per barriera integrata)	UNI-EN 1794-1: Appendice D	UNI-EN 1317-2, classe H4
Pericolosità da caduta di frammenti (6)	UNI-EN 1794-2: Appendice A	Classe 2 o 3 o 4
Resistenza al carico da rimozione neve (7)	UNI-EN 1794-1: Appendice E	≥ 10 kN/2x2 m
Resistenza all'incendio della macchia (7)	UNI-EN 1794-3: Appendice A	Classe 3

PRESTAZIONI NON – ACUSTICHE		
Caratteristica	Metodo di Prova	Valori richiesti (1)
Riflessione luce (20° - 60° - 85°) (6)	UNI-EN 1794-2: Appendice D	Classe 2 o 3 o 4
Protezione ambientale (6)	UNI-EN 1794-2: Appendice B	Nessuna sostanza pericolosa

2) I certificati si devono riferire a campioni conformi a quanto previsto nel progetto esecutivo.

Non sono ammessi scostamenti dai valori richiesti.

11) La certificazione deve essere effettuata relativamente ai soli elementi acustici (UNI EN 1794-1, Appendice A paragrafo A.3.3) e non relativamente agli elementi strutturali (UNI EN 1794-1, Appendice A paragrafo A.3.2).

Deve essere fornita la certificazione relativa ad un campione formato dai pannelli previsti per le protezioni antirumore verticali.

12) Le certificazioni devono essere effettuate relativamente ai soli elementi acustici (UNI EN 1794-1, Appendice A paragrafo A.3.3) e non relativamente agli elementi strutturali (UNI EN 1794-1, Appendice A paragrafo A.3.2).

Devono essere fornite le certificazioni relative ad un campione formato dai:

- pannelli metallici previsti per le protezioni antirumore non-verticali (coperture ed aggetti);
- pannelli trasparenti, completi di telaio, previsti per le protezioni antirumore.

13) Devono essere fornite le dichiarazioni relative a tutte le tipologie di pannelli antirumore, verticali ed orizzontali.

Per quanto riguarda i rivestimenti muri e gallerie non si applicano le prescrizioni relative al peso proprio; per quanto riguarda la protezione ambientale, le certificazioni o dichiarazioni del Fornitore devono riguardare tutti i materiali costituenti gli elementi acustici (pannelli e rivestimenti muri e gallerie).

14) Devono essere fornite le certificazioni relative a campioni, completi di montanti o sistemi di fissaggio, formati dalle tipologie di pannelli metallici previsti per le protezioni antirumore verticali (barriera tradizionale e barriera integrata) e per i rivestimenti di muri e gallerie.

36.1.2.1 Assorbimento acustico

Per assorbimento acustico si intende la capacità di ridurre l'energia sonora riflessa dal sistema antirumore.

Le caratteristiche intrinseche di assorbimento acustico, ovvero di riflessione del suono, sono determinate:

- in laboratorio in un campo sonoro diffuso, in conformità alla UNI EN 1793-1; viene misurato il coefficiente di assorbimento acustico a_S;

- in ambiente esterno in un campo sonoro direttivo, in conformità alla UNI EN 1793-5; viene misurato il reflection index, RI.

Entrambe le metodologie richiedono che le prestazioni siano valutate in funzione della frequenza in bande di terzi di ottava da 100 Hz a 5 kHz e, successivamente, sintetizzate dall'indice unico di valutazione, che viene indicato come:

- DL_a per prodotti sottoposti a prova, in accordo alla UNI EN 1793-1;
- DL_{RI} per prodotti sottoposti a prova, in accordo alla UNI EN 1793-5.

L'indice unico di valutazione viene calcolato in funzione dello spettro di rumore da traffico stradale, riportato nella UNI EN 1793-3 e raggruppato per classi così come definite dalla norma UNI EN 17931.

I Target di riferimento prestazionali dell'assorbimento acustico sono riportati in dettaglio nella Tabella riassuntiva Prove e Certificazioni.

36.1.2.2 Isolamento acustico

Per isolamento acustico si intende la capacità di ridurre l'energia sonora trasmessa dal sistema antirumore.

Le caratteristiche intrinseche di isolamento acustico per via aerea sono determinate:

- in laboratorio in un campo sonoro diffuso, in conformità alla UNI EN 1793-2; viene misurato il potere fonoisolante, R;
- in ambiente esterno in un campo sonoro direttivo, in conformità alla UNI EN 1793-6; viene misurato il sound insulation index, SI.

Entrambe le metodologie richiedono che le prestazioni siano valutate in funzione della frequenza in bande di terzi di ottava da 100 Hz a 5 kHz e, successivamente, sintetizzate dall'indice unico di valutazione, che viene indicato come:

- DL_R, per prodotti provati in accordo alla UNI EN 1793-2;
- DL_{SI}, per prodotti provati in accordo alla UNI EN 1793-6.

L'indice unico di valutazione viene calcolato in funzione dello spettro di rumore da traffico stradale, riportato nella UNI EN 1793-3.

I Target di riferimento prestazionali dell'isolamento acustico sono riportati in dettaglio nella Tabella riassuntiva Prove e Certificazioni.

36.1.3 Caratteristiche non acustiche

36.1.3.1 Premessa

I sistemi antirumore collocati in margine alle infrastrutture stradali sono sottoposti alle azioni meccaniche conseguenti al carico del vento e della neve, alla spinta aerodinamica dei mezzi in transito ed al peso proprio. Occasionalmente possono essere interessati da impatto di pietrisco e sottoposti al carico addizionale della neve espulsa dai mezzi di sgombero.

La norma di riferimento relativa alle caratteristiche strutturali dei sistemi antirumore è la UNI EN 1794-1. Si deve inoltre tenere conto dei criteri generali per la progettazione strutturale, riportati nelle Norme UNI EN dal numero 1990 al 1999 (Eurocodici) e ai relativi Documenti Nazionali di riferimento.

I sistemi antirumore dovranno essere posti in opera a una distanza sufficiente dalle barriere di sicurezza, tale da garantire il funzionamento indipendente dei due sistemi. Qualora il Progetto preveda l'utilizzo di sistemi combinati di sicurezza ed antirumore, questi, oltre alle verifiche di conformità previste per le barriere antirumore, dovranno rispondere anche alla normativa vigente in materia di barriere di sicurezza stradale (D.M.21/6/2004, UNI EN 1317-1 e UNI EN 1317-2).

I Target di riferimento prestazionali richiesti sono riportati in dettaglio nella Tabella riassuntiva Prove e Certificazioni, nella parte relativa alle caratterisiche non acustiche (par. 36.1.2).

36.1.3.2 Requisiti meccanici

La norma UNI EN 1794 Parte 1 specifica i requisiti meccanici dei sistemi per la riduzione del rumore; tali sistemi sono soggetti alle tipologie di carico seguenti, come definite dalla stessa norma:

- carichi indotti dal vento (Appendice A);
- pressione dinamica dovuta al passaggio dei veicoli (Appendice A);
- neve (barriere non verticali - Appendice A);
- peso proprio (Appendice B);
- impatto di pietre (Appendice C);
- carichi indotti dalla rimozione della neve (Appendice E)

In particolare, anche nel caso in cui la barriera antirumore sia collocata su un ponte stradale, l'azione del vento da considerare per le verifiche di stabilità del sistema è ricavata dal documento ENV 1991-2-4 (Eurocodice 1: Basi di calcolo ed azioni sulle strutture – Parte 2-4: Azioni sulle strutture – Azioni del vento) e dal relativo Documento Nazionale di riferimento.

Le combinazioni, la contemporaneità e i fattori di combinazione dei carichi elementari elencati sono definiti nelle Appendici A e B della UNI EN 1794-1

La conformità di un sistema antirumore ai requisiti meccanici richiesti deve essere dimostrata da una relazione di calcolo, firmata da un professionista abilitato che se ne assume la piena responsabilità, quando tutti i fattori concorrenti, incluse le tipologie di vincolo, siano determinabili con affidabilità. Il resoconto di calcolo deve includere tutte le informazioni richieste nell'Appendice A della UNI EN 1794-1.

36.1.3.3 Prove

La verifica della conformità del sistema antirumore ai requisiti richiesti può essere ottenuta mediante prove, da condurre in accordo alla UNI EN 1794-1. E' richiesta la prova sperimentale in presenza di elementi acustici compositi (esempio lastra trasparente con cornice) e, in generale, quando alcuni fattori, come le caratteristiche di resistenza del prodotto, le tipologie di vincolo, etc., non possano essere determinati con piena affidabilità.

Qualora in Progetto si preveda che, a causa della vicinanza della barriera alla corsia di marcia e della presenza di notevoli volumi di traffico, la barriera antirumore sia soggetta a fenomeni di fatica, occorre effettuare, oltre alla verifica della struttura portante, anche una verifica sperimentale del comportamento dei moduli acustici (pannelli o lastre trasparenti con relative cornici). Tale prova dovrà essere eseguita secondo procedure e modalità di carico concordate con il progettista, in funzione delle caratteristiche specifiche dell'opera da eseguire.

Il resoconto di prova deve includere una descrizione completa delle condizioni di prova, inclusi i dettagli dei supporti, delle procedure seguite e del carico degli elementi; deve inoltre fornire tutte le informazioni richieste nell'Appendice A della UNI EN 1794-1.

I Target di riferimento prestazionali richiesti sono riportati in dettaglio nella Tabella riassuntiva Prove e Certificazioni, nella parte relativa alle caratterisiche non acustiche (par. 36.1.2;).

36.1.4 Requisiti di sicurezza nell'esercizio e compatibilità ambientale dei materiali impiegati.

Per quanto riguarda la sicurezza nell'esercizio, la normativa europea tratta i seguenti aspetti:

- comportamento degli elementi in presenza di fuoco;
- pericolo di caduta di parti di barriera in seguito a violenti urti;
- uscite di sicurezza;
- riflessione della luce e trasparenza

Per quanto riguarda la compatibilità ambientale dei materiali impiegati valgono le normative e prescrizioni tecniche sulle proprietà intrinseche dei materiali utilizzati: atossicità, riciclabilità, smaltimento. La compatibilità dei sistemi antirumore alle specifiche inerenti i temi sopraelencati viene valutata con riferimento alla norma tecnica UNI EN 1794-2.

36.1.4.1 Sistemi anticaduta e Pericolo di caduta di frammenti

Frammenti di barriera, derivanti da rotture a seguito di impatti violenti, non devono costituire elementi di pericolo per gli occupanti dei veicoli o per altre persone poste in vicinanza della barriera.

Per i materiali fragili (esempio lastre trasparenti) è previsto l'impiego di lastre rinforzate (esempio lastre in PMMA con armatura interna realizzata con fili in poliammide) o di sistemi di ritenuta dei frammenti (esempio rete di sicurezza installata a tergo della barriera).

Inoltre è importante che a seguito di urti violenti i pannelli, pur rimanendo integri, non cadano creando pericoli per persone sottostanti, sia dal lato strada che dal lato ricettori. Per questo tipo di prodotti si

ricorre in genere a sistemi di cavi di sicurezza che assicurano il pannello alla struttura portante della barriera.

In generale quindi, nel caso di barriere posizionate su opere d'arte sovrastanti altre infrastrutture di trasporto o abitazioni, come anche nel caso di barriere poste nelle immediate vicinanze di abitazioni o di aree in cui è probabile lo svolgimento di attività umane, vengono definiti criteri di accettabilità e test da eseguire, secondo quanto riportato nell'allegato B della norma tecnica UNI EN 1794 – 2.

36.1.4.2 Comportamento in presenza di fuoco

I sistemi antirumore possono essere esposti a fiamme provenienti dalla vegetazione secca o da altro materiale in stretta vicinanza.

Fiamme di maggiore intensità possono levarsi come risultato di incidenti. Particolarmente critico in caso d'incendio risulta il comportamento dei rivestimenti utilizzati per le gallerie o delle coperture parziali della sede viaria.

La conformità di un sistema antirumore per infrastrutture di trasporto ai requisiti di resistenza all'incendio della macchia deve essere dimostrata da una prova sperimentale, conforme alla UNI EN 1794-3, appendice A.

Il campione sottoposto a prova deve avere la medesima composizione del sistema antirumore per infrastrutture di trasporto che verrà effettivamente installato; se, per esempio, si vuole caratterizzare la resistenza al fuoco di un sistema antirumore composto da pannelli di materiali differenti, posti a diverse altezze dal suolo, il campione in prova deve essere costituito da pannelli dello stesso tipo e con la stessa posizione relativa.

Poiché la prova specificata nella UNI EN 1794-3, appendice A, non sottopone alle medesime condizioni tutti i materiali di cui può essere composto un sistema antirumore (per esempio, in un sistema antirumore composto da pannelli di due materiali differenti, con cambiamento della tipologia a partire da 2 m dal suolo, i pannelli posti ad altezza maggiore non sono esposti alla fiamma di prova come quelli vicini al suolo) e poiché comunque tale prova non contempla aspetti quali la classe di reazione al fuoco dei singoli materiali componenti, la tossicità dei fumi sprigionati in presenza di combustione, ecc. essa deve essere intesa solo come un'attestazione convenzionale di alcune caratteristiche di prodotto.

Al fine di assicurare requisiti minimi di sicurezza in presenza di un elevato carico d'incendio, il presente Capitolato Speciale d'Appalto raccomanda l'applicazione dei seguenti criteri:

- mantenere una distanza minima di 8 m tra i sistemi antirumore per infrastrutture di trasporto contenenti materiali non incombustibili ed i più vicini siti con presenza di persone e/o di materiali infiammabili; per distanze inferiori, i sistemi antirumore devono essere totalmente costruiti con materiali incombustibili;
- per la sicurezza al fuoco dei rivestimenti di gallerie o per coperture parziali di infrastrutture di trasporto i pannelli in PMMA dovranno essere antigocciolamento "no drop" al fine di evitare gocciolamento del materiale fuso in fase di incendio; occorrerà anche valutare il carico d'incendio e la temperatura massima raggiungibile in accordo con le autorità competenti; in tali casi non utilizzare la prova specificata in UNI EN 1794-3 app.A;

- al fine di evitare la propagazione della combustione lungo sistemi antirumore costruiti con materiali non incombustibili, tali sistemi devono includere almeno ogni 150 m un tratto di lunghezza pari almeno a 6 m costruito con materiali incombustibili;
- su entrambi i lati di ogni via di fuga e/o accesso d'emergenza i sistemi antirumore devono comprendere un tratto di almeno 3 m di lunghezza costruito con materiali incombustibili;
- i materiali, combustibili e non combustibili, utilizzati nella realizzazione dei sistemi antirumore non devono sviluppare in caso di incendio fumi densi e/o tossici né provocare la caduta di materiale infiammato o produrre gocce o fili incandescenti che possano essere trasportati dal vento.

A supporto delle scelte tecniche di cui sopra, tutti i prodotti e/o componenti del sistema antirumore riguardo alla reazione al fuoco, devono essere testati e classificati in conformità alla UNI EN 13501-1.

36.1.4.3 Riflessione della luce

Per angoli di incidenza specifici, la luce solare o quella dei corpi illuminanti dei veicoli riflettendosi sui sistemi antirumore, può produrre effetti di abbagliamento per gli utenti dell'infrastruttura, pregiudicando la sicurezza stradale.

L'effetto dipende da parametri intrinsechi dei prodotti da caratteristiche estrinseche dei siti di installazione.

Le norme tecniche non fissano pertanto un valore limite di riflessività. E' tuttavia richiesto che i prodotti siano testati così da poter disporre dei valori di riflessività determinati in condizioni normalizzate.

Per i sistemi antirumore per impieghi stradali o comunque in prossimità di strade i valori di riflessività sono misurati in conformità al metodo di prova prescritto dalla UNI EN 1794-2, appendice D.

36.1.4.4 Trasparenza statica e dinamica

Per le barriere si considerano due aspetti della trasparenza:

- trasparenza statica per le persone che vivono oltre la barriera
- trasparenza dinamica per gli utenti dell'infrastruttura stradale.

La trasparenza statica è importante per ragioni estetiche; quella dinamica viene valutata al fine di migliorare la visibilità e l'orientamento degli utenti della strada (ad esempio in corrispondenza di incroci e corsie di accesso), contribuendo alla sicurezza.

Tra i requisiti prestazionali richiesti per i sistemi antirumore, devono essere forniti valori di trasparenza statica e dinamica calcolati in conformità al metodo di prova prescritto dalla UNI EN 1794-2, appendice F.

36.1.4.5 Accessi di servizioa scopo manutentivo

Gli accessi per la manutenzione delle barriere e dei margini della strada, ove presenti nel progetto, devono essere conformi a quanto prescritto dalla UNI EN 1794-2, appendice C.

Sono in genere previste porte attrezzate (dispositivi di apertura azionabili dall'esterno con chiavi e dall'interno con maniglioni antipanico) realizzate con gli stessi elementi costituenti la barriera o elementi equivalenti.

Ove necessario, si prevederanno scale realizzate secondo le norme di sicurezza vigenti, o altri provvedimenti qualora gli accessisi trovino in condizioni avverse.

In mancanza di un indicazione precisa relativamente alla distanza minima , si assume come riferimento la norma sui collegamenti pedonali previsti nelle gallerie a doppio fornice (ogni 300 metri), secondo il D.M. 05.11.01, capitolo 4.1.2, salvo specifiche indicazioni progettuali differenti.

36.1.4.6 Compatibilità ambientale

Relativamente ai requisiti di protezione ambientale deve essere rilasciata una dichiarazione dal fornitore del sistema antirumore, per la quale è possibile eventualmente avvalersi delle attestazioni emesse dai produttori dei singoli materiali componenti. Le voci da esplicitare chiaramente e compiutamente sono di seguito riportate:

- elenco dei materiali costituenti il sistema antirumore, utilizzando la nomenclatura chimica ed evitando i nomi commerciali,
- elenco delle sostanze che risultano dalla decomposizione a seguito di esposizione naturale durante l'intera vita di servizio del sistema antirumore,
- elenco delle sostanze che risultano dall'esposizione al fuoco del sistema antirumore,
- elenco delle condizioni chimiche o fisiche che potrebbero determinare il rilascio nell'ambiente di sostanze potenzialmente nocive o tossiche per l'uomo e per l'ambiente,
- elenco dei materiali che possono essere riciclati, indicando in quale misura sono presenti ed eventuali limitazioni d'uso,
- elenco dei materiali riciclati e relativa percentuale,
- elenco dei materiali che devono essere smaltiti secondo particolari procedure, da indicare in dettaglio,
- elenco di eventuali benefici legati al riutilizzo dei materiali costituenti, indicando tutte le limitazioni esistenti alle condizioni di trasformazione.

36.1.5 Requisiti di durabilità e criteri di manutenzione

Il sistema antirumore deve mantenere le prestazioni dichiarate (i requisiti funzionali strutturali ed acustici) per l'intera durata della vita utile.

Per la durabilità delle caratteristiche acustiche si fa riferimento alla prEN 14389-1.

Secondo questa norma è onere del produttore di sistemi antirumore dichiarare la durabilità delle caratteristiche acustiche di ogni tipologia di elemento prodotto.

La durabilità delle caratteristiche acustiche deve essere espressa dalla degradazione delle prestazioni (indice di valutazione di reflection index e sound insulation index), in decibel, in funzione degli anni di installazione della barriera.

Essa può essere stabilita in due modi:

- con soluzioni descrittive basate sull'esperienza pregressa;
- con prove prestazionali secondo la UNI CEN/TS 1793-5.

Relativamente alla durabilità delle caratteristiche non acustiche, con riferimento alla UNI EN 14389-2 che fornisce un'indicazione non vincolante, la durata della vita di servizio è posta pari a:

- 15 anni per gli elementi acustici;
- 50 per gli elementi strutturali.

Il produttore deve presentare per ogni tipologia di elemento acustico e strutturale una attestazione (sotto forma di certificato emesso da un laboratorio prove) sulla durata della vita di servizio prevista, con la classificazione delle condizioni ambientali utilizzate per la valutazione, la specificazione delle procedure progettuali usate e le eventuali prove sperimentali.

A lavori ultimati deve essere predisposto un piano di manutenzione che specifichi tipologia e frequenza dei controlli da effettuare oltre gli interventi di pulizia ordinaria, rimozione dei graffiti ed in genere, lavori dovuti a cause accidentali.

Indicazioni sui requisiti di durabilità e manutenibilità delle opere in relazione ai diversi materiali impiegati sono contenute nel capitolo 36.2 relativo ai requisiti prescrizionali dei prodotti impiegati.

36.2 Caratteristiche dei pannelli e dei materiali costituenti le barriere

I componenti di sistemi antirumore per infrastrutture di trasporto possono essere realizzati con materiali di varia natura che devono garantire i requisiti prestazionali enunciati nel capitolo precedente.

Il presente capitolo, per le tipologie di prodotto finito comunemente utilizzate, specifica le caratteristiche fisiche e chimiche rilevanti dei materiali costituenti e definisce i rispettivi valori di riferimento affinché il sistema antirumore mantenga le prestazioni dichiarate per l'intera durata della vita di servizio.

Viene inoltre elencata la documentazione ed i principali controlli che l'Appaltatore dei lavori è tenuto a consegnare a corredo dei materiali forniti a garanzia della conformità del prodotto al campione oggetto di prove di prequalifica.

Vengono trattati in sequenza i moduli acustici delle principali famiglie di materiali. Seguono gli elementi strutturali, le guarnizioni ed i sigillanti, gli accessori metallici e le porte di servizio.

Separatamente vengono trattati i sistemi antirumore per i quali non è sempre possibile distinguere tra elementi acustici ed elementi strutturali (terrapieni naturali ed in terra rinforzata, biomuri, barriere inverdibili a basso ingombro trasversale).

36.2.1 Pannelli metallici

Si tratta di elementi acustici costituiti da uno o più gusci in lamiera metallica con eventuali nervature di irrigidimento, in genere preassemblati fino a costituire un pannello scatolato.

Il guscio metallico può essere realizzato in lega di alluminio, in acciaio o in altro metallo, adeguatamente protetto contro la corrosione

Al suo interno è inserita una stratificazione di materiale fonoassorbente, costituito da complessi porosi o fibrosi che sfruttano fenomeni di attrito e risonanza.

36.2.1.1 Pannelli in acciaio (al carbonio ed inox)

Lo spessore della lamiera non forata deve essere di almeno 1,0 mm con tolleranze secondo la norma UNI EN 10143[12], ad eccezione dei pannelli in acciaio inox (DIN 17440) per cui lo spessore minimo è di 0,8 mm.

Tutti i pannelli di acciaio al carbonio, ad eccezione dei pannelli in inox, dovranno essere protetti mediante zincatura eseguita in modo conforme alla EURONORM 147, con granatura di zinco del tipo Z275.

Per quanto riguarda il rivestimento protettivo i pannelli metallici (ad eccezione dei pannelli in acciaio inossidabile) possono essere, in alternativa:

3) preverniciati , con protezione mediante cloruro di polivinile, per uno spessore di verniciatura non minore di 100mm;
4) verniciati e sottoposti ad un trattamento di protezione superficiale contro la corrosione atmosferica secondo i cicli appresso indicati:
   - sgrassaggio a 60° C e risciacquo con acqua industriale;
   - fosfatazione microcristallina oppure fosfatazione amorfa con fosfati di ferro;
   - applicazione di uno strato intermedio di anaforesi o cataforesi o di brugalizzazione, oppure in alternativa un fondo a base epossidica;
   - verniciatura finale con applicazione a spruzzo o ad immersione di smalti a base poliestere o poliuretanica (in questo caso è indispensabile un fondo epossidico), oppure con applicazione elettrostatica di polvere a base poliestere;
   - polimerizzazione in forno a 140° C.

Lo spessore minimo locale della protezione, comprensivo della zincatura, deve essere 80 mm.

I cicli di verniciatura devono essere effettuati dopo tutte le lavorazioni meccaniche (foratura, piegatura, saldatura, ecc.).

Cicli diversi di verniciatura e di zincatura possono essere adottati solo se preventivamente concordati.

[12] Sostituisce la norma UNI 5753;

Si dovranno prendere gli accorgimenti idonei a ridurre l'ingresso di acqua meteorica o a favorirne la fuoriuscita mediante opportuni fori di drenaggio.

Tale requisito può essere valutato effettuando la "prova di tenuta ai liquidi" secondo il metodo di prova ricavato dalla Euronorm 86 per le prove del serramenti: verrà determinata la quantità di acqua penetrata nel pannelli con acqua spruzzata per 10 min (a livello superiore ed inferiore) con portata di 2 l/m²/min, ed il valore ottenuto verrà presentato al Committente per accettazione.

Per i pannelli in acciaio, con esclusione dei pannelli in acciaio inox, si prescrivono le seguenti prove e valori minimi per verificare l'idoneità del cicli di trattamenti protettivi (zincatura e verniciatura).

- Spessore della protezione:

Esigenza minima: 80 mm o il valore dichiarato (si assume il valore più elevato tra i due);

- Aderenza, secondo la Norma Unichim MU 630:

Esigenza minima: grado 1, sia nell'esecuzione a secco (dry-adesion, a tempo zero), sia dopo l'immersione in acqua a 40 °C per 150 h (wet adesion);

- Resistenza alla graffiatura, secondo le Norme UNI EN ISO 1518-1 e UNI EN ISO 1518-2:;

Esigenza minima: 60N;

- Resistenza agli urti, secondo la Norma UNI EN ISO 6272-2;

Esigenza minima: dopo 1000 h di esposizione deve risultare assenza di blistering e/o di perdita di aderenza; lungo l'incisione l'ossidazione e la bollatura non devono penetrare per più di 2 mm;

- Resistenza alla corrosione da nebbia salina neutra, secondo la Norma UNI EN ISO 9227:;

Esigenza minima: con una soluzione di NaClAs 5%, procedura ASTM B117-64, dopo 1.500 h l'ossidazione o la bollatura lungo l'incisione non devono penetrare per più di 2 mm.

Non sono ammesse alterazioni visive e perdite di aderenza.

Applicando un nastro TESA n° 104 sul campione in esame, almeno dopo 4 h dall'estrazione dello stesso dalla camera, non devono verificarsi distacchi.

36.2.1.2 Pannelli in alluminio

Devono essere realizzati in lega Al-Mn-Mg tipo 3105 (UNI EN 573-3), con buona resistenza alla corrosione.

Per tali pannelli lo spessore minimo della lamiera su entrambi i lati, forati e non, è di almeno 1,2 mm; nel caso si applichi sulla lamiera non forata un materiale di appesantimento (smorzante a base bituminosa o di gomma) del peso di almeno 5 kg/m², lo spessore può essere ridotto a 1,0 mm.

Gli elementi dei pannelli in alluminio devono essere pretrattati alla verniciatura mediante opportuni sistemi di decapaggio e di preparazione.

L'alluminio non deve essere in contatto con rame o sue leghe

Lo spessore minimo locale della protezione deve essere di almeno 60 mm.

Si prescrivono i seguenti requisiti:

- Spessore della protezione anticorrosiva

Esigenza minima: i valori dichiarati o 60 mm (il maggiore tra i due);

- Aderenza, secondo Unichim MU 630:

Esigenza minima: almeno grado 0;

- Resistenza alla scalfittura, secondo le Norme UNI EN ISO 1518-1 e UNI EN ISO 1518-2 (solo sulla faccia esposta):

Esigenza minima: 60 N

- Resistenza agli urti, secondo la Norma UNI EN 6272-2;

Esigenza minima: per caduta di una massa di 1 kg da un'altezza da 30 cm sulla faccia esposta, non devono verificarsi screpolature o distacchi su entrambe le facce;

- Resistenza all'umidità, secondo la Norma UNI EN ISO 6270-1;

Esigenza minima (dopo 1500 h di esposizione) comprovata da corrosione e/o bollatura lungo l'incisione con penetrazione al massimo pari a 2 mm.

Non è ammessa nessuna altra alterazione visiva o perdita di aderenza.

- Resistenza alla corrosione da nebbia salina neutra, secondo la Norma UNI EN ISO 9227;

Esigenza minima: dopo 1500 h l'ossidazione o la bollatura lungo l'incisione non devono penetrare per più di 2 mm.

Non sono ammesse alterazioni visive e perdite di aderenza.

Applicando un nastro TESA n.104 sul campione in esame, almeno dopo 4 h dall'estrazione dello stesso dalla camera, non devono verificarsi distacchi.

Le operazioni meccaniche di foratura vanno effettuate prima dei trattamenti protettivi.

36.2.1.3 Caratteristiche del guscio in alluminio

Nella tabella seguente sono riportate le caratteristiche minime raccomandate per il guscio in alluminio unitamente al metodo di verifica a cui il materiale deve essere sottoposto.

Lo stato fisico dell'alluminio, indipendentemente dal tipo di lega, deve essere tale da permettere la formabilità a freddo senza che siano compromesse le caratteristiche meccaniche (per esempio a causa della formazione di cricche).

Nella realizzazione di giunzioni metalliche occorre evitare il problema della corrosione per contatto bimetallico.

E' raccomandato l'impiego di lamiere bucciardate che consentono di mascherare eventuali piccoli danni arrecati al prodotto durante il montaggio o nella sua vita operativa.

La lega di alluminio non deve essere stabilmente in contatto con materiale di diverso potenziale elettrico al fine di prevenire fenomeni di corrosione per effetto galvanico

. Di questa guaina occorre controllarne le modalità applicative per garantire la completa adesione alla superficie metallica. Il materiale costituente, in genere di tipo elastomerico, deve assicurare il mantenimento delle caratteristiche elastiche nel range di temperature di impiego dei pannelli.

Metodi di prova e valori raccomandati di alcune proprietà dei gusci metallici dei pannelli scatolati		
Caratteristica	Metodo di prova	Valore di riferimento
Percentuale di foratura della lamiera (lato sorgente)	---	$30\% \leq p_f \leq 40\%$
Lega di alluminio – tipologia	UNI EN 573-1	Lega Al-Mg-Mn del gruppo 3xxx
Lega di alluminio – spessore minimo	---	1,2 mm

Il film di vernice deve inoltre rispondere alle caratteristiche riportate in tabella. Al fine di garantire l'integrità dello strato protettivo si raccomanda che le operazioni meccaniche di foratura siano effettuate prima dell'esecuzione del trattamento. E' pertanto da escludere l'impiego di coils preverniciati per la realizzazione dei pannelli.

Metodi di prova e valori raccomandati di alcune proprietà dei prodotti verniciati		
Caratteristica	Metodo di prova	Valore di riferimento
Valutazione dello spessore del film di vernice	UNI EN ISO 2360	> 60 µm
Determinazione della brillantezza (con luce incidente a 60°)	UNI EN ISO 2813	30±5 gloss
Valutazione del grado di aderenza	UNI EN ISO 2409	Classe 0 (nessun distacco)
Valutazione della durezza (resistenza all'impronta Buchholz)	UNI EN ISO 2815	>80
Valutazione della resistenza all'urto	UNI EN ISO 6272	Nessun distacco o fessurazione
Prova di resistenza alla corrosione in camera a nebbia salina acetica	UNI ISO 9227	Dopo 1500 h di esposizione l'arruggimento e/o la bollatura lungo l'incisione non devono penetrare per più di 16 mm^2 per un taglio di 100 mm, con un massimo di 4 mm per ogni infiltrazione. Non è ammessa altra

Metodi di prova e valori raccomandati di alcune proprietà dei prodotti verniciati		
Caratteristica	Metodo di prova	Valore di riferimento
		alterazione visibile o perdita di aderenza
Prova di resistenza alla corrosione accelerata Kesternich	UNI EN ISO 3231	Nessuna corrosione oltre 1 mm dall'incisione dopo 24 cicli
Determinazione della ritenzione della brillantezza	UNI EN ISO 16474-1	Perdita < 50% del valore iniziale
Determinazione della resistenza del colore	UNI EN ISO 16474-1	Perdita < 50% del valore iniziale
Determinazione della resistenza all'umidità	UNI EN ISO 6270-1	Dopo 1000 ore di esposizione, nessuna formazione di bolle e penetrazione < 1 mm
Determinazione della resistenza alla corrosione filiforme	UNI EN ISO 3665	Dopo 1500 ore di esposizione, penetrazione < 2 mm

36.2.1.4 Pannelli misti

È permesso l'utilizzo di pannelli misti acciaio-alluminio con il lato forato in alluminio e il lato pieno in acciaio.

Per ognuno dei due lati valgono rispettivamente le prescrizioni presenti per le singole tipologie del presente paragrafo.

36.2.1.5 Pannelli in acciaio Cor-Ten

Devono essere realizzati in acciaio Cor-Ten tipo A-B-C.

Per tali pannelli lo spessore minimo della lamiera su entrambi i lati, forati e non, è di almeno 1,0 mm;

36.2.2 Materiale fonoassorbente

Il materiale fonoassorbente inserito nel guscio metallico è in genere costituito da materassini di materiale fibroso (lane minerali o fibra di poliestere).

Per la fibra in poliestere termolegata deve essere garantita l'assenza di collanti termoindurenti nei materiali costituiti da fibre plastiche. Per aumentare la durabilità ed evitare impregnazioni il Progetto del guscio metallico deve prevedere accorgimenti e soluzioni atte a garantire l'evacuazione dell'acqua. Ad ulteriore garanzia per le lane minerali occorre prevedere una membrana microporosa ed idrorepellente, posizionata sulla superficie del materassino rivolta verso la sorgente del rumore. Il materiale deve risultare imputrescibile, inerte agli agenti atmosferici e non infiammabile. Per le

fibre minerali (roccia o vetro) deve essere esclusa la classificazione di sostanza pericolosa in relazione a quanto previsto dal Regolamento (CE) n. 1272/2008 del 16 dicembre 2008.

Per assicurare le proprietà acustiche, di resistenza e di durabilità, i materiali fonoassorbenti fibrosi utilizzati devono soddisfare i requisiti riportati in tabella

Valori raccomandati di alcune proprietà relative ai più diffusi materiali fonoassorbenti fibrosi presenti negli elementi acustici		
Caratteristica	Metodo di prova	Valore di riferimento
Spessore strato	---	> 50 mm
Diametro medio delle fibre	UNI 6484	> 6 µm
Massa volumica apparente	UNI 6485	Lana di roccia: 90 kg/m^3 £ Mva£180 kg/m^3 Lana di vetro 40 kg/m^3 £ Mva£60 kg/m^3 Fibre di poliestere 30 kg/m^3 £ Mva£60 kg/m^3
Grado di igroscopicità	UNI 6543	<0.2% in volume con tempo di prova: 1 giorno
Classe di reazione al fuoco (nel caso di installazione in galleria)	EN 13501-1	Contributo al fuoco: A1 e A2 (non combustibili) Densità dei fumi s1 (assenza di fumi) Gocce incandescenti: d0 (assenza di gocce entro 600s)

Per quanto riguarda le proprietà di resistenza all'acqua, resistenza al calore ed ancoraggio del materiale fonoassorbente, non esistono metodi di prova normalizzati. Nella tabella sono riportati i metodi di prova da seguire per la valutazione delle proprietà testé citate ed i valori di riferimento raccomandati.

Metodi di prova non normalizzati e relativi valori di riferimento		
Caratteristica	Metodo di prova	Valore di riferimento
Resistenza all'acqua	Si pone un provino del materiale in esame, di dimensioni 100 mm x 100 mm e stesso spessore di quello effettivamente utilizzato,	Al termine della prova non devono essere avvenuti né sfaldamenti né colorazione

	completamente immerso in acqua distillata per 24 h a temperatura ambiente.	rispettivamente del provino e dell'acqua.
Resistenza al calore	Si pone un provino del materiale in esame, di dimensioni 100 mm x 100 mm e stesso spessore di quello effettivamente utilizzato, in una stufa ad 80° C per 24 h poggiandolo su una delle due facce.	Al termine della prova non devono essere avvenute variazioni di lunghezza o larghezza del provino superiori a 5 mm, né variazioni di spessore superiori ad 1 mm.
Ancoraggio del materiale fonoassorbente	L'elemento acustico, o una sua porzione significativa, disposto in posizione verticale, è sottoposto per 24 h a vibrazione, anch'essa verticale, con livello di accelerazione di 123 dB nell'intervallo di frequenza compreso tra 1 e 80 Hz. La vibrazione deve essere trasmessa all'elemento in prova imponendo una scansione a passi di 1 Hz, riproducendo un ciclo completo di scansione ogni 12 minuti (9 s per singola frequenza)	Al termine della prova, il materiale fonoassorbente deve risultare privo di sfaldamenti ed ancora saldamente ancorato alla struttura.

36.2.3 Pannelli in legno

Si tratta di elementi acustici costituiti da una struttura scatolare in legno al cui interno è alloggiata una stratificazione di materiale fonoassorbente, costituito da complessi porosi o fibrosi che sfruttano fenomeni di attrito e risonanza.

La struttura scatolare è in genere costituita da travetti portanti in legno a cui è fissato posteriormente un tavolato perlinato ed anteriormente una griglia di contenimento del materassino fonoassorbente formata da listelli di legno.

In alternativa questa griglia anteriore può essere sostituita da lamiera grecata in alluminio a realizzare un sistema misto legno – metallo.

Per le caratteristiche prescrizionali delle parti metalliche si rinvia al paragrafo 36.2.1.

Per le caratteristiche prescrizionali del materassino fonoassorbente si rinvia al paragrafo 36.2.2.

Segue una trattazione specifica delle componenti in legno.

36.2.3.1 Caratteristiche della struttura scatolare in legno

Per il grado di esposizione agli agenti atmosferici, i pannelli devono essere accuratamente lavorati e realizzati con legno di ottima qualità, esente da radici, funghi e muffe. Non sono accettabili elementi danneggiati dagli attacchi da parte di batteri o insetti. Analogamente non sono accettabili elementi che presentino cricche, fessure profonde e nodi non collegati fermamente alla struttura.

Il legno deve resistere al deperimento organico e va trattato con impregnanti speciali per evitare la formazione di funghi. In alternativa è previsto l'impiego di legno di durabilità naturale che non richiede di essere protetto mediante impregnazione in autoclave.

Come sostanza impregnante devono essere utilizzati sali preservanti inorganici indilavabili cosiddetti "ecologici", cioè esenti da arsenico e cromo.

Il legno utilizzato deve provenire da foreste gestite in maniera sostenibile nel rispetto delle norme ambientali di corretta politica forestale.

Metodi di prova, valori raccomandati e altri requisiti di alcune proprietà degli elementi acustici in legno		
Caratteristica	Metodo di prova	Valore di riferimento
Legno lamellare – classe di resistenza	DIN 4074, DIN 1052-10	Classe II
Classe di impregnazione	UNI EN 350	Classe 1 o 2
Classificazione di penetrazione e ritenzione del preservante	UNI EN 351-1	Conforme il legno impregnato deve essere stato trattato con sali preservanti inorganici indilavabili cosiddetti "ecologici", cioè esenti da arsenico e cromo, in autoclave in pressione
Durabilità del legno	UNI EN 350	Certificata
Classe della specie legnosa per il legno di pino	UNI EN 350	Certificata
Caratteristiche minime della struttura del pannello, al fine di garantire una durabilità di almeno 15 anni	UNI 11160, punto 8.2.3	Conforme

Le caratteristiche minime della struttura del pannello, al fine di garantire una durabilità di almeno 15 anni, devono essere le seguenti:

- telaio scatolare in legni di massello con sezione di 100 mm x 80 mm, bloccati fra loro da incastri angolari;
- telaio attrezzato sui lati della lunghezza con una fresatura esterna per la sede dei regoli in legno, aventi lo scopo di congiungere ermeticamente la sovrapposizione dei pannelli;

- tavolato finale di tamponamento composto da assiti trattati, di spessore minimo 20 mm, fissato sia in lunghezza che in altezza almeno in almeno tre punti con viti in acciaio inossidabile;
- tessuto antispolvero in rete di polietilene con tramatura rinforzata, resistente ai raggi UVA, da posizionare anteriormente a protezione del materassino fonoassorbente;

I listelli in legno, che possono essere una variante ai modelli dei pannelli, devono essere trattati in autoclave, avere sezione minima di 50 mm x 25 mm, essere opportunamente lavorati e sagomati, fissati con viti in acciaio inossidabile alle estremità, in fori predisposti, lasciando la parte legnosa di 20 mm - 30 mm.

Deve essere presente una scossalina in lamierino di acciaio verniciato a caldo a protezione dei pannelli. Tutta la parte metallica necessaria all'assemblaggio del pannello, deve essere in acciaio inossidabile.

36.2.4 Pannelli trasparenti

L'impiego di lastre trasparenti nelle barriere antirumore è dovuto ad esigenze di tipo architettonico o inserimento paesaggistico, di visibilità e, in casi specifici, di sicurezza dell'esercizio (garanzia di visuale su corsie di immissione o segnaletica).

Queste lastre non hanno proprietà fonoassorbenti intrinseche. Devono comunque garantire i valori di fonoisolamento minimi richiesti a Progetto.

I materiali trasparenti comunemente impiegati sono il polimetilmetacrilato, il policarbonato ed il vetro stratificato. Il modulo pannello è realizzato con idonee guarnizioni ed una cornice strutturale portante realizzata in acciaio, alluminio o legno.

Nei paragrafi seguenti sono trattati specificatamente le singole tipologie di materiale trasparente e relativi accessori (guarnizioni / bulloneria).

Per le caratteristiche della cornice strutturale portante si rimanda al paragrafo 36.2.1 se di acciaio ed al paragrafo 36.2.3 se di legno.

36.2.4.1 Pannelli trasparenti con lastre in polimetilmetacrilato (PMMA)

Le lastre di polimetilmetacrilato (PMMA) possono essere di tipo colato conforme alla UNI EN ISO 7823-1 o estruso conforme alla UNI EN ISO 7823-2.

In tabella sono elencate le caratteristiche tecniche del materiale.

Caratteristiche delle lastre in PMMA		
Caratteristica	Metodo di prova	Valore di riferimento
Massa volumica	ISO 1183-1	≥ 1 190 kg/m^3
Assorbimento d'acqua	UNI EN ISO 62, metodo 1 (24h, 23°C)	≤ 0,5 %

Caratteristiche delle lastre in PMMA		
Caratteristica	Metodo di prova	Valore di riferimento
	le provette sono quadrate, di lato pari a 50 mm e di spessore pari a 3 mm	
Resistenza a flessione	UNI EN ISO 178	≥ 100 MPa
Resistenza a trazione	UNI EN ISO 527-2/1B/50	≥ 65 MPa
Resistenza a trazione dopo invecchiamento	UNI EN ISO 527-2/1B/50	≥ 60 MPa
Modulo elastico a flessione	UNI EN ISO 178	≥ 3 000 MPa
Modulo elastico a trazione	UNI EN ISO 527-2/1B/50	≥ 3 000 MPa
Modulo elastico a trazione dopo invecchiamento	UNI EN ISO 527-2/1B/50	≥ 2 800 MPa
Resistenza all'urto Charpy senza intaglio	UNI EN ISO 179-1/1fU	≥ 10 kj/m^2
Temperature di rammollimento Vicat	UNI EN ISO 306, metodo B50	≥ 95° C
Coefficiente di dilatazione termica lineare	DIN 53752-A	≤ 70 x 10^{-6} 1/K
Fattore di trasmissione luminosa totale	UNI EN ISO 13468-1 le provette sono incolori e di spessore pari a 3 mm (UNI EN ISO 7823-1 e UNI EN ISO 7823-2)	≥ 90%
Fattore di trasmissione luminosa a 420 mm: prima dell'esposizione	UNI EN ISO 13468-1	≥ 90%
Fattore di trasmissione luminosa a 420 mm: dopo l'esposizione alla lampada allo Xenon	UNI EN ISO 4892-2 per 1000 h	≥ 88%
Tensione ammessa sul materiale (fino a 40° C)	---	≤ 7 N/mm^2

Le lastre in PMMA devono essere inserite in un telaio metallico con interposta una guarnizione in EPDM, per una profondità tale da evitare l'uscita delle lastre per effetto della deformazione sotto carico.

Le lastre in PMMA devono potersi dilatare o ritirare in funzione della temperatura.

Lo spessore della lastra deve essere determinato in funzione dei carichi dinamici e statici richiesti, delle dimensioni delle lastre e del tipo di cornice utilizzata. Lo spessore delle lastre di PMMA deve essere non inferiore a *20 mm o 15 mm con rinforzo in fili di poliammide*..

La verifica di resistenza ai carichi dinamici e statici deve essere certificata dal produttore del sistema, secondo quanto richiesto dalla UNI EN 1794-2, e deve essere eseguita sull'intero pannello comprensivo di lastra, guarnizione e cornice metallica simulando le condizioni reali di installazione comprensive delle modalità di vincolo tra il sistema pannello-cornice-guarnizione e i montanti.

Analogamente per la prova di impatto e caduta dei frammenti prevista in conformità alla UNI EN 1794-2, appendice A. Per le condizioni di impatto più severe previste dalla norma, oltre ai sistemi tradizionali di ritenuta dei frammenti (rete di contenimento) è possibile utilizzare lastre in PMMA rinforzate internamente con filamenti in poliammide o altro materiale compatibile. Le lastre di PMMA rinforzato devono essere assicurate alla struttura portante (HE o altro) mediante idonei collegamenti come, per esempio, cavetti di sicurezza in acciaio (con una resistenza a trazione non minore di 1 500 N/mm2), fissati sui 4 angoli della lastra in PMMA, a non meno di 140 mm dal bordo. Per l'esecuzione dei fori sulla lastra devono essere rispettate le istruzioni del produttore.

Tra i requisiti di protezione ambientale per le lastre in PMMA deve essere fornita specifica scheda di sicurezza CE per le lastre in PMMA estruso e colato in quanto le due tipologie di materiale vanno trattate in modo diverso in fase di riciclo a fine vita di esercizio.

Al fine di rendere visibile l'ostacolo barriera ai volatili può essere adottata una opportuna colorazione in massa; questa soluzione è consigliata altresì per minimizzare l'effetto sporco nei periodi di siccità. In alternativa è possibile ricorrere a trattamenti serigrafici o ad applicazione di decalcomanie.

Per la pulizia delle lastre devono essere programmate operazioni di pulizia periodiche delle lastre di PMMA con acqua in pressione, in conformità alla cadenza temporale dichiarata dal produttore del PMMA.

Al fine di individuare l'onere connesso con la manutenzione degli elementi in PMMA, deve essere indicato il tipo di trattamento a cui occorre che tali elementi siano sottoposti per la rimozione della polvere e dei graffiti.

Le guarnizioni che vengono impiegate a contatto con il PMMA, devono essere realizzate in EPDM o altro materiale compatibile con il materiale trasparente; non devono cioè rilasciare, durante la vita di servizio, prodotti chimici che aggrediscano chimicamente il materiale

trasparente. La geometria della guarnizione deve essere tale da consentire la dilatazione ed il ritiro delle lastre evitando che queste fuoriescano durante la vita di servizio.

Le guarnizioni devono avere le caratteristiche minime elencate nel prospetto.

Caratteristiche delle guarnizioni		
Caratteristica	Metodo di prova	Valore minimo (*)
Durezza	UNI EN ISO 868	70 ± 5 Shore A/3 (± 3 Shore A/3)

Carico di rottura	UNI 6065	10 Mpa (± 5%)
Allungamento a rottura	UNI 6065	300% (± 15%)

(*) Tra parentesi sono riportate le variazioni ammesse dopo invecchiamento termico di sette giorni alla temperatura di 70 °C, in conformità alla UNI ISO 188.

La cornice metallica deve essere installata su almeno tre lati della lastra, offrendo a quest'ultima idonea resistenza meccanica per effetto della forma, dello spessore e delle caratteristiche meccaniche del materiale impiegato.

36.2.4.2 Pannelli trasparenti con lastre in policarbonato protetto a UV

L'impiego di lastre in policarbonato presuppone che non si tratti di materiale riciclato e che sia prevista idonea protezione per i raggi UV. Possono essere impiegate lastre in policarbonato a partire da uno spessore minimo di 12 mm.

In tabella sono elencate le caratteristiche tecniche del materiale.

Caratteristiche delle lastre in policarbonato		
Caratteristica	Metodo di prova	Valore di riferimento
Massa volumica	UNI EN ISO 1183	≥ 1 000 kg/m^3
Assorbimento d'acqua	UNI EN ISO 62, metodo 1(24h, 23°C) le provette sono quadrate, di lato pari a 50 mm e di spessore pari a 3 mm	≤ 16 %
Resistenza a trazione	UNI EN ISO 527-2/1B/50	≥ 60 MPa
Resistenza a trazione dopo invecchiamento	UNI EN ISO 527-2/1B/50	≥ 55 MPa
Modulo elastico a trazione	UNI EN ISO 527-2/1B/50	≥ 2 200 MPa
Modulo elastico a trazione dopo invecchiamento	UNI EN ISO 527-2/1B/50	≥ 2 000 MPa
Resistenza all'urto Charpy con intaglio	UNI EN ISO 179-1/1fU	≥ 6 Kj/m2
Temperatura di rammollimento Vicat	UNI EN ISO 306, metodo B50	≥ 145°C
Coefficiente di dilatazione termica lineare	DIN 53752-A	≤ 6,5.10^{-5} °C^{-1}
Modulo elastico a trazione	UNI EN ISO 527-2/1B/5	≥ 2 200 MPa

Caratteristiche delle lastre in policarbonato		
Caratteristica	Metodo di prova	Valore di riferimento
Fattore di trasmissione luminosa a 420 mm		
Prima dell'esposizione	UNI EN ISO 13468-1	≥ 85%
Dopo l'esposizione	UNI EN ISO 4892-2 per 1 000 h	≥ 82%
Tensione ammessa sul materiale (fino a 40°C)	---	≤ 10 N/mm2

Valgono per i pannelli con lastra in policarbonato tutte le caratteristiche generali riportate per le lastre in PMMA al paragrafo 36.2.4.1

36.2.4.3 Pannelli trasparenti con lastre in vetro stratificato

Per motivi di sicurezza gli elementi acustici in vetro devono essere realizzati esclusivamente con lastre di vetro stratificato ottenute da procedimento di lavorazione float per colata su bagno metallico in atmosfera controllata e da un film intermedio in polivinilbutirrale (PVB), avente uno spessore costante di 0.76 mm, per uno spessore totale minimo di 15 mm (6+8+PVB).

Le singole lastre devono essere sottoposte a trattamento termico di tempera o di indurimento in funzione del tipo di applicazione e del grado di sicurezza che si vuole conseguire in caso di urto.

Il trattamento di tempera aggiunge al livello di sicurezza dovuto alla stratificazione i risultati di maggior resistenza meccanica ed agli shock termici, migliorando la sicurezza di impiego del prodotto nel caso di applicazione in barriere antirumore poste a lato delle infrastrutture di trasporto.

In caso di lastre curve è preferibile la stratificazione di due o più vetri temperati della stessa natura e spessore.

Qualora le lastre siano applicate in copertura, si raccomanda l'uso di vetro stratificato costituito da una lastra temperata ed una indurita; il vetro temperato ha una migliore resistenza meccanica; il vetro indurito ha una compattezza in caso di rottura superiore al vetro stratificato temperato, poiché presenta una frammentazione di grandi dimensioni.

I pannelli realizzati in vetro possono essere costituiti da materiale incolore o colorato, eventualmente con serigrafie decorative. Il colore può essere ottenuto con l'impiego di fogli di PVB della colorazione richiesta.

Caratteristiche delle lastre in vetro stratificato		
Caratteristica	Metodo di prova	Valore di riferimento
Spessore totale	---	³ 15 mm
Caratteristiche del materiale di base e limitazione dei difetti ottici e visivi	UNI EN 572-1, UNI EN 572-2 e UNI EN ISO 12543-6	

Caratteristiche delle lastre in vetro stratificato		
Caratteristica	Metodo di prova	Valore di riferimento
Resistenza ad alta temperatura, all'umidità e all'irraggiamento solare simulato	UNI EN ISO 12543, parti 1, 2, 3 e 4	
Dimensioni, scostamenti limite e finiture dei bordi	UNI EN ISO 12543-5	
Criteri di sicurezza nelle applicazioni vetrarie	UNI 7697	
Molatura delle lastre	UNI 11649	
Trattamento serigrafico (eventuale)	UNI EN 12150-1	
Fattore di trasmissione luminosa	UNI EN 410 e UNI EN 673	0,81
Fattore di riflessione luminosa	UNI EN 410 e UNI EN 673	0,07
Fattore di trasmissione energetica	UNI EN 410 e UNI EN 673	0,54
Fattore di riflessione energetica	UNI EN 410 e UNI EN 673	0,40
Fattore di assorbimento energetico	UNI EN 410 e UNI EN 673	0,06
Fattore solare	UNI EN 410 e UNI EN 673	0,65

Le lastre devono essere certificate con trattamento termico Heat Soak Test (HST) secondo UNI EN 14179-2.

Valgono per i pannelli con lastra in vetro tutte le caratteristiche generali riportate per le lastre in PMMA al paragrafo 36.2.4.1

Per assicurare la compatibilità con il plastico PVB, è preferibile impiegare guarnizioni a mescola a base siliconica.

36.2.4.4 Mitigazioni ambientali per l'avifauna

Le marcature atte a prevenire le collisioni dell'avifauna contro i pannelli trasparenti previste sono costituite dall'applicazione di strisce adesive o di strisce sabbiate o fresate sui pannelli oppure fili di poliammide coestrusi o colati.

Sono previste pertanto marcatura aventi le seguenti caratteristiche:

- Tipo 1:
  - strisce orizzontali;
  - colore bianco (o giallo);

- larghezza: 20 mm;
- spaziatura: 100 mm.

- Tipo 2:
  - Strisce orizzontali;
  - Colore nero;
  - Larghezza: 2 mm;
  - Spaziatura 30 mm.

Nel caso di applicazione di strisce adesive, strisce sabbiate o fresate queste devono essere applicate verso l'esterno - lato ricettore (direzione di arrivo presumibile degli uccelli, quindi verso l'habitat laterale all'autostrada).

36.2.4.5 Pannelli in materiale plastico

I materiali utilizzati (polietilene, polipropilene, polivinilcloruro, poliestere) devono garantire resistenza allo scorrimento (shrinkage) a temperatura ambiente ed alle alte temperature (70 °C), alla fessurazione (creep) e ai raggi ultravioletti.

In particolare i pannelli in materiale plastico dovranno essere realizzati con materiale avente un modulo elastico a flessione superiore a 2.600 MPa secondo la norma DIN 16948.

36.2.5 Pannelli in calcestruzzo

Si tratta di pannelli costituiti da uno strato portante in calcestruzzo armato abbinato ad uno strato di materiale poroso di varie tipologie.

Lo strato portante assicura le proprietà fonoisolanti del pannello; lo strato poroso assicura le proprietà fonoassorbenti grazie alla sua geometria ed al materiale di cui può essere costituito (granuli di argilla espansa o lapillo vulcanico).

I due strati sono normalmente abbinati in fase di getto con la tecnica del fresco su fresco che assicura l'omogeneità del pannello se effettuata con tempi di getto ravvicinati in modo da garantire la contemporaneità del fenomeno di presa.

Esistono tuttavia altre modalità produttive quali la prefabbricazione separata dei moduli alleggeriti ed il successivo fissaggio meccanico allo strato portante.

Per questa tipologia di elementi acustici, la norma tecnica UNI EN 14992 contiene i riferimenti tecnici per le caratteristiche meccaniche, di sicurezza e durabilità.

L'eventuale colorazione dello strato fonoassorbente deve essere preferibilmente realizzata con pigmentazione dell'impasto mediante impiego di ossidi, al fine di non pregiudicare le proprietà fonoassorbenti del manufatto. Il ricorso a sistemi di colorazioni mediante vernici silicatiche o poliuretaniche è approvato se i test di fonoassorbimento sono effettuati sul pannello verniciato.

Le due tipologie di pigmentazione possono essere applicate indifferentemente per lo strato portante in calcestruzzo.

Qualora siano richieste unicamente proprietà fonoisolanti (esempio panello di base di barriere antirumore) il pannello sarà realizzato in unico strato in cls armato.

36.2.5.1 Strato in cls armato

I pannelli che costituiscono la barriera saranno realizzati con calcestruzzo durevole avente requisiti di resistenza e porosità adeguati al tipo di protezione antifonica richiesta; in ogni caso la resistenza a compressione, secondo UNI EN 12390-3 non dovrà essere inferiore a 40 N/mm² e lo spessore del pannello non inferiore a 8 cm per ottenere uno spessore adeguato del copriferro.

I materiali utilizzati nel confezionamento del calcestruzzo devono essere marcati CE, secondo il regolamento (UE) 305/2011 e Dlgs 106/2017, e devono soddisfare le norme richiamate dalla UNI EN 206.

Il cemento sarà di tipo Portland o pozzolanico conformi alla UNI EN 197-1. L'acqua d'impasto deve essere conforme alla norma UNI EN 1008. Gli additivi devono essere conformi alla norma UNI EN 934-2.

Gli aggregati devono essere conformi alle UNI EN 12620 e UNI 8520. In particolare, dovranno avere assorbimento inferiore al 2,5% e, per applicazioni in ambienti gelivi (classe di esposizione XF), inferiore all'1%. È possibile l'utilizzo degli aggregati di riciclo in conformità alla norma UNI 11104.

Il coefficiente di permeabilità,secondo UNI EN 12390-8,ottenuto con prova a carico costante alla pressione di 1400 kPa su provini di 100 mm di diametro oppure preliminarmente ai getti su provini cubici aventi lo spigolo di 150 mm, dovrà essere $K < 10^{-10}$ cm s-1.

Le superfici di cemento o calcestruzzo dovranno essere protette con additivi idrofobizzanti inseriti in fase di confezionamento.

L'armatura sarà in reti elettrosaldate e/o barre d'acciaio ad aderenza migliorata del tipo B450C o B450A come da D.M. 17/01/2018.

Gli elementi che costituiscono la barriera saranno realizzati da una parte portante in calcestruzzo con i seguenti requisiti:

- spessore pannello: □5 cm
- rapporto acqua/cemento: <0,45
- slump: > 16 cm
- acqua essudata :<0,1%
- tipo di cemento: pozzolanico o altoforno
- contenuto in cemento :<450 Kg/m3
- classe minima Rck >= 40 N/mm2
- contenuto minimo di cemento in funzione del diametro massimo dell'aggregato:

Diametro (mm)	30	20	10
Cemento (kg/m^3)	380	400	450

A discrezione della Direzione Lavori potrà essere richiesta la prova del coefficiente di permeabilità ottenuto con prova a carico costante alla pressione di 1.400 kPa su provini di 100 mm di diametro oppure, preliminarmente ai getti, su provini cubici di spigolo di 150 mm: il valore minimo ammissibile è di 10-10 cm/s.

Le componenti in cemento o calcestruzzo dovranno essere additivate di soluzioni idrorepellenti o, in alternativa, trattate in superficie con soluzioni a base di silani, in modo che ne sia comunque garantita la impermeabilizzazione; tutti i trattamenti devono assicurare adeguate caratteristiche di trasparenza, traspirazione, resistenza alle intemperie, agli UV, alle muffe ai cloruri agli alcali ed agli agenti aggressivi presenti nelle acque meteoriche.

Il trattamento non deve sviluppare fumi o gas tossici in caso di incendio e deve consentire l'applicazione di opportuni prodotti vernicianti con funzione estetica funzionale.

Il trattamento impermeabilizzante non deve compromettere la permeabilità alle onde sonore: tale caratteristica sarà verificata secondo quanto prescritto dalla norma UNI EN 1793-5.

Le proprietà fonoassorbenti (sono assicurate dallo strato in calcestruzzo di argilla espansa o pomice o fibre di legno mineralizzato al silicio). possono essere assicurate:

- da uno strato di calcestruzzo di argilla espansa o pomice o fibre di legno mineralizzato al silicio;
- da elementi modulari vibrocompressi realizzati in calcestruzzo di argilla espansa, pomice o legno mineralizzato al silicio e solidarizzati ad una struttura portante in calcestruzzo o in metallo.

Nel caso di impiego di argilla espansa quale elemento base fonoassorbente, tale strato dovrà avere le seguenti caratteristiche:

- massa volumica in mucchio (secondo la norma UNI EN 13055) compresa preferibilmente tra 350 e 600 Kg/m3, e comunque mai superiore a 1.100 Kg/m3;
- cemento di tipo pozzolanico od altoforno dosato a 180÷350 Kg/m3 di inerti;
- resistenza alla compressione dovrà essere in media di 5 N/mm2, per pannelli con argilla espansa o pomice, e 2 N/mm2 per pannelli con fibre di legno, se misurata su cubetti stagionati con lato 100 mm (norma UNI EN 12390-1);
- spessore dello strato potrà essere variabile e comunque non dovrà scendere al disotto di 4 cm;
- massa volumica non superiore a (1.200) 1.400 kg/m3 ;
- diametro massimo del granulo compreso tra 12 e 15 mm.

Nel caso di impiego di argilla espansa quale elemento fonoassorbente e congiuntamente strutturale e di alleggerimento dei manufatti prefabbricati, tale materiale dovrà presentare le seguenti caratteristiche:

- inerti leggeri costituiti da granuli in argilla espansa tipo T6 con massa volumica in mucchio compresa tra 600 e 800 Kg/m3
- massa volumica media del granulo 1 kg/l;
- diametro massimo del granulo compreso tra 12 e 15 mm;

- cemento di tipo pozzolanico od alto forno dosato a 350÷400 kg/m3 di inerti e non oltre ad evitare di intasare i pori con perdita di efficacia antirumore;

- resistenza caratteristica del calcestruzzo (Rck) maggiore od uguale a 25 N/mm2 e massa volumica non inferiore a 1200 kg/m3.

Il calcestruzzo di argilla espansa con cui vengono prodotti gli elementi vibrocompressi (blocchi o piastre) dovrà possedere una resistenza media a compressione, misurata su cubetti stagionati con lato 100 mm (norma UNI EN 12390-1), non inferiore a 5 N/mm2.

In particolare si dovrà porre cura nella realizzazione del giunto tra i pannelli, tra pannello e montante e tra il pannello e il suolo.

Eventuali dispositivi per lo smaltimento delle acque al suolo, dovranno essere realizzati impedendo che le onde sonore possano propagarsi aldilà dello schermo.

Tutte le fessure tra gli elementi in calcestruzzo saranno riempite con un sigillante che assicuri la perfetta tenuta acustica.

36.2.5.2 Strato fonoassorbente in argilla espansa o pomice

La superficie fonoassorbente del pannello è ottenuta con un getto di argilla espansa o pomice normalmente grecato per incrementare la superficie fonoassorbente attiva.

I pannelli dovranno avere apposita protezione della struttura cellulare in argilla espansa o pomice esposta agli agenti atmosferici mediante applicazione in fase di confezionamento di additivi idrofobizzanti.

La protezione della superficie deve impedire l'assorbimento delle acque meteoriche, limitando così i rischi del gelo ed impedendo la naturale formazione di vegetazione, nonché la proliferazione di microrganismi all'interno del materiale.

La protezione nei confronti degli agenti atmosferici potrà essere realizzata in tempi successivi al processo produttivo, mediante trattamenti superficiali, effettuati in stabilimento o in cantiere, con impiego di una soluzione composta di acqua e silicone spruzzata sulla superficie, oppure da una soluzione a base di silani (in quantitativi dipendenti dalla porosità del supporto), applicata sulle superfici pulite e asciutte tramite irroratori a bassa pressione. Questo tipo di applicazione, avendo effetti sul fonoassorbimento del manufatto, comporta la certificazione di questa caratteristica per il pannello verniciato.

Nel caso di realizzazione del pannello stratificato con la tecnica del fresco su fresco, le caratteristiche dell'argilla espansa sono riportate in tabella.

Metodi di prova e valori raccomandati di alcune proprietà dell'argilla espansa in granuli utilizzata in conglomerati cementizi non strutturali		
Caratteristica	Metodo di prova	Valore di riferimento
Massa volumica in mucchio dei granuli di argilla espansa	UNI EN 13055-1	350 kg/m^3 £ M_{va} £ 850 kg/m^3
Diametro massimo dei granuli di argilla espansa	UNI EN 13055-1	12 mm £ D_{max} £ 20 mm

Dosaggio del cemento (pozzolanico o Portland) per metro cubo di impasto		200 kg/m^3 £Dosaggio£ 350 kg/m^3
Massa volumica del calcestruzzo di argilla espansa		£ 1200 kg/m^3
Spessore dello strato di calcestruzzo poroso		³ 40 mm
Resistenza media a compressione del calcestruzzo di argilla espansa misurata su cubetti stagionati con lato di 100 mm	UNI EN 1345	³ 5N/mm^2

In alcune applicazioni vengono realizzati blocchi di argilla espansa vibrocompressi successivamente solidarizzati ad uno strato portante in calcestruzzo. Per questo tipo di applicazione le caratteristiche dell'argilla espansa sono riportate in tabella.

Metodi di prova e valori raccomandati di alcune proprietà degli elementi vibrocompressi fonoassorbenti in calcestruzzo di argilla espansa da solidarizzare ad una struttura portante		
Caratteristica	Metodo di prova	Valore di riferimento
Massa volumica in mucchio dei granuli di argilla espansa	UNI EN 13055-1	500 kg/m^3 £M_{va} £ 800 kg/m^3
Diametro massimo dei granuli di argilla espansa	UNI EN 13055-1	£ 20 mm
Dosaggio del cemento (pozzolanico o Portland) per metro cubo di impasto.		³ 200 kg/m^2
Massa volumica del calcestruzzo di argilla espansa		£ 1200 kg/m^3
Spessore dello strato di calcestruzzo poroso		³ 80 mm
Resistenza media a compressione del calcestruzzo di argilla espansa misurata su cubetti stagionati con lato di 100 mm	UNI EN 1345	³ 5N/mm^2

Alternativamente all'argilla espansa, per realizzare lo strato fonoassorbente del pannello può essere utilizzato lapillo vulcanico o pomice che deve avere le caratteristiche riportate in tabella.

Metodi di prova e valori raccomandati di alcune proprietà dell'inerte naturale di pomice in conglomerati cementizi non strutturali.		
Caratteristica	Metodo di prova	Valore di riferimento
Massa volumica in mucchio dell'inerte naturale di pomice	UNI EN 13055-1	600 kg/m^3 £M_{va} £ 900 kg/m^3
Diametro massimo dei granuli	UNI EN 13055-1	£ 14 mm
Dosaggio del cemento (pozzolanico o Portland) per metro cubo di inerte		200 kg/m^3 £M_{va} £ 350 kg/m^3
Massa volumica del calcestruzzo con inerte naturale di pomice		£ 1200 kg/m^3
Spessore minimo dello strato in calcestruzzo poroso		³ 40 mm
Resistenza media a compressione del calcestruzzo poroso di argilla espansa misurata su cubetti stagionati con lato di 100 mm	UNI EN 1345	³ 5N/mm^2

36.2.6 Rivestimenti muri e gallerie

Si tratta di elementi con funzioni esclusivamente fonoassorbenti, per i cui requisiti si rimanda a quanto riportato per i materiali fonoassorbenti § 36.2.2.

36.2.6.1 Pannelli in laterizio

Il principio su cui si basa l'assorbimento di tali pannelli deriva dalla proprietà che una cavità possiede di attenuare il rumore per risonanza e dalla capacità di materiale.

La massa d'aria contenuta all'interno della cavità sotto l'effetto delle onde sonore incidenti, si pone in vibrazione ed attraverso lo smorzamento dovuto ai molteplici urti sulle pareti ne trasforma l'energia in calore.

L'assorbimento per risonanza, essendo legato alle dimensioni del foro di ingresso e della cavità, funziona per una specifica frequenza, il diagramma del coefficiente di Sabine presenterà allora una cuspide in corrispondenza della frequenza caratteristica descritta: si può quindi ottenere un elevato valore dell'assorbimento per suoni incidenti con frequenza compresa tra i 100 ed i 1.000 Hz.

La struttura portante di tali schermature è generalmente costituita da pilastri in cemento armato.

Varianti di questo tipo di pannelli si possono ottenere con blocchi di cemento anch'essi dotati di cavità risonanti.

36.2.7 Barriere integrate rumore e sicurezza

Si tratta di sistemi che svolgono contemporaneamente le funzioni di protezioni antirumore e barriere di sicurezza antisvio.

Gli elementi che svolgono le funzioni acustiche possono essere costituiti da pannelli di diverso materiale, con caratteristiche comunque conformi a quanto dettagliato nel presente articolo di capitolato speciale.

Gli elementi che svolgono le funzioni di sicurezza, operando congiuntamente agli elementi acustici, devono avere caratteristiche funzionali tali da soddisfare quanto definito nel Decreto Ministero Infrastrutture e Trasporti del 21 giugno 2004 e quanto disciplinato nell'art 37 di questo capitolato speciale.

36.2.8 Sistemi di copertura a "baffles"

Si tratta di un sistema di copertura a cielo aperto ottenuta con pannelli fonoisolanti/fonoassorbenti sospesi (baffles) sulla sede stradale così da formare una griglia in grado di attenuare l'onda acustica e garantire lo smaltimento dei fumi; integrati con altri sistemi di copertura (trasparente o cieca) consentono di gradualizzare il livello di luminosità all'interno della copertura.

I pannelli tipo baffles sono generalmente costituiti da un involucro metallico e materassino fonoassorbente/fonoisolante interno con caratteristiche rispondenti alle specifiche elencate al paragrafo 36.2.2.

Dal punto di vista prestazionale è richiesta la qualificazione acustica del sistema con l'effettuazione di un test di fonoarrobimento secondo la UNI EN 1793-1 (valori di DL_α>11 dB) e fonoisolamento secondo la norma UNI EN 1793-2 (valori di DL_R>12 dB). Il campione deve essere rappresentativo del sistema di copertura e costituito quindi da una porzione di grigliato a baffles montato nella camera di prova così come previsto dagli elaborati progettuali, rispettando cioè le quote relative agli interassi fra i pannelli.

Sono inoltre richieste le prove di prequalifica acustica sul prodotto come riportato al capitolo 35.1.1.

Considerata la modalità di impiego dei pannelli baffles, è richiesta la verifica strutturale prevista al paragrafo 36.1.2relativa ai carichi aerodinamici e statici.

Relativamente ai requisiti di sicurezza e compatibilità ambientale occorre siano prodotti i certificati di comportamento in presenza di fuoco (rif par. 36.1.3.2 e le attestazioni relative ai materiali come elencato nel paragrafo 36.1.3.6.

36.2.9 Diffrattori di sommità per barriere

Si tratta di dispositivi che installati sulla sommità delle barriere antirumore agiscono sull'onda diffratta migliorando le prestazioni globali della barriera stessa.

Sono in genere elementi lineari collegati alla struttura portante della barriera e costituiti da un guscio metallico con materassino interno fonoassorbente. In questi casi le loro caratteristiche tecniche devono essere rispondenti alle specifiche elencate al paragrafo 36.2.2.

Relativamente alle prove di tipo statico deve essere verificata la resistenza ai carichi (rif. par. 36.1.2.1).

Relativamente alla sicurezza in esercizio devono essere verificati i sistemi anticaduta ed il comportamento in presenza di fuoco (rif. par. 36.1.3.1 e 36.1.3.2).

36.2.10 Biomuri in calcestruzzo armato vibrato

I biomuri in calcestruzzo sono costituiti da una griglia spaziale tridimensionale di elementi prefabbricati in conglomerato cementizio armato vibrato, che, incastrati o comunque collegati fra di loro, realizzano un'intelaiatura avente larghe superfici aperte, atta però a contenere materiale di riempimento a matrice terrosa di modo che la struttura prefabbricata, a regime, possa restare pressoché totalmente immersa all'interno dell'inverdimento del proprio paramento frontale.

Gli elementi prefabbricati costituenti il muro devono essere modulari e vincolabili, atti a qualsivoglia configurazione planimetrica, comprese le curvilinee. Inoltre gli elementi costituenti le parti frontali esterne della barriera devono essere sagomati in modo da evitare la fuoriuscita del terreno di riempimento, garantendo nel contempo la minima presenza di calcestruzzo prefabbricato in facciata e la massima capacità di accogliere le essenze arbustive e/o erbacee.

Le strutture costituenti l'intelaiatura devono avere conformazioni e sagome tali da realizzare una struttura autostabile. Devono altresì poter essere applicate in collegamento con strutture similari utilizzate per il sostegno di terrapieni per le conformazioni a duna.

I suddetti elementi prefabbricati saranno realizzati con calcestruzzo durevole avente requisiti di resistenza e porosità adeguati al tipo di protezione antifonica richiesta; in ogni caso la resistenza a compressione, secondo UNI EN 12390-3 non dovrà essere inferiore a 40 N/mm² e lo spessore dell'elemento tale da garantire uno spessore adeguato del copriferro.

I materiali utilizzati nel confezionamento del calcestruzzo devono essere marcati CE, secondo il regolamento (UE) 305/2011 e Dlgs 106/2017, e devono soddisfare le norme richiamate dalla UNI EN 206.

Il cemento sarà di tipo Portland o pozzolanico conformi alla UNI EN 197-1. L'acqua d'impasto deve essere conforme alla norma UNI EN 1008.Gli additivi devono essere conformi alla norma UNI EN 934-2.

Gli aggregati devono essere conformi alla UNI EN 12620 e UNI 8520. In particolare dovranno avere assorbimento inferiore al 2,5% e per applicazioni in ambienti gelivi (classe di esposizione XF) inferiore all'1%. È possibile l'utilizzo degli aggregati di riciclo in conformità alla norma UNI 11104.

Il coefficiente di permeabilità,secondo UNI EN 12390-8,ottenuto con prova a carico costante alla pressione di 1400 kPa su provini di 100 mm di diametro oppure preliminarmente ai getti su provini cubici aventi lo spigolo di 150 mm, dovrà essere $K < 10^{-10}$ cm s-1.

L'armatura sarà in reti elettrosaldate e/o barre d'acciaio ad aderenza migliorata del tipo B450C o B450A come da D.M. 17/01/2018.

A richiesta del Committente gli elementi prefabbricati possono presentare colorazioni a seguito di pigmentazione dell'impasto di calcestruzzo.

La colorazione dell'impasto di cemento ed aggregati avverrà utilizzando ossidi di ferro, pigmenti insolubili in acqua, resistenti agli alcali ed aventi ottima stabilità alla luce e alle intemperie.

I contenitori andranno riempiti con materiale a matrice terrosa, con la tolleranza di una quota-parte fino ad una percentuale pari al 25% di materiale a matrice pietroso-lapidea, diametro massimo di 15 cm, a fungere da scheletro.

Detto materiale di riempimento ha la funzione di configurarsi come massa resistente nei confronti della propagazione del rumore oltre che la funzione di conferire stabilità all'opera di attenuazione dei fenomeni acustici, ma altresì soprattutto la funzione di substrato per lo sviluppo della vegetazione; deve quindi essere esente da qualsivoglia sostanza inquinante e comunque possedere caratteristiche tali da non ostacolare o addirittura impedire la buona propagazione al suo interno della radicazione delle essenze messe a dimora nello strato superficiale più ricco di terreno agrario.

L'impianto delle essenze deve essere preceduto dalla rimozione di eventuali materiali estranei quali detriti, ciottoli, radici e/o eventuali erbe infestanti.

Per assicurare la massima velocità di sviluppo delle pianticelle il paramento frontale del biomuro deve essere arricchito con la somministrazione di terreno agrario prelevato ad una profondità massima di 0.50 m, privo di pietre, tronchi, rami, radici e loro parti che possano ostacolare le lavorazioni agronomiche del terreno dopo la posa in opera, e chimicamente neutro (pH 6,5-7). La quantità di scheletro non dovrà eccedere il 5% del volume totale e la percentuale di sostanza organica non dovrà essere inferiore al 2%. L'Appaltatore, prima di effettuare il riporto del terreno agrario, altrimenti denominabile terra di coltivo, dovrà accertarne la qualità per sottoporla all'approvazione della Direzione Lavori e dovrà, se richiesto, disporre a proprie spese l'esecuzione delle analisi di laboratorio per ogni tipo di suolo. Le analisi dovranno essere eseguite, salvo quanto diversamente disposto dal presente capitolato, secondo i metodi ed i parametri normalizzati di analisi del suolo, pubblicati dalla Società Italiana della Scienza del Suolo S.I.S.S.. Detto terreno agrario dovrà essere privo di agenti patogeni e di sostanze tossiche per le piante e dovrà inoltre essere mescolato con terriccio, torba o compost di origine ligneo-cellulosica sufficientemente stabilizzato dal punto di vista microbiologico in ragione di almeno 20 litri per m^2 di superficie frontale, compresa altresì la distribuzione di concime minerale complesso a lenta cessione da spandere prima della definitiva sistemazione del terreno.

La messa a dimora delle essenze deve essere effettuata avendo cura di non danneggiare né l'apparato radicale né la parte epigea, distanziando opportunamente le pianticelle in base alle esigenze della singola specie e provvedendo alla leggera compattazione manuale del terreno in prossimità del colletto radicale.

La scelta delle specie vegetali da inserire nei Muri Cellulari inverdibili a reticolo spaziale deve essere effettuata fra le essenze erbacee e/o arbustive nelle varietà tappezzanti, ricadenti e/o rampicanti; le pianticelle dovranno essere vigorose e di buon sviluppo, provviste di buon apparato radicale, esenti da fitopatie e sintomi di carenze e da postumi di attacchi parassitari, non manifestanti segni di grandinata; dovranno inoltre soddisfare le esigenze qui di seguito elencate, contemperandole in maniera il più possibile efficace, nei casi in cui le stesse risultino contrapposte:

- adattamento al clima generale della zona
- adattamento al microclima della barriera a reticolo spaziale, caratterizzato da possibili minori apporti idrici meteorici, maggiori temperature massime giornaliere e stagionali e più elevata escursione termica;
- capacità biotecniche di ricoprimento e consolidamento;

- ottimo sviluppo radicale (per resistere alle sollecitazioni meccaniche prodotte dall'effetto aerodinamico del passaggio di veicoli ed automezzi), discreto sviluppo epigeo (necessario per coprire il più possibile la vista degli elementi strutturali), avendo cura dal lato carreggiata stradale di scegliere essenze a sviluppo esterno contenuto per salvaguardare la percorribilità del camminamento di ispezione e/o di manutenzione;
- buona possibilità di inserimento nel contesto ambientale circostante;
- appartenenza al patrimonio botanico locale, il più adatto a rispondere alle esigenze sopraesposte di adattabilità al clima della zona e di migliore effetto di inserimento nell'ambiente circostante, con possibilità di intercalare anche piante di origine diversa ma ben inseribili nel particolare contesto ambientale, per tener conto degli altri fattori elencati.

In condizioni climatiche o microclimatiche particolari o comunque laddove si ravvisa la necessità di accelerare il processo di attecchimento delle pianticelle, la barriera a reticolo spaziale potrà essere dotata di impianto irriguo a somministrazione localizzata.

L'impianto, fisso ed automatizzato, sarà alimentato dalla rete idrica pubblica e/o da pozzi specificatamente eseguiti in prossimità dell'intervento e sarà costituito da rete di distribuzione a goccia e verrà di volta in volta opportunamente dimensionato.

36.2.10.1 Biomuri in calcestruzzo armato vibrato a basso ingombro trasversale

I biomuri inverdibili in cemento armato vibrato a basso ingombro trasversale sono sistemi antirumore a parete doppia ed a limitato ingombro trasversale (dimensione trasversale nel punto di massimo ingombro minore di 1 m) costituiti da doppia facciata inverdibile, oppure da una sola facciata inverdibile con la facciata opposta realizzata con pannelli fonoassorbenti oppure semplicemente fonoisolanti, in conformità alla necessità.

Essi sono ottenuti mediante l'inserimento di elementi prefabbricati in calcestruzzo armato vibrato, tra loro variamente composti, per sovrapposizione nel senso dello sviluppo in altezza, in linea di principio su montanti di sostegno in profilato metallico. Sempre in linea di principio i montanti metallici, eventualmente sostituibili con elementi di sostegno prefabbricati in cemento armato vibrato o altro materiale, devono risultare totalmente mascherati od inglobati all'interno della struttura finita.

I suddetti elementi prefabbricati formano dei contenitori tra loro comunicanti, aventi sulla facciata e/o sulle facciate inverdibili larghe superfici aperte; al loro interno viene posto il materiale di riempimento costituito interamente da una miscela di inerti miscelati a materiale di origine vulcanica, argille speciali, concimi minerali complessi a lenta cessione ed ammendanti organici (torbe, fibre naturali, cortecce) con funzione di substrato per lo sviluppo della vegetazione le cui percentuali componenti varieranno in relazione sia alle specie vegetali impiegate sia alle condizioni microclimatiche del sito e saranno quindi oggetto, di volta in volta, di specifica definizione.

Gli elementi costituenti le pareti frontali inverdibili della barriera acustica sono sagomati in modo da impedire la fuoriuscita del materiale di riempimento per dilavamento, senza impiego di alcun mezzo di ritenzione aggiuntivo (geosintetici), garantendo nel contempo la minor superficie possibile di calcestruzzo in vista.

Per determinare le caratteristiche costruttive delle singole parti componenti i biomuri inverdibili a basso ingombro trasversale, si fa riferimento alle specifiche tecniche di competenza ed in particolar

modo a quelle relative ai pannelli fonoisolanti e fonoassorbenti in c.a., agli elementi prefabbricati in c.a per realizzazione di biomuri, ed alle essenze per l'inverdimento.

Questo particolare tipo di barriera acustica, vista la esigua quantità di substrato all'inverdimento legata alle limitate dimensioni di ingombro trasversale deve sempre essere dotata di impianto irriguo a somministrazione localizzata.

L'impianto, fisso ed automatizzato, sarà alimentato dalla rete idrica pubblica e/o da pozzi specificatamente eseguiti in prossimità dell'intervento e sarà costituito da rete di distribuzione a goccia e verrà di volta in volta opportunamente dimensionato.

36.2.11 Pannelli realizzati con altri materiali

Ove vengano adottati pannelli realizzati con materiali diversi da quelli indicati o integrati con sistemi innovativi di attenuazione del rumore, dovranno essere fornite tutte le caratteristiche necessarie per il controllo qualitativo dei materiali ai fini acustici, strutturali, di sicurezza, durabilità e di corretto inserimento paesaggistico/ambientale, nonché la casistica delle situazioni similari in cui sono stati applicati, corredata delle certificazione degli Enti appaltanti.

Detti prodotti devono comunque essere sottoposti alla preventiva approvazione del Committente.

36.2.12 Carpenteria metallica portante

I sistemi antirumore sono soggetti a collaudo statico e pertanto agli elementi di carpenteria metallica eventualmente costituenti la barriera si applicano i contenuti di cui all'articolo 25 di questo capitolato mentre gli elaborati progettuali definiscono ed individuano compiutamente le caratteristiche meccaniche, geometriche, chimiche e fisiche e i tipi di profilati da impiegare.

Per la protezione contro la corrosione degli elementi di carpenteria metallica di cui al presente articolo si applicano i contenuti di cui all'articolo 25bis di questo capitolato.

36.2.13 Accessori

I sigillanti e le guarnizioni devono garantire nel tempo l'ermeticità acustica e deve quindi resistere all'invecchiamento da agenti naturali (raggi UV, variazioni di temperatura, ecc.).

Il fornitore dovrà specificare preventivamente le caratteristiche tecniche dei materiali utilizzati per i sigillanti e le guarnizioni specie per quanto riguarda la qualità dell'elemento elastico e la sua resistenza all'invecchiamento.

36.2.14 Particolarità costruttive della barriera

La geometria della barriera indicata negli elaborati grafici dovrà essere rigorosamente rispettata in fase di esecuzione. Qualora si rendano necessari adattamenti del profilo, si richiede la preventiva approvazione del progettista.

I materiali costituenti le barriere devono essere forniti nei colori previsti a Progetto, scelti per una corretta integrazione dell'opera con l'ambiente circostante.

Tutta la barriera deve essere costruita in modo da evitare in ogni punto il ristagno dell'acqua. In particolare per i pannelli composti l'acqua deve fuoriuscire facilmente dai singoli pannelli e non ristagnare sia fra pannello e pannello sia tra pannello inferiore della parete e superficie di appoggio.

Le soluzioni costruttive devono consentire la rimozione della barriera senza che occorra la demolizione della relativa fondazione. I getti di bloccaggio dovranno essere effettuati con idonee malte cementizie di tipo reoplastico.

Dovranno essere previsti dispositivi atti a impedire l'asportazione dei pannelli.

Qualora previsto a Progetto tutte le componenti metalliche della barriera devono essere rese equipotenziali e collegate all'impianto di messa a terra elettrico.

Per le modalità di messa a terra e per il dimensionamento elettrico dell'impianto si dovrà fare riferimento alla Norma CEI 9.6 vigente.

36.2.15 Protezione ambientale

Ai fini della protezione dell'uomo e dell'ambiente, per tutti i materiali utilizzati per la realizzazione delle barriere antirumore, si applicano le prescrizioni di cui alla Norma UNI EN 1794-2, allegato B.

Per i materiali dovranno essere fornite anche le schede dei dati di sicurezza secondo il D.Lgs 16/07/1998, n. 285.

In ogni caso non è ammesso l'uso di materiali per la cui produzione occorrano sostanze previste dagli elenchi riportati dal Decreto Ministero della Sanità del 29/07/1994.

36.2.16 Conformità di produzione

L'appaltatore deve essere in possesso della certificazione del sistema di gestione della qualità secondo UNI EN ISO 9001[13].

Per le costruzioni saldate il Costruttore deve essere in possesso della certificazione ai sensi della Norma UNI EN ISO 3834 nelle parti corrispondenti alla entità e difficoltà dell'appalto.

Tutti i materiali devono pervenire in cantiere provvisti di certificazione di provenienza, effettuata dal fornitore, completa di manuale della qualità attestante le procedure messe in atto per garantire la conformità di produzione.

In particolare, devono essere esplicitate le procedure attraverso cui si garantiscono le caratteristiche acustiche e non acustiche dei prodotti, come riportate nel § 36.1.2 sia per quanto riguarda l'approvvigionamento delle materie prime, la selezione dei fornitori, le fasi di lavorazione (capacità di processo), le prove di laboratorio ed il trattamento delle non-conformità.

Al fine di definire comuni criteri di controllo validi per tutti i Fornitori, il Committente può predisporre visite valutative presso le unità produttive del Fornitore: tali visite potranno essere svolte sia in fase di preselezione che di fornitura dei materiali, e, nel caso di gravi inadempienze, potranno dar luogo sia a prescrizioni vincolanti che alla sospensione della fornitura.

[13] Sostituisce la norma UNI EN ISO 9001;

36.2.17 Resistenza al fuoco

Tutte le barriere devono garantire un grado di resistenza al fuoco, secondo il D.M. 9.03.2007, il D.M. 09.05.2007.

L'esigenza minima dovrà essere il rispetto della classe REI 30.

Nei casi in cui le barriere acustiche siano ad una distanza inferiore a 10 m da edifici od oggetti dove esiste pericolo d'incendio, esse devono essere costituite da materiale non infiammabile (classe A, secondo DIN 2102).

Per barriere acustiche costituite da elementi difficilmente infiammabili, ma tuttavia combustibili, sarà necessario impiegare montanti non combustibili in grado di agire da sbarramento antincendio tra i pannelli stessi; dopo un tratto di 30 m di pannelli non infiammabili per almeno 6 m di lunghezza.

In caso di incendio i materiali non devono produrre gas tossici.

36.2.18 Colorazioni

Su richiesta, i pannelli dovranno essere verniciati secondo uno dei colori della gamma RAL e NCS previsti in progetto.

La tonalità di colore dovrà variare il meno possibile, ma in nessun caso in modo vistosamente irregolare (non sono ammesse formazione di macchie).

Solo dietro consenso da parte della Direzione Lavori, saranno ammesse barriere con variazioni cromatiche rispetto a quelle sopra riportate.

Durante il periodo di garanzia sono accettabili variazioni di colore non superiori a due unità della scala dei grigi per pannelli adiacenti e variazioni di colore non superiori a 3 unità della scala del grigi per la barriera nel suo insieme.

36.2.19 Tenuta acustica

La costruzione delle barriere deve essere tale da evitare assolutamente che, anche dopo scadenza del periodo di garanzia, si producano punti non a tenuta dovuti all'azione di agenti atmosferici, ad alterazione di materiali, a deformazioni, ecc..

Per garantire la durata dell'ermeticità tra pannello e pannelli è prescritto un accoppiamento sigillante a tenuta acustica da descrivere negli elaborati di progetto.

36.2.20 Resistenza agli agenti atmosferici

Tutta la barriera deve essere costruita in modo da evitare in ogni punto il ristagno dell'acqua.

In particolare, per i pannelli compositi l'acqua deve fuoriuscire facilmente dai singoli pannelli (fori sul fondo) e non ristagnare sia fra pannello e pannello, sia fra pannello inferiore della barriera e superficie di appoggio.

Elementi provvisti di fori in sommità devono essere chiusi con profili dl copertura, questi ultimi devono essere fissati sui montanti con possibilità di dilatarsi a causa delle variazioni di temperatura.

36.2.21 Sistemi di fissaggio per prevenire l'asportazione dei pannelli

Nei casi in cui l'installazione delle protezioni consenta un facile accesso alla parte retrostante della barriera, deve essere predisposto un sistema/metodo per impedire l'asportazione dei pannelli; il progetto di tale sistema/metodo deve essere preventivamente sottoposto all'approvazione della D.L..

36.2.22 Sistemi antigraffiti

Nei casi in cui l'installazione delle protezioni consenta un facile accesso alla barriera, devono essere predisposti dei sistemi/prodotti in grado di ridurre/minimizzare atti vandalici, in particolare l'imbrattamento delle pareti mediante graffiti.

36.2.23 Montaggio

Il montaggio in opera di tutte le strutture costituenti ciascun manufatto sarà effettuato in conformità a quanto è previsto nella relazione di calcolo e negli elaborati progettuali.

Durante il carico, il trasporto, lo scarico, il deposito e il montaggio, si dovrà porre la massima cura per evitare che le strutture vengano deformate o sovrasollecitate.

Le parti a contatto con funi, catene od altri organi di sollevamento saranno opportunamente protette.

Il montaggio sarà eseguito in modo che la struttura raggiunga la configurazione geometrica di progetto.

In particolare, per quanto riguarda le strutture a travata, si dovrà controllare che la controfreccia ed il posizionamento sugli apparecchi di appoggio siano conformi alle indicazioni di progetto, rispettando le tolleranze previste.

La stabilità delle strutture dovrà essere assicurata durante tutte le fasi costruttive e la rimozione dei collegamenti provvisori e di altri dispositivi ausiliari dovrà essere fatta solo quando essi risulteranno staticamente superflui.

Nei collegamenti con bulloni si dovrà procedere alla alesatura di quei fori che non risultino centrali e nei quali i bulloni previsti in progetto non entrino liberamente.

Se il diametro del foro alesato risulta superiore al diametro nominale del bullone oltre la tolleranza prevista dal D.M. 14 febbraio 1992 sopraccitato, si dovrà procedere alla sostituzione del bullone con uno di diametro superiore.

Nei collegamenti ad attrito con bulloni ad alta resistenza è prescritta l'esecuzione della sabbiatura a metallo bianco non più di due ore prima dell'unione.

È ammesso il serraggio dei bulloni con chiave pneumatica purché questo venga controllato con chiave dinamometrica, la cui taratura dovrà risultare da certificato rilasciato da Laboratorio ufficiale in data non anteriore ad un mese.

Per ogni unione con bulloni, l'Appaltatore effettuerà, alla presenza della Direzione Lavori, un controllo di serraggio su un numero di bulloni pari al 10% del totale ed in ogni caso su non meno di quattro.

Dopo il completamento della struttura e prima dell'esecuzione della prova di carico, l'Appaltatore dovrà effettuare la ripresa della coppia di serraggio di tutti i bulloni costituenti le unioni, dandone preventiva comunicazione alla Direzione del Lavori.

L'assemblaggio ed il montaggio in opera delle strutture dovrà essere effettuato senza che venga interrotto il traffico di cantiere sulla sede stradale salvo brevi interruzioni durante le operazioni di sollevamento, da concordare con la Direzione Lavori.

Nella progettazione e nell'impiego delle attrezzature di montaggio, l'Appaltatore è tenuto a rispettare le norme, le prescrizioni ed i vincoli che eventualmente venissero imposti da Enti, Uffici e persone responsabili riguardo alla zona interessata e in particolare:

- per l'ingombro degli alvei dei corsi d'acqua;
- per le sagome da lasciare libere nei sovrappassi o sottopassi di strade, autostrade, ferrovie, tramvie, ecc.;
- per le interferenze con servizi di soprasuolo e di sottosuolo.

La geometria è indicata negli elaborati grafici di progetto e va assolutamente rispettata.

Salvo eventuali modifiche, da sottoporre all'approvazione, i montanti vanno messi in opera ortogonalmente rispetto alla livelletta fino a che questa non superi la pendenza del 3%.

Per pendenze superiori è ammesso il montaggio scalettato con passo da stabilire di volta in volta.

In questo caso la distanza da terra del bordo superiore del pannelli deve essere ovunque non inferiore a quella ottimale prevista ai fini della fonoassorbenza.

Per quanto possibile ogni interruzione della barriera deve essere protetta da uno schermo opportunamente arretrato e di lunghezza pari almeno all'interruzione più due volte la distanza tra la barriera principale e barriera arretrata.

Sui viadotti, ponti o altri luoghi, o per revisione di progetto, o su richiesta, può essere previsto che una o più file inferiori di pannelli non siano fonoassorbenti per un'altezza di circa 1 m, conservando però le loro proprietà fonoisolanti.

Per il resto (aspetto esterno, protezione anticorrosiva, ecc.) essi devono corrispondere il più possibile ai pannelli superiori.

Tale fascia inferiore potrà essere costituita da muretti, parapetti o simili.

I collegamenti ai manufatti, alle porte di emergenza, i giunti di dilatazione, ecc. dovranno essere realizzati, mediante dispositivi a tenuta acustica, a regola d'arte.

Anche fra i montanti ed i pannelli devono essere previste guarnizioni acusticamente ermetiche.

Allo scopo di evitare la propagazione delle onde sonore dovute all'irregolarità delle superfici in calcestruzzo, tra i pannelli e le lastre prefabbricate (e rispettivamente tra i pannelli e le fondazioni in calcestruzzo) deve essere previsto un elemento sigillante.

Laddove, sui ponti, viadotti, ecc., anche a causa della presenza delle piastre ai piedi dei montanti, si crea un interstizio tra pannelli e cordolo, il fornitore deve proporre un dispositivo acusticamente ermetico che non causi però il ristagno di acqua tra calcestruzzo e pannelli.

Per ragioni di sicurezza, tutti i materiali utilizzati devono essere difficilmente infiammabili in modo da escludere ogni pericolo d'incendio.

Nei casi in cui le barriere acustiche siano ad una distanza inferiore a 10 m da edifici od oggetti dove esiste pericolo d'incendio, esse devono essere costituite da materiale non infiammabile (classe A, secondo DIN 2102).

Per barriere acustiche costituite da elementi difficilmente infiammabili, ma tuttavia combustibili, sarà necessario impiegare montanti non combustibili in grado di agire da sbarramento antincendio tra i pannelli stessi.

In caso di incendio i materiali non devono produrre gas tossici.

Su richiesta, i pannelli devono essere verniciati secondo uno dei colori della gamma RAL; in mancanza di indicazioni il colore standard sarà il RAL 6021.

La tonalità di colore deve variare il meno possibile, ma in nessun caso in modo vistosamente irregolare (non sono ammesse formazione di macchie).

Solo dietro consenso da parte della Direzione Lavori, sono ammesse barriere con variazioni cromatiche rispetto a quelle sopra riportate.

Durante il periodo di garanzia sono accettabili variazioni di colore non superiori a due unità della scala dei grigi per pannelli adiacenti e variazioni di colore non superiori a 3 unità della scala del grigi per la barriera nel suo insieme.

La costruzione delle barriere deve essere tale da evitare assolutamente che, anche dopo scadenza del periodo di garanzia, si producano punti non a tenuta dovuti all'azione di agenti atmosferici, ad alterazione di materiali, a deformazioni, ecc..

Per garantire la durata dell'ermeticità tra pannello e pannello è prescritto un accoppiamento sigillante a tenuta acustica da descrivere negli elaborati del progetto costruttivo predisposto dal Fornitore.

Tutta la barriera deve essere costruita in modo da evitare in ogni punto il ristagno dell'acqua.

In particolare, per i pannelli compositi l'acqua deve fuoriuscire facilmente dai singoli pannelli (fori sul fondo) e non ristagnare fra i singoli pannelli o fra il pannello inferiore e superficie di appoggio.

Elementi provvisti di fori in sommità devono essere chiusi con profili dl copertura, questi ultimi devono essere fissati sui montanti con possibilità di dilatarsi a causa delle variazioni di temperatura.

Per tutti i pannelli disposti su opere d'arte (ponti, viadotti, sovrappassi), costituenti coperture della carreggiata stradale (sia sistemi baffles che coperture totali) o per i pannelli posti a distanza da edifici abitativi inferiore a 10 m, deve essere predisposto un sistema di ritenuta/aggancio che impedisca il distacco/caduta dalle strutture portanti (tale prescrizione vale anche nel caso di pannelli di classe C3 o C6 testati secondo la procedura di cui alla UNI EN 1794-2, appendice A.

In tutte le fasi esecutive, comprese le fasi di preparazione e di sistemazione finale delle aree, per gli aspetti e le problematiche relative a temi ambientali, quali impatti acustici e vibrazionali, emissioni in atmosfera, impatto sulle acque superficiali, sotterranee e sul suolo, impatti sulla componente fauna e vegetazione, si rimanda integralmente a quanto prescritto dalla Normativa Nazionale e Regionale vigente, alle prescrizioni degli Enti preposti alla tutela ambientale, nonché alle condizioni ambientali contenute nelle autorizzazioni ed alle disposizioni del Capitolato Ambientale allegato al progetto esecutivo.

36.2.24 Porta di servizio

Le porte di servizio, ove necessarie e/o richieste nel Progetto, devono essere apribili verso l'esterno rispetto alla sede stradale, in genere, con gli stessi elementi acustici costituenti il sistema antirumore.

In corrispondenza di tali porte devono essere previste scale di servizio in conformità alle norme di sicurezza vigenti.

Le porte di servizio devono essere adeguatamente segnalate (vedere la Norma UNI EN 1794-2).

Le porte di servizio devono avere dispositivi di apertura:

- azionabili dall'esterno con l'uso di chiavi (preferibilmente una chiave unica per ogni tratto omogeneo del sistema antirumore);
- azionabili dall'interno con maniglione di tipo "antipanico" senza richiedere l'uso di chiavi.

Ove ne sia previsto l'impiego, la progettazione di dette porte di servizio e la loro dislocazione lungo l'opera, deve essere preventivamente approvata dal committente.

Per le porte di servizio è richiesto un indice di valutazione del potere fonoisolante in conformità alla Norma UNI EN 1793-2 (DL_R), calcolato utilizzando lo spettro normalizzato di rumore per la tipologia di veicoli transitanti sull'infrastruttura di trasporto, che ricada nella medesima categoria di quello degli elementi acustici impiegati.

36.2.25 Cancello antirumore, scorrevole motorizzato

Quando previsto in progetto, per la chiusura di varchi di accesso sarà prevista la posa in opera di cancello scorrevole composto da elementi strutturali metallici:

- in acciaio in profilati del tipo HE/IPE con caratteristiche meccaniche non minori di quelle del tipo S235JR in conformità alla Norma UNI EN 10025 e zincati a caldo, in conformità alla Norma UNI EN ISO 1461, per uno spessore non minore di 85 µm previo ciclo di sabbiatura SA 2,5 oppure trattamento di decapaggio chimico.

Inoltre, è richiesto un ulteriore trattamento della superficie, subito dopo la zincatura, consistente in mano di fondo e verniciatura.

Tali trattamenti dovranno essere effettuati secondo quanto stabilito dalla norma UNI 11160;

oppure:

- in acciaio Cor-Ten con caratteristiche e prestazioni secondo quanto previsto all'art. 25 di questo capitolato speciale d'appalto;

secondo le indicazioni di progetto.

Il montante verrà fissato al cordolo in calcestruzzo per mezzo di piastre di base che devono essere realizzate con acciaio con caratteristiche meccaniche non minori di quelle del tipo S235JR in conformità alla Norma UNI EN 10025, e tirafondi annegati nei getti di fondazione.

Lo spessore minimo locale della protezione, compreso lo spessore della zincatura, deve essere almeno di 200 µm in modo da realizzare una superficie esente da pori.

Le caratteristiche prestazionali acustiche e non acustiche devono rispettare il Capitolato Speciale di Appalto nonché le Norme tecniche di Prodotto e le Linee Guida redatte dall'ANAS.

Il pannello è così composto:

- I gusci in lamiera di allumino, dello spessore minimo di 1,5 mm, devono presentare almeno un lato forato, con una percentuale di vuoto su pieno compreso in un intervallo tra il 30% ed il 40%;
- Materiale fonoassorbente composto da un materassino di materiale fonoassorbente riciclabile nel rispetto della normativa vigente avente spessore minimo di 50 mm;
- Ferramenta in acciaio zincato e/o acciaio inox 304;
- Guarnizione in EPDM con durezza compresa tra 65 shores e 75 shores, per evitare eventuali passaggi di onde sonore ed aumentare la stabilità del pannello stesso all'interno del profilo HE;

La lamiera in lega di alluminio deve essere in lega Alluminio-Magnesio-Manganese (Al-Mg-Mn) del gruppo 3xxx in conformità alla UNI EN 573-1.

La verniciatura dei gusci metallici deve prevedere uno spessore maggiore di 60 µm in conformità alla UNI EN ISO 2360.

I film di vernice devono avere tutti i requisiti specificati nel prospetto 6 della UNI 11160.

Il materiale fonoassorbente deve comunque soddisfare la norma UNI 11160.

Gli elementi accessori metallici devono essere in acciaio inox o zincati a caldo (ad eccezione delle piastre di base, per le quali vale quanto indicato per gli elementi strutturali).

Quando previsto in progetto, le pannellature saranno in acciaio Cor-Ten conformi a quanto riportato all'art. 36.2.1.5 "*Pannelli in acciaio Cor-Ten*".

È altresì compresa la fornitura e posa in opera dei seguenti componenti necessari per la motorizzazione:

- Motore per automazione cancello scorrevole con centrale di comando;

Motoriduttore elettromeccanico irreversibile con ingranaggi totalmente in metallo e corpo in alluminio; sistema di fine corsa magnetico

- cremagliera zincata;
- piastra di fondazione;
- radioricevente completa di antenna;
- coppia di fotocellule ad incasso;
- lampeggiatore;
- pulsante di apertura a chiave;
- n° 2 tastiere a codice numerico antivandalo con pulsanti retroilluminati;
- n° 4 coste di sicurezza antischiacciamento altezza minima 2,00 m.

Quando previsto in progetto o richiesto dalla D.L., nell'anta del cancello scorrevole sarà realizzata una porta di servizio aventi caratteristiche e prestazioni come descritte all'art. 36.2.24 "*Porta di servizio*".

36.3 Collaudo acustico della barriera antirumore

Il collaudo dei sistemi antirumore viene effettuato, a carico della Stazione Appaltante, per verificare la rispondenza alle previsioni progettuali tramite:

a) un collaudo tecnico e amministrativo, attraverso la verifica puntuale tra le opere realizzate e le opere progettate e con particolare riferimento alle caratteristiche geometriche e dimensionali delle opere, alle caratteristiche strutturali, a quelle acustiche dei singoli componenti e quindi del sistema (caratteristiche acustiche intrinseche, da effettuare in via preliminare subito dopo il completamento dell'installazione delle prime barriere e da ripetere su valutazione della D.L su altre barriere);

b) alla verifica dell'avvenuta mitigazione acustica al ricettore (caratteristiche acustiche estrinseche da effettuare entro 180 giorni dalla fine dei lavori) la verifica al ricettore sarà effettuato solo nel caso di nuove installazioni o di potenziamenti di installazioni pre-esistenti.

La non conformità di una o più delle verifiche di cui al punto a) precedente non consente l'esecuzione

delle verifiche di cui al punto b) come previste dal progetto e, non rendendo collaudabile e liquidabile il lavoro.

La non conformità delle verifiche di cui al punto b), fatte salve le positive verifiche di cui al punto a), non hanno effetto sulla collaudabilità dell'opera e sulla relativa liquidazione.

Collaudo delle caratteristiche acustiche intrinseche:

Chi esegue il collaudo acustico deve controllare la documentazione relativa alle caratteristiche dei materiali e alle prove effettuate prima dell'installazione (prequalifica). In seguito, provvede alle verifiche delle caratteristiche acustiche intrinseche al fine di accertare l'idoneità del sistema antirumore in opera rispetto agli obiettivi progettuali. A verifiche ultimate, emette il relativo certificato di collaudo, eventualmente avvalendosi di laboratori di prova in possesso dei necessari requisiti:

1. determinazione delle caratteristiche intrinseche di riflessione del suono in esterno, tramite il reflection index secondo la UNI EN 1793-5;

2. determinazione delle caratteristiche intrinseche di isolamento acustico per via aerea in esterno, tramite sound insulation index secondo la UNI EN 1793-6.

La prova di fonoisolamento deve essere effettuata in punti della barriera individuati in accordo con la Direzione Lavori, con particolare attenzione alle giunzioni critiche tra elementi acustici di diversa tipologia impiegati nella barriera o tra elementi acustici ed elementi strutturali. Tale verifica dovrebbe essere eseguita già nelle fasi iniziali del cantiere per prevenire e correggere eventuali errori di installazione.

Per la valutazione dei risultati il collaudatore deve fare esplicito riferimento ai valori minimi richiesti dalla tabella di cui al paragrafo (par.36.1.2) o a quanto previsto dal Progetto Esecutivo. È ammessa una tolleranza di 1dB rispetto ai valori ottenuti in fase di prequalifica in campo prova con campo sonoro diretto (UNI 1793-5 e 1793-6).

A fini di collaudo i rilievi devono essere eseguiti in ragione di almeno un punto ogni 2.000 metri lineari di barriera con caratteristiche omogene (qualora possibile prevedendo almeno una verifica per ogni barriera), o in corrispondenza delle principali tipologie di barriere previste nel progetto esecutivo (percentuali di fonoassorbente e trasparente), e considerando sempre, se presenti, collaudi per le barriere integrate, disaccoppiate e le coperture acustiche. Il punto di collaudo potrà essere individuato in accordo con la D.L.

Collaudo delle caratteristiche acustiche estrinseche:

Il collaudo delle caratteristiche acustiche estrinseche è eseguito e firmato da un tecnico competente in acustica (TCA) iscritto all'elenco istituito presso il Ministero dell'Ambiente (ENTECA). Chi collauda, dopo aver controllato la documentazione relativa alla progettazione acustica, provvede alla verifica del rispetto dei limiti di legge assunti a riferimento nella progettazione, seguendo la metodologia di prova descritta nella legislazione vigente utilizzando preliminarmente i punti di monitoraggio Ante operam o di maggiore esposizione dei ricettori mitigati.

Le verifiche al ricettore saranno effettuate solo nel caso di nuove installazioni o di potenziamenti di installazioni pre-esistenti.

Quando previsto da progetto viene effettuata la verifica della perdita per inserzione del sistema antirumore, ovvero della sua efficacia acustica in relazione agli obiettivi progettuali. Tale valutazione è eseguita in conformità alla UNI 11022 con l'emissione, a verifica ultimata, del relativo certificato di collaudo, eventualmente avvalendosi di istituti di ricerca e/o laboratori di prova in possesso dei requisiti necessari.

Per la posizione ed il numero dei punti di verifica si deve far riferimento agli elaborati progettuali.

Collaudo delle caratteristiche non acustiche:

Relativamente alle caratteristiche strutturali, chi collauda deve essere un professionista abilitato a firmare relazioni di calcolo strutturale.

Chi collauda, dopo aver verificato la documentazione relativa alla progettazione, e in particolare le relazioni di calcolo strutturale obbligatorie ai sensi di legge, provvede al rilascio del relativo certificato di collaudo.

Art.37. Barriere di sicurezza

37.1 Prescrizioni generali

I progetti e le installazioni di barriere di sicurezza, d'attenuatori d'urto e di altri dispositivi di ritenuta stradali devono attenersi alle istruzioni riportate nel Decreto Ministeriale dei Lavori Pubblici n. 223 del 18 febbraio 1992 in materia di "progettazione omologazione ed impiego" e dalle successive integrazioni e modificazioni fino al vigente D.M. n°2367 del 21.6.2004.

L'Appaltatore dovrà utilizzare:

1. barriere di sicurezza ed attenuatori d'urto marcati CE secondo norma UNI EN 1317-5 e Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 28/06/2011.
   Questi dispositivi di sicurezza devono essere dotati di *"Dichiarazione di Prestazione"* (DoP) ai sensi del Regolamento UE n.305/2011 e s.m.i.;
2. altri generi di dispositivi di sicurezza, contemplati dalla regolamentazione nazionale di settore e specificati nei paragrafi che seguono, non assoggetti a marcatura CE secondo norma UNI EN 1317-5.
   Questi dispositivi di sicurezza devono essere dotati di "*Dichiarazione di Conformità della Produzione"*.

Tutti i prodotti adottati dovranno essere conformi ai requisiti di progetto per prestazioni all'urto, condizioni d'impiego, funzionalità.

Nel caso in cui il Progetto Esecutivo preveda specifiche tecniche di tipo prestazionale dovrà essere fornita la documentazione di rispondenza ai requisiti di progetto, come precisato al paragrafo 37.5.1.

Nel caso in cui il Progetto Esecutivo proponga specifici dispositivi e l'Appaltatore intenda fornire dispositivi equivalenti, dovrà essere consegnata alla Direzione Lavori opportuna documentazione che consenta di riscontrare la sussistenza di tale equivalenza, come specificato al paragrafo 37.5.2.

Nel caso in cui Progetto Esecutivo preveda espressamente l'impiego di dispositivi di ritenuta stradali sviluppati dalla Committente o da suo Servizio Tecnico dovrà essere fornita la documentazione tecnica richiamata al paragrafo 37.5.3.

37.2 Normativa di riferimento

Dispositivi di sicurezza stradali:

- D.lgs n.285 30.04.92 e s.m.i. – "Codice della strada"
- DM Lavori Pubblici n. 223 del 18 febbraio 1992 "Regolamento recante istruzioni tecniche per la progettazione, l'omologazione e l'impiego delle barriere di sicurezza".
- D.M. 5 novembre 2001, n.6792 – "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade".
- DM Infrastrutture e Trasporti n.2367 del 21/06/2004 "Aggiornamento delle istruzioni tecniche per la progettazione l'omologazione e l'impiego dei dispositivi di sicurezza stradali".
- Direttiva del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 3065 del 25.08.2004 - "Direttiva sui criteri di progettazione, installazione, verifica e manutenzione dei dispositivi di ritenuta nelle costruzioni stradali".

- Circolare Ministero dei Trasporti del 15.11.2007 - "Scadenza della validità delle omologazioni delle barriere di sicurezza rilasciate ai sensi delle norme antecedenti il D.M. 21.06.2004".Circolare Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 21.07.2010 - "Uniforme applicazione delle norme in materia di progettazione, omologazione e impiego dei dispositivi di ritenuta nelle costruzioni stradali".
- DM Infrastrutture e Trasporti del 28/06/2011 "Disposizioni sull'uso e l'installazione dei dispositivi di ritenuta stradale".
- DM Infrastrutture e Trasporti del 17/01/2018 Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni" – NTC2018.
- DM 01.04.2019 (GU Serie Generale n.114 del 17-05-2019) - "Dispositivi stradali di sicurezza per i motociclisti (DSM)".
- D. Lg.vo 31/03/2023, n. 36 (Nuovo codice Appalti), Allegato II.12 articolo 18 comma 22 e Allegato II.14 articolo 15, lettera p.
- UNI EN 1317-1 "Sistemi di ritenuta stradali - Parte 1: Terminologia e criteri generali per i metodi di prova"
- UNI EN 1317-2 "Sistemi di ritenuta stradali - Parte 2: Classi di prestazione, criteri di accettazione delle prove d'urto e metodi di prova per le barriere di sicurezza inclusi i parapetti veicolari.
- UNI EN 1317-3 "Sistemi di ritenuta stradali - Parte 3: Classi di prestazione, criteri di accettabilità basati sulla prova di impatto e metodi di prova per attenuatori d'urto"
- UNI ENV 1317-4 "Barriere di sicurezza stradali - Classi di prestazione, criteri di accettazione per la prova d'urto e metodi di prova per terminali e transizioni delle barriere di sicurezza"
- UNI EN 1317-5 "Barriere di sicurezza stradali – Parte 5: Requisiti di prodotto e valutazione di conformità per sistemi di trattenimento veicoli".
- UNI CEN/TS 1317-7: "Sistemi di ritenuta stradali - Parte 7: Caratterizzazione delle prestazioni e metodi di prova per terminali delle barriere di sicurezza".
- UNI CEN/TS 1317-9: "Sistemi di ritenuta stradali - Parte 9: Prove d'urto e metodi di prova per le sezioni rimovibili della barriera".
- UNI CEN/TR 1317-10: "Road restraint systems - Part 10: Assessment methods and design guidelines for transitions, terminal and crash cushion connection – transitions.
- UNI CEN/TS 17342: "Sistemi di ritenuta stradale - Sistemi di ritenuta stradale per motociclisti in grado di ridurre la severità dell'urto del motociclista in caso di collisione con le barriere di sicurezza".
- UNI EN 16303: «Sistemi di ritenuta stradali – Processo di validazione e verifica per l'impiego di prove virtuali nelle prove d'urto sul sistema di ritenuta stradale»
- UNI/TR 11785 "Documento tecnico di supporto per la redazione del manuale per l'utilizzo e l'installazione dei dispositivi di ritenuta stradali su rilevato".
- ANSFISA, nota U0001418/09.11.25: "Obblighi di cui all'art. 79, c. 17, del DPR n. 207/2010, all'art. 18, c. 22, dell'Allegato II.12 al D.lgs n. 36/2023 e all'art. 15, c. 1, lett. p), dell'Allegato

II.14 al medesimo decreto. Procedure per l'emissione del "Certificato di corretto montaggio e di corretta installazione" delle barriere stradali di sicurezza (categoria OS12-A)"

- Consiglio Superiore Lavori Pubblici nota U0000143/08-01-2025: "Obblighi di cui all'art. 79, c. 17, del d.P.R. n. 207/2010, all'art. 18, c. 22, dell'Allegato II.12 al d. lgs n. 36/2023 e all'art. 15, c. 1, lett. p), dell'Allegato II.14 al medesimo decreto. Procedure per l'emissione del "Certificato di corretto montaggio e di corretta installazione" delle barriere stradali di sicurezza (categoria OS 12-A)".
- Regolamento UE n.305/2011: "che fissa condizioni armonizzate per la commercializzazione dei prodotti da costruzione e che abroga la direttiva 89/106/CEE del Consiglio"
- Regolamento n.3110/2024 "che fissa norme armonizzate per la commercializzazione dei prodotti da costruzione e abroga il regolamento UE n. 305/2011"

Acciaio:

- UNI EN 10025-1: "Prodotti laminati a caldo di acciai per impieghi strutturali - Parte 1: Condizioni tecniche generali di fornitura.
- UNI EN 10025-2 "Prodotti laminati a caldo di acciai per impieghi strutturali - Parte 2: Condizioni tecniche di fornitura di acciai non legati per impieghi strutturali".
- UNI EN 10051:2011 "Nastri laminati a caldo in continuo e lamiere/fogli tagliati da nastri larghi di acciai non legati e legati - Tolleranze sulle dimensioni e sulla forma"
- UNI EN 10058: "Barre di acciaio piane laminate a caldo per impieghi generali - Dimensioni e tolleranze sulla forma e sulle dimensioni ".
- UNI EN 10149-1 "Hot rolled flat products made of high yield strength steels for cold forming - Part 1: General technical delivery conditions"
- UNI EN 10149-2 "Prodotti piani laminati a caldo di acciai ad alto limite snervamento per formatura a freddo. Parte 2: Condizioni di fornitura degli acciai ottenuti mediante laminazione termomeccanica"
- UNI EN 10162: "Profilati di acciaio laminati a freddo - Condizioni tecniche di fornitura - Tolleranze dimensionali e sulla sezione trasversale ".
- UNI EN 10204: "Prodotti metallici - Tipi di documenti di controllo".
- UNI EN 10346: "Continuously hot-dip coated steel flat products for cold forming - Technical delivery conditions".
- UNI EN 10143: "Continuously hot-dip metal coated steel sheet and strip - Tolerances on dimensions and shape".
- UNI EN 10025-5: "Prodotti laminati a caldo di acciai per impieghi strutturali - Parte 5: Condizioni tecniche di fornitura di acciai con resistenza migliorata alla corrosione atmosferica per impieghi strutturali".
- UNI EN ISO 6892-1: "Materiali metallici - Prova di trazione - Parte 1: Metodo di prova a temperatura ambiente" (SOSTITUISCE LA UNI EN 10002-1:2004)

- UNI EN ISO 6507-1: "Materiali metallici- Prova di durezza Vickers- Parte 1: Metodo di prova"
- UNI EN ISO 6507-4: "Materiali metallici - Prova di durezza Vickers - Parte 4: Prospetto dei valori di durezza"
- UNI EN 10168: "Prodotti di acciaio - Documenti di controllo - Lista e descrizione delle informazioni"
- UNI EN 10223-4: "Fili e prodotti trafilati di acciaio per recinzioni - Recinzioni in rete elettrosaldata"
- UNI EN 22768-1: "Tolleranze generali. Tolleranze per dimensioni lineari ed angolari prive di indicazione di tolleranze specifiche"
- UNI EN 10219-1: "Profilati cavi saldati formati a freddo per impieghi strutturali di acciai non legati e a grano fine - Parte 1: Condizioni tecniche di fornitura "
- UNI EN 10219-2: "Profilati cavi saldati formati a freddo per impieghi strutturali di acciai non legati e a grano fine - Parte 2: Tolleranze, dimensioni e caratteristiche del profilo"
- UNI EN 10218-2: "Filo di acciaio e relativi prodotti - Generalità. Dimensioni e tolleranze dei fili".

Zincatura:

- UNI EN ISO 1461: "Rivestimenti di zincatura per immersione a caldo su prodotti finiti ferrosi e articoli di acciaio - Specificazioni e metodi di prova".
- UNI EN 10244-1: "Fili e prodotti trafilati di acciaio - Rivestimenti metallici non ferrosi sui fili di acciaio - Parte 1: Principi generali ".
- UNI EN 10244-2: "Fili e prodotti trafilati di acciaio - Rivestimenti metallici non ferrosi sui fili di acciaio - Parte 2: Rivestimenti di zinco o di leghe di zinco".
- UNI EN 1179: "Zinco e leghe di zinco - Zinco primario".
- UNI EN ISO 14713-1: "Rivestimenti di zinco – Linee guida e raccomandazioni per la protezione contro la corrosione di strutture di acciaio e di materiali ferrosi – Parte 1: Principi generali di progettazione e di resistenza alla corrosione".

Bulloneria:

- UNI 3740-1: "Elementi di collegamento filettati di acciaio - Prescrizioni tecniche – Generalità"
- UNI 3740-9: "Bulloneria di acciaio. Prescrizioni tecniche. Confezionamento e tolleranze di fornitura".
- UNI 3740-12: "Elementi di collegamento di acciaio - Parte 12: Prescrizioni tecniche per rivestimenti di zinco per immersione a caldo"
- UNI EN ISO 898-1: "Caratteristiche meccaniche degli elementi di collegamento di acciaio - Parte 1: Viti e viti prigioniere con classi di resistenza specificate - Filettature a passo grosso e a passo fine"

Saldature:

- UNI EN ISO 3834-1: "Requisiti di qualità per la saldatura per fusione dei materiali metallici - Parte 1: Criteri per la scelta del livello appropriato dei requisiti di qualità"
- UNI EN ISO 9606-1: Prove di qualificazione dei saldatori - Saldatura per fusione - Parte 1: Acciai.
- UNI EN ISO 14731: Coordinamento delle attività di saldatura - Compiti e responsabilità
- UNI EN ISO 14732: Personale di saldatura - Prove di qualificazione degli operatori di saldatura e dei preparatori di saldatura per la saldatura completamente meccanizzata ed automatica di materiali metallici
- UNI EN ISO 15614: Specifica e qualificazione delle procedure di saldatura per materiali metallici - Prove di qualificazione della procedura di saldatura
- UNI EN ISO 15609: Specificazione e qualificazione delle procedure di saldatura per materiali metallici - Specificazione della procedura di saldatura
- UNI EN ISO 17635: "Controllo non distruttivo delle saldature - Regole generali per i materiali metallici" (SOSTITUISCE LA UNI EN 12062:2004)
- UNI EN ISO 17636 - Prove non distruttive delle saldature - Controllo radiografico
- UNI EN ISO 10675 - Controlli non distruttivi delle saldature - Livelli di accettabilità per il controllo radiografico
- UNI EN ISO 17637 - Controllo non distruttivo delle saldature - Esame visivo dei giunti saldati per fusione
- UNI EN ISO 17638 - Controllo non distruttivo delle saldature - Controllo con particelle magnetiche
- UNI EN ISO 6520-1: Saldatura e procedimenti connessi - Classificazione delle imperfezioni geometriche nei materiali metallici - Parte 1: Saldatura per fusione
- UNI EN ISO 5817: "Saldatura - Giunti saldati per fusione di acciaio, nichel, titanio e loro leghe (esclusa la saldatura a fascio di energia) - Livelli di qualità delle imperfezioni "
- UNI EN ISO 3452 "Prove non distruttive - Esame con liquidi penetranti"
- UNI EN ISO 23277: "Controllo non distruttivo delle saldature - Controllo delle saldature mediante liquidi penetranti - Livelli di accettabilità" (SOSTITUISCE LA UNI EN 1289:2006)
- UNI EN ISO 17638: Controllo non distruttivo delle saldature - Controllo con particelle magnetiche delle saldature
- UNI EN ISO 3059: Esame con liquidi penetranti e controllo magnetoscopico
- UNI EN ISO 23278: "Controllo non distruttivo delle saldature - Controllo con particelle magnetiche delle saldature - Livelli di accettabilità" (SOSTITUISCE LA UNI EN 1291:2006)

- UNI EN ISO 23279: Prove non distruttive delle saldature - Prove a ultrasuoni - Caratterizzazione delle discontinuità nelle saldature UNI EN ISO 9712: Prove non distruttive – Qualificazione e certificazione del personale addetto alle prove non distruttive
- UNI EN ISO 17640: Controllo non distruttivo delle saldature - Controllo mediante ultrasuoni - Tecniche di controllo, livelli di prova e valutazione (SOSTITUISCE LA UNI EN 1714:2005)
- UNI EN ISO 11666: Controllo non distruttivo delle saldature - Controllo mediante ultrasuoni - Livelli di accettabilità

Calcestruzzo:

- UNI EN 12390-3 "Prova sul calcestruzzo indurito - Resistenza alla compressione dei provini"
- UNI EN 12504-1 "Prove su calcestruzzo nelle strutture – Carote –Prelievo, esame e prova di compressione"
- UNI EN 13791 "Valutazione della resistenza a compressione in sito nelle strutture e nei componenti prefabbricati di calcestruzzo"
- UNI EN 206-1 "Calcestruzzo – Parte 1: Specificazione, prestazione, produzione e conformità"
- DM Infrastrutture 17.01.2018 "Norme tecniche per le costruzioni"
- Consiglio Superiore del Lavori Pubblici – Linee guida per la messa in opera del calcestruzzo strutturale e per la valutazione delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo indurito mediante prove non distruttive.

37.3 Termini e definizioni

1. Barriera di sicurezza stradale:
    - sistema di ritenuta veicolare, continuo, installato lungo i bordi di una strada o sullo spartitraffico centrale e sui ponti a fini di contenimento del mezzo collidente e ridurre la severità dell'urto laterale. Testato secondo norme della serie UNI EN 1317 e marcabile CE.
2. Attenuatore d'urto:
    - dispositivo per l'assorbimento dell'energia d'impatto di una autovettura. Installato davanti ad un ostacolo pericoloso per ridurre la severità dell'urto frontale e laterale. Testato secondo norme della serie UNI EN 1317 e marcabile CE.
3. Dispositivo amovibile per varchi:
    - Sezione removibile di una barriera di sicurezza stradale. Testato secondo specifiche tecniche della serie UNI EN 1317.
4. Terminale speciale:
    - dispositivo per l'assorbimento di energia d'impatto di un autovettura. Installato alle estremità di un impianto di barriera, in continuità, per ridurre la severità dell'urto frontale e laterale. Testato secondo specifiche tecniche della serie UNI EN 1317.
5. Transizione:

- connessione tra due barriere di tipo e/o di prestazione diversa. Non obbligatoriamente testato.

6. Collegamento (e/o raccordo):
    - connessione di una barriera ad un terminale speciale o ad un attenuatore d'urto. Non obbligatoriamente testato.
7. Dispositivo salva motociclisti: Dispositivo espressamente ideato e provato per poter attenuare gli effetti di un urto del motociclista su barriere discontinue. Testato secondo UNI CEN/TS 17342
8. Redirettivo:
    - Profilo in calcestruzzo per applicazioni in galleria, affiancato al piedritto; di sagoma geometrica utile a ridirigere in strada i veicoli, senza ribaltamento. Non testato.
9. Soluzione per punti singolari:
    - Dispositivo espressamente progettato per limitare i danni e le conseguenze derivanti dall'impatto di un veicolo in corrispondenza di una singolarità stradale (ad es.: imbocco galleria). Non testato.
10. Terminale semplice:
    - dispositivo di delimitazione di un impianto di barriera, eventualmente anche facente funzione di ancoraggio d'estremità. Non testato.
11. Cuspide:
    - Componente elementare longitudinale calandrato di raccordo concavo collocoato a collegamento tra impianti di barriere affiancate. Non testato.
12. Prodotto o Dispositivo di Ritenuta:
    - Dispositivo di sicurezza stradale, dei tipi descritti nei precedenti punti 1-11, richiamato in modo generico
13. Prodotto certificato CE:
    - Prodotto assoggettato al Regolamento UE n.305/2011 e UE n.3110/2024, alla UNI EN 1317-5
14. Prodotto non certificato CE:
    - Prodotto non non marcato CE e non assoggettato al Regolamento UE n.305/2011 e UE n.3110/2024, alla UNI EN 1317-5
15. Componente elementare:
    - Elemento costitutivo del prodotto
16. Fabbricante/Produttore:
    - Persona fisica o società responsabile per la immissione, a suo nome, nel mercato di un prodotto nel rispetto delle regolamentazioni nazionali ed europeee in materia.
17. Sito produttivo:
    - stabilimento deputato alla produzione di un dispositivo di ritenuta.
18. Prove iniziali di tipo (ITT):
    - Prove d'urto dal vero (crash test) contemplate nelle normative di riferimento della serie EN 1317 e UNI CEN TS 17342 per verificare il soddisfacimento dei singoli prodotti ai requisiti richiamati nelle suddette normative.
19. Controllo in Fabbrica della Produzione:
    - Attività ispettiva condotta da parte terza presso presso il sito produttivo
20. Processo di zincatura per lotti:
    - Rivestimento protettivo ottenuto immergendo i singoli componenti in bagno caldo di zinco
21. Processo di zincatura in continuo:

- Rivestimento protettivo ottenuto in continuo, immergendo direttamente in bagno di zinco (o lega di zinco) caldo la lamiera costituente il coil.

22. Laboratorio accreditato:
    - Laboratorio che disponga di riconoscimento UNI EN ISO 17025, attestante le competenze per svolgere lo specifico servizio da parte di Organismo di Accreditamento, oppure, dove non espressamente prescritto l'accreditamento UNI EN ISO 17025, laboratorio riconosciuto dal Ministero Infrastrutture e Trasporti italiano per prove afferenti il genere di servizio fornito.

37.4 Requisiti di sicurezza stradale dei dispositivi di ritenuta

37.4.1 Barriere di sicurezza stradale

L'Appaltatore dovrà individuare ed utilizzare, previa autorizzazione della Direzione Lavori, barriere installabili nel rispetto della normativa vigente e marcate CE secondo UNI EN 1317-5, che possano garantire prestazioni equivalenti e in linea con i criteri definiti nel progetto.

L'Appaltatore dovrà fornire il progetto costruttivo, comprensivo di tutti i disegni e i dettagli costruttivi che dovranno essere adeguati alle caratteristiche delle barriere di cui è previsto l'effettivo utilizzo.

Le barriere devono disporre di documentazione afferente alle prove iniziali di tipo (ITT), rilasciata da laboratorio UNI EN 17025 autorizzato da Organismo di accreditamento.

Le barriere devono disporre di marcatura CE rilasciata da Organismo Notificato riconosciuto in UE ed autorizzato da Organismo di accreditamento.

I requisiti di prestazione all'urto richiesti alle barriere sono specificati nelle norme UNI EN 1317-1 e 2. I requisiti di prestazione all'urto obbligatoriamente da documentare sono:

- Classe di livello di contenimento
- Indice di severità
- Deflessione dinamica
- Larghezza operativa
- Intrusione del veicolo
- Durabilità[(14)].

Le barriere dovranno essere idonee al tipo d'impiego a cui saranno destinate (bordo laterale, spartitraffico, ponte ed opera d'arte), anche in relazione alla consistenza del supporto ed alla sua effettiva capacità di contrastare efficacemente i carichi d'impatto senza compromettere la stabilità del veicolo collidente ed il suo contenimento. In particolare, è sempre richiesto:

1. Per barriere infisse sui margini e lungo lo spartitraffico, l'Appaltatore o, meglio, il produttore selezionato dall'Appaltatore, dovrà fornire evidenza tecnica (all'interno del manuale d'installazione) delle risultanze di ITT in merito alla formazione della cerniera plastica del palo utilizzato all'interno del supporto e del lavoro (energia) svolto.
2. Per barriere infisse sui margini, l'Appaltatore o, meglio, il produttore selezionato dall'Appaltatore, dovrà fornire evidenza tecnica (all'interno del manuale d'installazione) in

[(14)] La vita media di un dispositivo deve essere dichiarata e documentata dal produttore selezionato dall'Appaltatore, specificando il tipo di trattamento protettivo impiegato, le caratteristiche tecniche dei materiali che influiscono sulla durabilità e i metodi di verifica che portano a definirne le prestazioni in ambiente esterno (specifiche richieste da capitolo 4.3 della norma UNI EN 1317-5).

merito allo spazio a tergo del palo necessario per assicurare il non ribaltamento del veicolo collidente e alla consistenza meccanica (compattazione) del suolo.

3. Per le barriere da ponte ed opera d'arte, l'Appaltatore o, meglio, il produttore selezionato dall'Appaltatore, dovrà fornire evidenza tecnica (all'interno del manuale d'installazione) delle sollecitazioni trasferite, in sede d'urto, dal palo utilizzato al supporto (momento, taglio, sforzi normali), come specificato nella norma UNI EN 1317-1 (capo 5.1). Se previsto da progetto esecutivo, le sollecitazioni dovranno essere determinate secondo protocollo di analisi proposto dal Committente o da suo Servizio Tecnico.

La richiesta di tali requisiti deve essere espressamente specificata nel progetto esecutivo.

La D.L. si riserva di approvare prodotti non in grado di:

- assicurare la continuità formale e l'uniformità funzionale degli impianti di barriere;
- garantire le normali tempistiche e modalità d'installazione e di manutenzione degli impianti di barriere.

37.4.2 Attenuatori d'urto

L'Appaltatore dovrà individuare ed utilizzare, previa autorizzazione della Direzione Lavori, attenuatori d'urto installabili secondo normativa vigente e marcati CE UNI EN 1317-5, che possano garantire prestazioni equivalenti e in linea con i criteri definiti nel progetto.

L'Appaltatore dovrà fornire il progetto costruttivo, comprensivo di tutti i disegni e i dettagli costruttivi che dovranno essere adeguati alle caratteristiche degli attenuatori d'urto di cui è previsto l'effettivo utilizzo.

Gli attenuatori devono disporre di documentazione afferente alle prove iniziali di tipo (ITT), rilasciata da laboratorio UNI EN 17025 autorizzato da Organismo di accreditamento.

Gli attenuatori devono disporre di marcatura CE rilasciata da Organismo Notificato riconosciuto in UE ed autorizzato da Organismo di accreditamento.

I requisiti di prestazione all'urto richiesti alle barriere sono specificati nelle norme UNI EN 1317-3. I requisiti di prestazione all'urto obbligatoriamente da documentare sono:

- Livello di prestazione
- Indice di severità
- Zona di rinvio
- Spostamento laterale
- Durabilità(1).

Salvo diverse specifiche e indicazioni presenti nel Progetto Esecutivo sarà facoltà dell'Appaltatore avvalersi di dispositivi che dovranno rispettare i seguenti ulteriori requisiti d'impiego e funzionali:

- tipo: redirettivo o non redirettivo come da progetto di installazione;
- ingombro longitudinale complessivo (compreso anche spazio di funzionamento a tergo rispetto alla cuspide): non superiore a quanto indicato nel progetto di installazione.
- livello di prestazione: come da progetto di installazione o superiore.

Inoltre:

- le dimensioni trasversali dell'attenuatore d'urto dovranno essere commisurate a quelle delle barriere in cuspide, individuando tra i diversi prodotti commerciali e tra le diverse tipologie di questi, che formano un sistema o famiglia (allargato, intermedio, parallelo), quelli a cui corrisponde una dimensione posteriore la più simile possibile alla larghezza della cuspide.

- La geometria ed il posizionamento della cuspide potranno essere variate, in relazione alla morfologia del sito e della geometria della rampa, per consentire l'installazione dell'attenuatore d'urto con una inclinazione massima compatibile con quella richiamata nel manuale di installazione e per contenere l'ingombro di questo all'interno della zona zebrata garantendo adeguati franchi laterali, nel rispetto di quanto precedentemente detto.
- Nel caso di impiego su viabilità/rampe bidirezionali, la larghezza massima dell'attenuatore d'urto dovrà comunque avere una larghezza non superiore a quella dell'elemento calandrato di collegamento tra le due barriere confluenti nella cuspide, tale per cui la sagoma posteriore di quest'ultimo non costituisca in alcun modo elemento di pericolo per i flussi transitanti in entrambi i sensi.
- Laddove previsto all'interno della documentazione tecnica del dispositivo, potrà essere valutato il collegamento dell'attenuatore con le lame delle barriere in cuspide non prevedendo quindi l'elemento calandrato. Se questa modalità è già prevista in progetto il collegamento dovrà essere obbligatoriamente replicato e quindi non saranno ritenuti idonei dispositivi che non consentano questa modalità di installazione.

La D.L. si riserva di approvare prodotti che possano condizionare le normali operazioni di installazione dei dispositivi.

37.4.3 Dispositivi amovibili per varchi

L'Appaltatore dovrà individuare ed utilizzare, previa autorizzazione della Direzione Lavori, dispositivi amovibili per varchi, installabili secondo normativa vigente, che possano garantire prestazioni equivalenti e in linea con i criteri definiti nel progetto. La marcatura CE non è richiesta.

L'Appaltatore dovrà fornire il progetto costruttivo, comprensivo di tutti i disegni e i dettagli costruttivi, che dovranno essere adeguati alle caratteristiche dei dispositivi amovibili di cui è previsto l'effettivo utilizzo.

I dispositivi amovibili per varchi devono disporre di documentazione afferente alle prove iniziali di tipo (ITT), rilasciata da laboratorio UNI EN 17025 autorizzato da Organismo di accreditamento.

I requisiti di prestazione all'urto richiesti ai dispositivi per varchi sono indicati nelle specifiche tecniche UNI CEN/TS 1317-9[(15)], oppure, per soluzioni equiparabili a barriere di livello H3 ed H4, di norma UNI EN 1317-1 e 2 . I requisiti di prestazione all'urto obbligatoriamente da documentare sono:

- Classe di livello di contenimento
- Indice di severità
- Deflessione dinamica
- Larghezza operativa
- Intrusione del veicolo
- Durabilità[(1)].

La classe di livello di contenimento dovrà essere almeno pari a quella prevista in progetto esecutivo, non inferiore alla classe H2.

[(15)] La normativa ENV 1317-4 è stata ritirata dall'UNI in data 15.02.24 e sostituita dalla UNI CEN TS 1317-9 che ne recepisce i contenuti tecnici. I dispositivi testati secondo ENV 1317-4 mantengono la loro validità, nei limiti specificati nel paragrafo 6.5 della UNI CEN TS 1317-9.

Salvo diverse specifiche e indicazioni presenti nel Progetto Esecutivo dovranno essere impiegati dispositivi idonei in relazione alle caratteristiche ed alle geometrie delle barriere spartitraffico e che consentano l'apertura tramite lo smontaggio di singoli moduli di lunghezza non superiore a 6 metri.

L'ingombro longitudinale complessivo del dispositivo dovrà essere compatibile con le dimensioni del varco indicate nel progetto di installazione.

Il dispositivo dovrà essere stato testato in connessione con barriere di caratteristiche analoghe a quella di progetto per geometria ed altezza dell'elemento longitudinale. Soluzioni diverse potranno essere valutate solo in presenza di opportuna documentazione tecnica che consenta di stabilire:

- l'equivalenza di prestazione della configurazione di progetto rispetto a quella sottoposta alle prove di crash test;
- l'idoneità dei collegamenti alle barriere spartitraffico adiacenti secondo criteri analoghi a quelli previsti per il progetto delle transizioni.

La D.L. si riserva di approvare prodotti non in grado di:

- assicurare la continuità formale e l'uniformità funzionale degli impianti;
- garantire le normali tempistiche e modalità d'installazione e di manutenzione dei dispositivi.

37.4.4 Terminali speciali

L'Appaltatore dovrà individuare ed utilizzare, previa autorizzazione della Direzione Lavori, terminali speciali installabili secondo normativa vigente, che possano garantire prestazioni equivalenti e in linea con i criteri definiti nel progetto. La marcatura CE non è richiesta.

L'Appaltatore dovrà fornire il progetto costruttivo, comprensivo di tutti i disegni e i dettagli costruttivi che dovranno essere adeguati alle caratteristiche dei terminali di cui è previsto l'effettivo utilizzo.

I terminali devono disporre di documentazione afferente alle prove iniziali di tipo (ITT), rilasciata da laboratorio UNI EN 17025 autorizzato da Organismo di accreditamento.

I requisiti di prestazione all'urto richiesti ai terminali sono indicati nelle specifiche tecniche UNI CEN TS 1317-7[(16)]. I requisiti di prestazione all'urto obbligatoriamente da documentare e rispettare sono:

- Livello di prestazione
- Indice di severità
- Box di uscita
- Spostamento laterale
- Durabilità[(1)].

I terminali dovranno essere della tipologia (unidirezionale o bidirezionale) e delle classi previste in progetto. Saranno ritenuti idonei sia terminali "non ad assorbimento di energia (NEAT)" sia terminali "ad assorbimento di energia (EAT)", secondo indicazioni di progetto.

[(16)] La normativa ENV 1317-4 è stata ritirata dall'UNI in data 15.02.24 mentre è stato sospeso l'iter approvativo della proposta normativa prEN1317-7. Entrambe sono sostituite dalla UNI CEN TS 1317-7 che ne recepisce i contenuti tecnici.

Sarà' facoltà dell'Appaltatore avvalersi di dispositivi che dovranno rispettare i seguenti requisiti:

- livello di prestazione: come da progetto di installazione o superiore;
- ingombro longitudinale complessivo: non superiore a quanto indicato nel progetto di installazione.
- modalità di collegamento alle barriere di sicurezza: in linea generale il dispositivo dovrà essere stato testato in continuità con barriere di caratteristiche analoghe a quella di progetto: per geometria ed altezza dell'elemento longitudinale. Saranno ammesse, ad insindacabile giudizio della Direzione Lavori, soluzioni non in linea con quanto appena espresso solo disponendo di opportuna e adeguata documentazione tecnica a supporto.

La D.L. si riserva di approvare prodotti che possano condizionare le normali operazioni di installazione dei dispositivi.

37.4.5 Transizioni e collegamenti

L'Appaltatore dovrà individuare ed utilizzare, previa autorizzazione della Direzione Lavori, transizioni e collegamenti che possano garantire prestazioni equivalenti e in linea con i criteri definiti nel progetto. La marcatura CE non è richiesta.

L'Appaltatore dovrà fornire il progetto costruttivo, comprensivo di tutti i disegni e i dettagli costruttivi, che dovranno essere adeguati alle caratteristiche delle transizioni e dei collegamenti di cui è previsto l'effettivo utilizzo.

Quando previsto nel progetto esecutivo, le transizioni e i collegamenti dovranno essere studiati e dimensionati avvalendosi della meccanica computazionale (simulazioni FEM). Sono accreditati alle simulazioni FEM persone fisiche e società con credenziali conformi a quanto indicato al capitolo 37.12.

I requisiti di prestazione all'urto richiesti alle transizioni sono indicati nelle specifiche tecniche UNI CEN/TR 1317-10[(17)]. I requisiti di prestazione all'urto obbligatoriamente da documentare sono:

- Classe di livello di contenimento
- Indice di severità
- Deflessione dinamica
- Larghezza operativa
- Intrusione del veicolo
- Durabilità[(1)].

Transizioni/collegamenti tra barriere, barriera e terminale, barriera ed attenuatore d'urto dello stesso produttore dovranno essere uniformi, impiegando componenti elementari comuni.

Transizioni tra barriere di produttori diversi dovranno essere realizzate in modo da ottimizzare la componentistica elementare ed assicurare continuità per tutti gli elementi longitudinali.

Transizioni tra barriere del produttore e della Committente dovranno essere realizzate impiegando prevalentemente componenti elementari del prodotto della Committente.

[(17)] La normativa ENV 1317-4 è stata ritirata dall'UNI in data 15.02.24 e sostituita dalla UNI CEN TS 1317-10 che ne recepisce i contenuti tecnici. Nel rispetto delle specifiche di progetto il ricorso alla meccanica computazionale secondo UNI CEN TS 1317-10 è obbligatorio.

Tutte le transizioni dovranno assicurare la continuità di tutti gli elementi longitudinali.

I dispositivi di ritenuta per giunti di dilatazione sono considerati e vanno gestiti come transizioni.

37.4.6 Altri generi di dispositivi

37.4.6.1 Dispositivi salva motociclisti (DSM)

L'Appaltatore dovrà individuare ed utilizzare, previa autorizzazione della Direzione Lavori, DSM installabili secondo normativa vigente[(18)] che possano garantire prestazioni equivalenti e in linea con i criteri definiti nel progetto. La marcatura CE non è prevista, sebbene l'applicazione del DSM a prodotti marcati CE o marcabili CE comporti necessariamente anche il superamento delle prove d'urto dal vero codificate nella UNI EN 1317-2 per barriere ordinarie.

L'Appaltatore dovrà fornire il progetto costruttivo, comprensivo di tutti i disegni e i dettagli costruttivi, che dovranno essere adeguati alle caratteristiche dei DSM di cui è previsto l'effettivo utilizzo.

I DSM devono disporre di documentazione afferente alle prove iniziali di tipo (ITT), rilasciata da laboratorio UNI EN 17025 autorizzato da Organismo di accreditamento.

I requisiti di prestazione all'urto richiesti ai DSM sono indicati nelle specifiche tecniche UNI CEN/TS 173427[(19)]. I requisiti di prestazioni all'urto da rispettare sono:

- Classe di velocità
- Indice di severità
- Larghezza operativa

37.4.6.2 Profili redirettivi

Il profilo redirettivo è richiesto dal D.M. 6792 del 5.1.2001, obbligatoriamente, per le nuove gallerie. Facoltativo l'impiego nelle gallerie esistenti, secondo indicazioni di progetto. Assimilabile ad una barriera, viene realizzato in calcestruzzo; deve avere una sagoma utile a consentire di ridirigere in strada i veicoli, senza ribaltamento. Potrà essere realizzato in opera oppure con elementi prefabbricati. Dovrà essere opportunamente ancorato ed appoggiato/affiancato al piedritto della galleria. Non vige alcun obbligo di marcatura CE e nemmeno di ITT.

Se indicato nel progetto il redirettivo dovrà essere conforme alla UNI EN 1317-2 rispettando le specificate classe di livello di contenimento, larghezza operativa (W) e/o intrusione del veicolo (VI).

[(18)] Si rimanda al DM 01.04.19 "Dispositivi stradali di sicurezza per i motociclisti".

[(19)] La normativa ENV 1317-4 è stata ritirata dall'UNI in data 15.02.24 ed è stato sospeso l'iter approvativo della proposta normativa prEN1317-7. Entrambe sono sostituite dalla UNI CEN TS 1317-7 che ne recepisce i contenuti tecnici. I dispositivi testati secondo ENV 1317-4 mantengono la loro validità in attesa che la legislazione nazionale recepisca l'aggiornamento normativo sopra richiamato. Pertanto, entrambe le direttive tecniche, ENV1317-4 e UNI CEN TS 1317-7, sono ammissibili e praticabili nel rispetto delle specifiche di progetto.

37.4.6.3 Dispositivi per punti singolari

L'Appaltatore dovrà individuare ed utilizzare, previa autorizzazione della Direzione Lavori, soluzioni che possano garantire prestazioni equivalenti e in linea con i criteri definiti nel progetto. La marcatura CE non è richiesta e nemmeno ITT.

L'Appaltatore dovrà fornire il progetto costruttivo, comprensivo di tutti i disegni e i dettagli costruttivi, che dovranno essere adeguati alle caratteristiche dei punti singolari di cui è previsto l'effettivo utilizzo.

37.4.6.4 Terminali semplici

L'Appaltatore dovrà individuare ed utilizzare, previa autorizzazione della Direzione Lavori, terminali semplici installabili che possano garantire prestazioni equivalenti e in linea con i criteri definiti nel progetto. La marcatura CE non è richiesta e nemmeno ITT.

L'Appaltatore dovrà fornire il progetto costruttivo, comprensivo di tutti i disegni e i dettagli costruttivi, che dovranno essere adeguati alle caratteristiche dei punti singolari di cui è previsto l'effettivo utilizzo.

Il terminale semplice, se diverso dalla soluzione d'ancoraggio d'estremità impiegata in ITT, deve assicurare analoghe prestazioni di resistenza alle sollecitazioni longitudinali trasferite dalla barriera durante l'urto.

37.4.6.5 Cuspidi e componenti elementari speciali

L'Appaltatore dovrà individuare ed utilizzare, previa autorizzazione della Direzione Lavori, cuspidi realizzate conformemente ai criteri definiti nel progetto. La marcatura CE non è richiesta e nemmeno ITT. L'Appaltatore dovrà fornire il progetto costruttivo di ogni singola cuspide/componente.

37.5 Prequalifica dei dispositivi di ritenuta e degli stabilimenti produttivi

L'Appaltatore, prima di iniziare la produzione e con congruo anticipo rispetto ai tempi di fornitura, si obbliga a comunicare alla Direzione Lavori l'elenco dei dispositivi di cui prevede l'utilizzo e a fornire tutta la documentazione necessaria ad accertarne la conformità ai requisiti di sicurezza stradale (prestazioni all'urto, funzionalità e condizioni d'impiego) fissati dal Progetto Esecutivo, secondo quanto specificato nei successivi capitoli.

L'Appaltatore dovrà fornire, per ciascun dispositivo di cui si prevede l'installazione, la documentazione descritta nei paragrafi che seguono, entro i termini e le modalità ivi indicate, ai fini della preventiva accettazione da parte della Direzione Lavori.

I dispositivi devono rispecchiare i disegni tecnici d'insieme che li rappresentano, in conformità a quelli dichiarati e presi a riferimento in sede di prove iniziali di tipo (ITT).

Anche i singoli componenti elementari del dispositivo di ritenuta devono rispecchiare i disegni costruttivi presentati e presi a riferimento in sede di prove ITT:

- sia per dimensioni e geometrie, nel rispetto delle tolleranze costruttive riportate nei disegni,
- sia per qualità dei materiali.

Per i prodotti non coperti da ITT i dispositivi dovranno essere conformi ai disegni d'insieme e costruttivi allegati al progetto o, in alternativa, a quelli elaborati a cura dell'Appaltatore e successivamente approvati dalla Direzione Lavori in sede di pre-qualifica.

Eventuali modifiche, all'insieme e a uno o più componenti elementari, saranno accettate solo se documentabili e contemplate nel certificato CE, in presenza di una specifica dichiarazione di prestazione (DoP) rilasciata ai sensi della norma UNI EN 1317-5. Le modifiche ammesse sono esclusivamente quelle contemplate dall'Allegato A della UNI EN 1317:

- nei modi lì specificati,
- eventualmente supportate da prove supplementari a cura di laboratori UNI EN 17025,
- approvate dall'Organismo Notificato.

Per prodotti non assoggettati a marcatura CE qualsiasi modifica apportata alla soluzione di ITT deve essere supportata da idonea documentazione tecnica giustificativa, ad esempio: parere tecnico di merito rilasciato dal responsabile tecnico del laboratorio UNI EN 17025 che ha condotto le prove di ITT.

L'ammissibilità delle modifiche deve essere sempre valutata ed approvata dalla Direzione Lavori.

Inoltre, ai fini della preventiva accettazione da parte della Direzione Lavori, indistintamente, per tutti i siti produttivi coinvolti e per tutti i prodotti da fornire, all'Appaltatore si richiede di presentare almeno 20 giorni prima dell'inizio della produzione la seguente documentazione aggiornata:

- Piano Generale di Fabbricazione e Controlli del/dei sito produttivo con l'indicazione delle tecnologie, metodologie e sistemi di controllo utilizzati in impianto (Piano Controllo della Qualità di produzione) per garantire la qualità attesa. Il piano dovrà essere corredato da una procedura che identifichi le modalità di qualifica dei fornitori nonché le modalità di identificazione e rintracciabilità dei prodotti e di tenuta sottocontrollo delle strumentazioni di misura;

- Specifica del Processo di Saldatura (WPS) secondo UNI EN ISO 15609 e relativo Verbale di Qualificazione della Procedura di Saldatura (WPQR) secondo UNI EN ISO 15614;
- Certificazione UNI EN ISO 9001 del sistema di gesione della qualità

La D.L. è anche tenuta a verificare che i prodotti presentati dall'Appaltatore rispecchino i requisiti di uniformità e di installabilità e manutenibilità richiesti dal presente CSA e/o dal Progetto Esecutivo. Laddove la D.L. riscontrasse l'insussistenza dei suddetti requisiti potrà non approvare i prodotti.

37.5.1 Dispositivi di ritenuta rispondenti ai requisiti di progetto

L'appaltatore dovrà fornire alla D.L., per approvazione, il progetto costruttivo comprendente le soluzioni di progetto esecutivo adattate sulla base dei dispositivi proposti, in particolare:

- disegni costruttivi degli impianti di barriere, comprensivi di:
    a. disegni costruttivi delle transizioni/collegamenti/varchi tra le barriere proposte ed anche tra le barriere proposte e altre barriere/manufatti previsti in progetto e/o esistenti così come specificato all'interno degli elaborati di progetto;
    b. disegni costruttivi degli attenuatori d'urto e degli elementi terminali e di avvio delle barriere proposte;
    c. disegni costruttivi dei punti singolari;
- disegni costruttivi dei supporti o fondazioni (ad esempio per attenuatori d'urto testati su cordoli cementizi)

- Quando necessario, documentazione di calcolo.

Sarà onere dell'Appaltatore sottoporre all'approvazione della Direzione Lavori, almeno 20 giorni prima dell'avvio della produzione, tutta la documentazione appena richiamata. La Direzione Lavori si esprimerà in merito alla rispondenza dei dispositivi ai requisiti d'impiego, funzionali e di sicurezza stradale fissati dal Progetto Esecutivo.

37.5.1.1 Barriere di sicurezza e attenuatori d'urto (marcabili CE)

L'Appaltatore dovrà fornire, per ciascun tipo di dispositivo marcato CE, almeno 20 giorni prima dell'inizio della produzione, la seguente documentazione:

- Certificato di Costanza della Prestazione (Certificato CE) emesso da Organismo Notificato accreditato da ACCREDIA o da organo equivalente
- Prove iniziali di tipo (ITT) ovvero:
    - Rapporti di prova d'urto dal vero, crash test, (compresi eventuali integrazioni e supplementi) e filmati dei crash test, a cura di laboratorio UNI EN ISO171025 accreditato per eseguire crash test secondo specifiche tecniche delle norme della serie normativa UNI EN 1317 e UNI CEN/TS 17342;
    - Rapporti tecnici delle modifiche di prodotto, approvati dall'Organismo Notificato firmatario del certificato di costanza di produzione e lì richiamate (secondo indicazioni di UNI EN 1317-5)
- Disegni costruttivi (di insieme e di dettaglio di tutte le parti del dispositivo);
- Manuali di montaggio ed installazione, di manutenzione;
- Dichiarazione di prestazione (DoP) ai sensi della norma UNI EN 1317-5.
- Fac-simile della etichetta CE ai sensi della norma UNI EN 1317-5[(20)]

Ai fini dell'accertamento della validità dei certificati CE questi dovranno essere accompagnati da attestazione da parte dell'Organismo Notificato di aver eseguito con esito positivo visita di ispezione/sorveglianza in data non antecedente all'anno precedente a quello in corso.

Sarà onere dell'Appaltatore sottoporre all'approvazione della Direzione Lavori, prima dell'avvio della produzione, tutta la documentazione appena richiamata. La Direzione Lavori si esprimerà in merito alla rispondenza dei dispositivi ai requisiti d'impiego, funzionali e di sicurezza stradale fissati dal Progetto Esecutivo.

37.5.1.2 Dispositivi complementari (non marcabili CE)

I dispositivi non marcabili CE, ma sottoposti obbligatoriamente a prove iniziali di tipo ITT (crash test), quali terminali speciali e dispositivi amovibili per varchi, dovranno possedere:

- certificato di omologazione (ove disponibile);
- rapporti di prove ITT ovvero di crash test, (compresi eventuali integrazioni e supplementi) e filmati dei crash test, (ove richiesto dalle normative di riferimento)
- disegni costruttivi (di insieme e di dettaglio di tutte le parti del dispositivo);
- manuali di montaggio ed installazione (comprensivo delle coppie di serraggio da applicare a ogni giunzione bullonata) e manuale di manutenzione;
- Fac-simile dell'etichetta identificativa.

[(20)] I contenuti da specificare nella DoP sono regolamentati dal regolamento EU n°574/2014

Transizioni e collegamenti, Terminali semplici, Redirettivi, Cuspidi e Soluzioni per punti singolari dovranno essere realizzati in accordo ai disegni ed alle specifiche di progetto esecutivo.

Inoltre, quando specificato negli elaborati progettuali:

1. le transizioni e i collegamenti dovranno essere dimensionati avvalendosi della meccanica computazionale, nel rispetto di quanto specificato nella UNI CEN/TR 1317-10: "Road restraint systems - Part 10: Assessment methods and design guidelines for transitions, terminal and crash cushion connection – transitions".
2. I dispositivi amovibili per varchi potranno risultare conformi alle specifiche di UNI CEN/TS 1317-9: "Sistemi di ritenuta stradali - Parte 9: Prove d'urto e metodi di prova per le sezioni rimovibili della barriera" oppure, per soluzioni equiparabili a barriere di livello di contenimento H3 ed H4, di norma UNI EN 1317-1 e 2. Sarà onere dell'Appaltatore sottoporre all'approvazione della Direzione Lavori, prima dell'avvio della produzione, la documentazione appena richiamata ed i disegni costruttivi dei dispositivi di cui si prevede l'installazione. La Direzione Lavori si esprimerà in merito alla rispondenza dei dispositivi ai requisiti d'impiego, funzionali e di sicurezza stradale fissati dal Progetto Esecutivo.

L'Appaltatore dovrà fornire almeno 20 giorni prima dell'inizio della produzione, la documentazione appena richiamata.

37.5.2 Dispositivi di ritenuta equivalenti

Nei casi di progetti redatti tramite ricorso a dispositivi specifici ovvero nei casi in cui il progetto è sviluppato a partire da un set di dispositivi di riferimento e in relazione alle caratteristiche di questi, è facoltà dell'Appaltatore proporre dispositivi di ritenuta equivalenti, alternativi rispetto a quelli previsti.

Tali dispositivi equivalenti dovranno rispondere ai requisiti prestazionali indicati nel Progetto Esecutivo e inoltre l'Appaltatore dovrà fornire la documentazione di cui al successivo paragrafo.

Detta documentazione dovrà essere oggetto di specifica approvazione da parte della Direzione Lavori; in mancanza, l'Appaltatore è obbligato ad avvalersi dei dispositivi previsti in progetto senza eccezione alcuna.

37.5.2.1 Documentazione da presentare

Nel caso l'Appaltatore intenda utilizzare dispositivi equivalenti dovrà fornire la seguente documentazione:

a) dichiarazione di equivalenza dei dispositivi, sotto il profilo della classe di contenimento che di tutti gli elementi comprovanti il rispetto dei requisiti indicati nel Progetto Esecutivo;
b) La documentazione richiamata al precedente paragrafo 37.5.1.1 per i dispositivi certificati CE proposti quali equivalenti a quelli indicati nel progetto esecutivo;
c) La documentazione richiamata al precedente paragrafo 37.5.1.2 per i dispositivi complementari proposti quali equivalenti a quelli indicati nel progetto esecutivo;
d) disegni d'insieme e costruttivi dei dispositivi;
e) dichiarazione nella quale l'Appaltatore conferma di aver verificato tutti i documenti progettuali e, nel caso di strade esistenti, di aver preso visione dei luoghi dove i dispositivi

verranno installati e attesta in relazione all'impiego di dispositivi diversi da quelli previsti in progetto l'equivalenza prestazionale rispetto al progetto esecutivo.

Il progetto costruttivo dovrà comprendere le modifiche necessarie ad adattare il progetto esecutivo sulla base dei dispositivi proposti (se del caso); in particolare:

- disegni costruttivi degli impianti di barriere, comprensivi di:
    a. disegni costruttivi delle transizioni/collegamenti/varchi tra le barriere proposte ed anche tra le barriere proposte e altre barriere/manufatti previsti in progetto e/o esistenti così come specificato all'interno degli elaborati di progetto;
    b. disegni costruttivi degli attenuatori d'urto e degli elementi terminali e di avvio delle barriere proposte;
    c. disegni costruttivi dei punti singolari;
- disegni costruttivi dei supporti o fondazioni (ad esempio per attenuatori d'urto testati su cordoli cementizi).

Sarà onere dell'Appaltatore sottoporre all'approvazione della Direzione Lavori, almeno 20 giorni prima dell'avvio della produzione, tutta la documentazione appena richiamata. La Direzione Lavori si esprimerà in merito alla rispondenza dei dispositivi ai requisiti d'impiego, funzionali e di sicurezza stradale fissati dal Progetto Esecutivo.

37.5.2.2 Criteri di equivalenza

Nei casi di progetti redatti tramite ricorso a dispositivi specifici ovvero nei casi in cui il progetto è sviluppato a partire da un set di dispositivi di riferimento e in relazione alle caratteristiche di questi, il Progetto Esecutivo prevede la definizione di criteri di equivalenza negli elaborati tecnici di Progetto. La Direzione Lavori verificherà la sussistenza dell'equivalenza dei dispositivi proposti dall'Appaltatore sulla base della documentazione di cui al precedente paragrafo, riservandosi facoltà di richiedere ulteriore documentazione integrativa dove ritenuta necessaria a suo insindacabile giudizio.

La Direzione Lavori si esprimerà in merito alla rispondenza dei dispositivi ai requisiti d'impiego, funzionali e di sicurezza stradale fissati dal Progetto Esecutivo.

37.5.3 Dispositivi sviluppati dalla committente

Nel caso in cui il Progetto Esecutivo contempli l'utilizzo di dispositivi di ritenuta stradali sviluppati dalla Committente o da suo Servizio Tecnico e non si preveda di utilizzare dispositivi equivalenti, allora:

- L'Appaltatore dovrà rendere noto alla Direzione Lavori il sito produttivo, ovvero il nominativo della persona fisica o giuridica che interviene nel processo industriale di trasformazione dell'acciaio assumendosi la responsabilità di realizzare a regola d'arte il dispositivo seguendo le indicazioni tecniche fornite dal Fabbricante (corrispondente alla Committente o a suo Servizio Tecnico), di cui ha deciso di avvalersi.
- Il sito produttivo potrà esclusivamente essere autorizzato alla produzione dalla Committente o da suo Servizio Tecnico a seguito del positivo accertamento dell'operatività e della capacità di produrre in conformità con gli standard di qualità richiesti.
- In caso di esito negativo di tale accertamento o nel caso in cui la richiesta venga avanzata tardivamente, e cioè in tempi tali da non garantire il completamento del processo di autorizzazione e certificazione del Produttore senza ripercussioni sul programma lavori, si

comunicheranno all'Appaltatore le motivazioni che non hanno consentito di autorizzare il Produttore da questi indicato e verrà fornita una lista di siti produttivi, già autorizzati, tra cui l'Appaltatore dovrà scegliere.

- La committente o il suo servizio tecnico potranno autorizzare il sito produttivo ad operare banche come fabbricante secondo quanto sancito dal Regolamento Europeo U.E. n.305/2011. Nel caso, il fabbricante dovrà immettere nel mercato a suo nome il/i dispositivi prodotti, ottemperando alle specifiche di norma UNI EN 1317-5. In particolare, sarà chiamato a rilasciare:
  - *"Dichiarazione di Prestazione"* (DoP), ai sensi del Regolamento UE n.305/2011
  - "*Dichiarazione di Conformità della Produzione",* per i prodotti non assoggettati alla UNI EN 1317-5
  - *"Corretto montaggio ed installazione"* (art.18 comma 22 dell'Allegato II.12 e art.15 comma 1 lett.p dell'Allegato II.14 al D.lgs. n.36/2023)

37.5.4 Prove di spinta ("push") per barriere a paletti infissi nel terreno

In fase di prequalifica dei dispositivi, potrà essere necessario eseguire prove di "push" finalizzate a verificare l'idoneità dei dispositivi, ovvero dei pali dei dispositivi proposti, in relazione alle caratteristiche dei supporti, costituiti da semplice terreno o da misto cementato.

Le prove potranno essere eseguite nei siti di installazione o in appositi campi prova che saranno proposti dall'Appaltatore e che dovranno essere approvati dalla Direzione Lavori.

L'Appaltatore dovrà procedere alla verifica dell'interazione tra palo e supporto per i reali dispositivi di sicurezza, mediante prove di spinta ("push") sui paletti specifici del dispositivo utilizzato da effettuarsi nel sito reale di installazione.

Per ogni dispositivo è possibile valutare l'interazione tra palo e supporto facendo ricorso a prove quasi statiche. I parametri utilizzabili per la caratterizzazione palo-supporto sono illustrati in modo approfondito nella UNI/TR 11785 e sostanzialmente riconducibili agli approcci di verifica in sito lì specificati e qui di seguito sinteticamente illustrati:

1. Interazione massima (valori di cerniera plastica e forza di spinta applicata al palo, in sito, confrontabili con gli analoghi ottenuti in sede di ITT)
2. Lavoro compiuto fino allo spostamento massimo (valore dell'energia dissipata dal sistema palo-supporto accertati sul sito confrontabili con gli analoghi ottenuti in sede di ITT)

Le grandezze precedentemente indicate potranno essere utilizzate per la verifica dell'idoneità del dispositivo analizzato, mediante confronto tra valori rilevati durante le prove su strada, sul sito, con quelli di ITT, nei limiti di accettazione specificati dal produttore sul manuale di montaggio ed installazione del prodotto e comunque per limiti non superiori di quelli indicati dalla UNI/TR 11785.

Per il completo esame delle modalità di prova si rimanda alla UNI/TR 11785.

L'approccio 2 è preferibile. In caso di applicazione dell'approccio 1, si precisa che sia il valore obiettivo di cerniera plastica, sia di forza applicata devono essere soddisfatti.

Nel caso in cui il Committente o suo Servizio Tecnico non abbia predisposto per le prove di spinta il Protocollo di Prova, allora sarà compito dell'Appaltatore fornire il Protocollo di Prova, con le indicazioni specifiche sulle modalità di prova e sui montanti oggetto di prova.

Il Protocollo di Prova dovrà inoltre essere integrato da un piano di campionamento e dovrà essere sottoposto alla preventiva approvazione della Direzione Lavori.

Per quanto riguarda la frequenza delle prove, dovranno essere individuate sul Protocollo di Prova tratte omogenee per forma della scarpata e natura presumibile del terreno, e si dovrà eseguire almeno una terna di prove per ogni tratta omogenea.

Le tratte omogenee dovranno avere uno sviluppo non superiore ai 2000 m. Nel caso di infissione in arginelli di nuova realizzazione, o comunque oggetto di intervento di adeguamento, ai fini della prequalifica si potranno intendere quali tratte omogenee quelle che presentano analoghe soluzioni progettuali, anche non in continuità e in questo caso non varrà il limite superiore a 2000 m. Nel caso di estensioni della tratta omogenea superiore ai 500 m sarà facoltà della Direzione Lavori impartire l'esecuzione di più di una terna di prove.

Le prove in accettazione ed i relativi apprestamenti dovranno essere eseguite a cura ed onere dell'Appaltatore, in contraddittorio con la Direzione Lavori, tramite laboratorio accreditato o con propria strumentazione.

Nel caso di utilizzo di laboratorio, questo dovrà essere preventivamente sottoposto all'approvazione della Direzione Lavori.

Nel caso di utilizzo di attrezzature e strumentazione dell'Appaltatore, queste dovranno essere preventivamente approvate dalla Direzione Lavori.

I risultati delle prove dovranno essere registrati su apposito report redatto dall'Appaltatore, verificato e approvato dalla Direzione Lavori. Il report dovrà essere corredato dai certificati di laboratorio o, in caso di esecuzione diretta da parte dell'Appaltatore, dai report generati dalla strumentazione utilizzata.

In caso di anomalie che dovessero emergere nel corso delle prove, la Direzione Lavori si riserva comunque la facoltà di far eseguire prove integrative con un laboratorio dalla medesima individuato, con oneri a carico dell'Appaltatore.

L'autorizzazione a procedere nei lavori da parte della D.L. dovrà comunque sempre essere rilasciata a fronte di campagna prove eseguite da laboratorio accreditato.

L'Appaltatore dovrà fornire almeno 5 giorni prima dell'inizio della produzione la documentazione appena richiamata.

37.6 Conformità dei prodotti in fornitura

37.6.1 Caratteristiche tecniche dei dispositivi di sicurezza stradale e dei materiali

I dispositivi di ritenuta devono rispecchiare i disegni tecnici d'insieme che li rappresentano, in conformità a quelli dichiarati e presi a riferimento in sede di prove iniziali di tipo (ITT) e/o coerentemente con quanto presentato dall'Appaltatore in sede di pre-qualifica.

La Direzione Lavori, ed eventualmente anche la Committente, avrà la facoltà di procedere ad attività di ispezione e controllo nel corso della consegna e dello stoccaggio del materiale fornito ed in qualsiasi fase del processo produttivo e di approntamento dello stesso, al fine di verificare la rispondenza dei componenti elementari alle specifiche tecniche di prodotto, come previsto dal D.M. n°2367 21.06.2004.

37.6.2 Dispositivi in acciaio

L'Appaltatore si impegna, dandone evidenza, a:

A. fornire prodotti realizzati con acciai marcati CE oppure, per gli acciai non assoggettati a certificazione, muniti di "Attestato di qualificazione" secondo NTC2018;
B. assicurare, quando previsto dal progetto, che l'acciaio impiegato per la realizzazione dei prodotti abbia un contenuto minimo di materia recuperata, riciclata o di sottoprodotti superiore/uguale al 60% (somma delle 3 frazioni);
C. assicurare, quando previsto dal progetto, che i prodotti siano dotati di "EPD" (Dichiarazione delle Prestazioni Ambientali) o di certificazione analoga.

L'Appaltatore si obbliga a rendere identificabile l'origine dei componenti elementari dei prodotti provvedendo a:

1. **Far Punzonare** meccanicamente o tramite stampaggio, con il riporto del **"n. di COIL"** da cui proviene il materiale che li costituisce, tutti i componenti elementari principali di ciascuna barriera; si dovrà porre cura affinché i numeri o le lettere oggetto di punzonatura o stampaggio possano essere letti anche dopo il processo di zincatura per lotti e di formatura a freddo nel caso di zincatura a caldo in continuo;
2. **Assicurare la rintracciabilità** dei materiali forniti e depositati nei magazzini attraverso i seguenti provvedimenti:
   i. Assegnazione a ciascun "Componente Elementare" (pali, nastri a tripla onda, distanziatori, tiranti posteriori, tiranti diagonali, tubi corrimano, mancorrenti a C, etc.), di ciascun tipo di barriera previsto nell'appalto, di un singolo e specifico "Codice identificativo";
   ii. Redazione di una "Tabella di Correlazione", in cui i singoli "Componenti Elementari" consegnati (elencati nel Documento di Trasporto), identificati con il relativo **"Codice identificativo"**, siano correlati a:
      - *Tipo e Modello di Barriera o di Transizione*
      - *Tipo di Componente Elementare della Barriera o della Transizione* (ad es.: palo, tubo, nastro, distanziatore, tirante, diagonale, etc.),
      - *Numero di COIL*,
      - *Numero di colata*,
      - *Tipo di acciaio*,
      - *Spessore e larghezza del coil*,
      - *N. di pezzi consegnati* (con riferimento a quanto indicato nel "Documento di Trasporto");

      La Tabella di Correlazione deve essere trasmessa entro e non oltre 7 giorni lavorativi dalle date di consegna in cantiere del materiale e comunque prima di essere installati.
   iii. Fornire, per ciascun **COIL** (identificato con: il suo numero identificativo, il numero di colata, la larghezza del nastro, lo spessore del nastro ed il tipo di acciaio) il Certificato di Collaudo "3.1" ai sensi della norma EN 10204 (il certificato di collaudo dovrà contenere i dati e le informazioni sugli acciai previste dalla norma EN 10168);

   Copia di ciascun "Documento di trasporto", con l'allegata "Tabella di Correlazione" e il Certificato di Collaudo "3.1", dovrà essere trasmessa alla Direzione Lavori all'atto della consegna del materiale nel il sito di stoccaggio dell'Appaltatore presso il cantiere.
3. **Stoccaggio** del materiale secondo le seguenti modalità:
   i. Separazione dei singoli "colli" consegnati: ogni collo fornito e consegnato dovrà riguardare un'unica tipologia di "Componente Elementare", inoltre colli specifici e

separati dovranno essere preparati e forniti per la bulloneria, le parti miste e altri componenti speciali;

ii. Identificazione dei singoli "colli" consegnati: ciascun "collo di imballaggio" dovrà essere identificato mediante il suo "Codice identificativo" precedentemente descritto;

iii. Predisposizione di Specifici "colli di imballaggio" per la fornitura dei dispositivi diversi dalle barriere: tali dispositivi dovranno essere confezionati completi di ogni componente elementare speciale e sempre identificabili mediante il loro "Codice identificativo".

4. **Trasmettere** al Direttore dei Lavori, per i materiali forniti e consegnati, le seguenti attestazioni del Fabbricante dei dispositivi di ritenuta:
   i. Zincatura: attestazione di conformità alle norme di riferimento per la zincatura di tutti i Componenti Elementari oggetto di fornitura;
   ii. Saldature: documentazione attestante che:
      a) le saldature sono state eseguite da operatori qualificati secondo la norma UNI EN ISO 9606;
      b) qualora l'esecuzione della saldatura segua un processo automatizzato, gli operatori di saldatura ed i preparatori che intervengono nell'attività sono certificati secondo la norma UNI EN 14732;
      c) l'esito ed il tipo di controlli effettuati sui componenti elementari oggetto di fornitura
      d) i controlli sulle saldature sono stati eseguiti da operatori qualificati secondo norma UNI EN ISO 9712.

NOTA BENE : è possibile che il "SISTEMA DI QUALITÀ" dell'unità produttiva sia basato sul "LOTTO" e non sul "COIL", intendendosi come LOTTO un insieme di più COIL aventi :

- identiche caratteristiche chimiche (in quanto provenienti dalla stessa colata),
- identiche caratteristiche fisiche (spessore, larghezza, resistenze meccaniche).
- Unico certificato di collaudo "3.1" ai sensi della norma EN 10204

In tale caso il sistema sopra delineato verrà applicato con le seguenti modifiche:

Punto 1) punzonare meccanicamente o tramite stampaggio, con il **riporto del "n. di LOTTO"** da cui proviene il materiale che li costituisce, tutti i componenti elementari principali di ciascuna barriera; si dovrà porre cura affinché i numeri o le lettere oggetto di punzonatura o stampaggio possano essere letti anche dopo il processo di zincatura per lotti e di formatura a freddo nel caso di zincatura a caldo in continuo;

Punto 2) Redazione di una "Tabella di Correlazione" VEDERE SPECIFICA PER COIL, da allegare a ciascun Documento di Trasporto, in cui i singoli "Componenti Elementari" consegnati (elencati nel Documento di Trasporto), identificati con il relativo **"Codice identificativo"**, siano correlati a:

- *Tipo e Modello di barriera*,
- *Tipo di Componente Elementare della barriera* (ad es.: palo, tubo, nastro, distanziatore, tirante, diagonale, etc.),
- *Numero di LOTTO*,
- *Numero di colata*,
- *Tipo di acciaio*,
- *Spessore e larghezza*,
- *N. di pezzi consegnati* (con riferimento a quanto indicato nel "Documento di Trasporto");

37.6.3 Dispositivi in calcestruzzo prefabbricato

L'Appaltatore si impegna, dandone evidenza, a:

A. fornire prodotti realizzati con materiali certificati CE;
B. assicurare, quando previsto da progetto, che il calcestruzzo impiegato per la realizzazione dei prodotti abbia un contenuto minimo di materia recuperata, riciclata o di sottoprodotti superiore/uguale al 5% sul peso del prodotto (somma delle 3 frazioni);
C. assicurare, quando previsto dal progetto, che i prodotti siano dotati di "EPD" (Dichiarazione delle Prestazioni Ambientali) o di certificazione analoga.

Ciascun dispositivo (singolo modulo prefabbricato) dovrà essere identificato da un codice che permetta l'individuazione della data di produzione, e che consenta la rintracciabilità dei documenti e delle certificazioni relative alla qualità del calcestruzzo utilizzato.

Relativamente alla qualifica e ai controlli di accettazione dei dispositivi in calcestruzzo prefabbricato si richiamano integralmente i riferimenti del presente capitolato relativi agli elementi prefabbricati.

36.7 Controlli in fase di produzione

36.7.1 Sopralluoghi in stabilimento

In corso di produzione la Direzione Lavori, in contraddittorio con l'Appaltatore, potrà effettuare verifiche a campione in stabilimento di produzione al fine di accertare le corrette modalità di esecuzione dei controlli previsti nel FPC del produttore e nel Piano Controllo qualità in produzione consegnato, le modalità di movimentazione, stoccaggio e imballaggio e le modalità di identificazione e rintracciabilità.

Il controllo potrà essere richiesto per forniture di barriere bordo laterale e spartitraffico superiori a 5000 m e per forniture di barriere da ponte superiori a 1000 m. Nel caso, l'Appaltatore dovrà sottoporre alla D.L. un programma di campionatura dettagliato e compatibile con la programmazione delle lavorazioni preso il sito produttivo.

36.7.2 Controlli sui dispositivi in acciaio

I prelievi dovranno essere eseguiti secondo le disposizioni impartite dal Direttore dei Lavori e comunque nel rispetto delle norme di riferimento, prevedendo anche campionature "testimone" per eventuali ri-verifiche o prove integrative.

I campioni saranno univocamente identificati e siglati mediante etichettatura indelebile dallo stesso Direttore dei Lavori (o suo delegato) e dovranno essere controllati a cura e spese dell'Appaltatore, avvalendosi di laboratorio autorizzato individuato dalla Committente, previa sottoscrizione della relativa richiesta prova da parte del Direttore dei Lavori.

37.7.2.1 Lamiere e coil

Il campionamento riguarderà almeno una "porzione" di coil o lamiera di dimensioni adeguate al prelievo di almeno n. 3 campioni per ciascun "Coil/Lotto" approvvigionato (vedi precedente capitolo 37.6) e comunque non minore di n. 3 campioni ogni 140 tonnellate di acciaio approvvigionato.

I campioni dovranno essere sottoposti a controllo in laboratorio per la verifica delle caratteristiche fisiche:

- spessore dell'acciaio (depurato dello spessore del rivestimento protettivo)
- trazione:
  - snervamento del provino
  - rottura del provino
  - allungamento del provino
  - composizione chimica dell'acciaio,
  - resilienza.

Per acciai rivestiti mediante processo di zincatura per lotti, il campionamento dell'acciaio dovrà essere eseguito preliminarmente all'esecuzione del trattamento protettivo superficiale o al netto dello strato protettivo in zinco.

Per acciai rivesti mediante processo di zincatura in continuo, il campionamento dell'acciaio dovrà essere eseguito al netto dello strato protettivo in zinco.

In caso di esito negativo delle prove di laboratorio eseguite sui campioni prelevati, la Direzione Lavori ordinerà all'Appaltatore l'esclusione all'impiego dei componenti elementari delle barriere di sicurezza realizzati con i materiali ascritti ai relativi controlli e l'allontanamento di eventuali forniture già approvvigionate in cantiere.

37.7.2.2 Rivestimento protettivo in zinco e/o leghe di zinco

Le caratteristiche investigate dovranno corrispondere, ai sensi delle norme di riferimento, al tipo ed alla classe d'acciaio impiegato, così come riportato nei disegni costruttivi per ciascun componente elementare indagato.

Il rivestimento protettivo potrà essere ottenuto mediante processo per lotti secondo UNI EN 1461 oppure mediante processo in continuo secondo UNI EN 10346. In entrambi i casi il rivestimento adottato dovrà assicurare, minimo, una vita media del prodotto, prima di un intervento manutentivo sistematico e programmato sul rivestimento protettivo, di 40 anni in ambiente atmosferico C3 della norma UNI EN14713-1.

Per la zincatura per lotti, gli spessori applicati dovranno soddisfare al prospetto 3 di UNI EN 1461.

Per la zincatura in continuo gli spessori applicati dovranno rispettare le prescrizioni di tabella sottostante, fermo restando che l'Appaltatore, vista la mancanza di una norma dedicata al tema, dovrà dare evidenza dell'effettiva capacità della soluzione in continuo di assolvere efficacemente alla funzione protettiva in ambiente C3 per la durata sopra specificata attraverso studi e ricerche di Istituti qualificati.

Spessore del supporto in acciaio (mm)	Processo di zincatura per lotti - EN 1461		Processo di zincatura in continuo - EN 10346		
	Spessore del rivestimento locale (minimo)	Spessore medio del rivestimento (minimo)	Spessore del rivestimento locale (minimo)	Spessore medio del rivestimento (minimo)	Classificazione del rivestimento (minimo)
	45 µm	55 µm	18 µm	25 µm	ZM310

≥ 1,5 mm fino a ≤ 3 mm			29 µm	42 µm	Z600
> 3 mm fino a ≤ 6 mm	55 µm	70 µm	18 µm	25 µm	ZM310
			55 µm	70 µm	Z1000
> 3 mm fino a ≤ 6 mm (a contatto con il suolo)	55 µm	70 µm	55 µm	70 µm	Z1000

In caso di esito negativo delle prove di laboratorio eseguite sui campioni prelevati, la Direzione Lavori ordinerà all'Appaltatore l'esclusione all'impiego dei componenti elementari delle barriere di sicurezza realizzati con i materiali ascritti ai relativi controlli e l'allontanamento di eventuali forniture già approvvigionate in cantiere.

Per prodotti rivestiti in continuo la Direzione Lavori dovrà accertare che i siti produttivi siano in grado di trasformare i coil correttamente, senza arrecare con i macchinari striature ed incisioni alla pellicola di zinco che riveste i componenti elementari. Il Piano Generale di Fabbricazione e Controlli adottato dal sito produttivo dovrà dare evidenza delle misure di verifica poste in atte per assicurare la necessaria qualità dei componenti elementari finiti.

La zincatura in continuo non si applica a componenti elementari saldati.

L'utilizzo di componenti rivestiti in continuo, in relazione a dispositivi testati a partire da prototipi che prevedevano l'uso di componenti rivestiti per lotti o non rivestiti (e quindi con acciai appartenenti a una diversa classificazione), sarà ammessa solo se questa possibilità è prevista dal certificato CE (modifica di prodotto ai sensi della UNI EN 1317-5) e viceversa.

37.7.2.3 Saldature

Con congruo anticipo, l'Appaltatore dovrà trasmettere alla Direzione Lavori un programma di controllo delle saldature redatto dal Produttore che dovrà prevedere, a proprio carico, almeno le seguenti verifiche:

A. controlli visivi secondo EN ISO 17637 del 100% di tutte le saldature: L'esito delle verifiche dovrà essere riportato in apposito report completo di tutte le informazioni previste dalle rispettive norme di metodo;
B. controlli non distruttivi, che dovranno:
    i. accertare la rispondenza alle specifiche di procedimento di saldatura (WPS) dichiarate dal Produttore, ove presenti processi di saldatura qualificati secondo norme UNI EN 15609-1 e UNI EN 15614-1, con emissione di apposita WPQR da parte dell'Istituto Italiano della saldatura o altro Ente Terzo accreditato.
    ii. attestare almeno il livello di qualità C di cui alla norma UNI EN 5817 (salvo diversa indicazione del Progettista), desunto – mediante le tabelle di correlazione di cui agli Allegati A e B della norma UNI EN ISO 17635 – dal livello di accettabilità delle imperfezioni specificato secondo i criteri contenuti nelle norme UNI EN ISO 5817 (esame visivo).

Il catalogo delle imperfezioni cui l'operatore CND deve ricondursi è contenuto all'interno della norma UNI EN 6520-1. Il Rapporto di Prova emesso deve dettagliare sia il livello di qualità raggiunto dalla saldatura, sia il livello di accettabilità delle imperfezioni registrato.

Le verifiche sulle saldature dovranno essere eseguite a spese dell'appaltatore da personale qualificato ai sensi della norma UNI EN ISO 9712 (o in assenza di qualifica, mediante Istituto Italiano della Saldatura, o Ente terzo equivalente).

La Direzione Lavori ha facoltà di presenziare alle verifiche condotte dal Produttore sulle saldature provvedendo eventualmente a controlli integrativi mediante Istituto Italiano della Saldatura, o Ente terzo equivalente, dalla Committente.

Qualora l'Istituto Italiano della Saldatura (o altro Ente terzo) riscontrasse delle non conformità tali per cui si debba procedere ad un perfezionamento o al rifacimento dell'originaria saldatura, queste verranno ricontrollate a campione sempre dall'Ente con onere nuovamente a carico dell'Appaltatore senza che ciò possa dare diritto a richieste o al riconoscimento di alcun compenso, indennizzo o extracosto, di qualsivoglia natura, né diretto, né indiretto.

In caso di esito negativo delle prove di laboratorio eseguite sui campioni prelevati, la Direzione Lavori ordinerà all'Appaltatore l'esclusione all'impiego dei componenti elementari delle barriere di sicurezza realizzati con i materiali ascritti ai relativi controlli e l'allontanamento di eventuali forniture già approvvigionate in cantiere.

36.7.3 Dispositivi di ritenuta in calcestruzzo

Per le prove e le verifiche sui manufatti in calcestruzzo componenti i dispositivi di ritenuta in calcestruzzo si rimanda al § 20.11 dell'articolo di capitolato afferente i conglomerati cementizi.

Per gli elementi metallici da impiegare per le giunzioni tra i singoli elementi e tra elementi e supporti vale quanto previsto per le barriere metalliche.

37.7.4 Bulloni e barre filettate

Bulloni e barre filettate devono soddisfare ai requisiti degli specifici disegni costruttivi ed alle norme lì richiamate.

Le prestazioni meccaniche devono essere documentate mediante prove di trazione sulla vite/barra filettata (serie UNI EN ISO 898) o quantomeno, per il bullone, con prove di durezza normalizzata (UNI EN ISO 6507-1 oppure UNI EN ISO 148/1).

Il rivestimento protettivo secondo indicazioni di norma UNI EN 1461.

37.7.5 Ancoraggi chimici

Le resine impiegate per la realizzazione degli ancoraggi chimici devono essere marcate CE riferendosi alle indicazioni delle Linee Guida di benestare tecnico europeo ETAG 001.

In cantiere dovranno pervenire confezioni perfettamente conservate a temperatura compresa tra 20°-24° e riportante data di scadenza compatibile con la programmazione dei lavori.

37.8 Accettazione delle forniture consegnate in cantiere

La merce dovrà essere accompagnata da:

1) Documento di Trasporto (DDT) e DoP, per i prodotti marcabili CE; Dichiarazione di Conformità della Produzione per i prodotti non assoggettati a marcatura CE.
2) Etichetta d'identificazione (etichetta CE per i prodotti marcabili CE)

Inoltre, per i dispositivi in acciaio:

3) "Tabella di Correlazione" che consenta la rintracciabilità dei coil utilizzati per la realizzazione di tutti i "Componenti Elementari" consegnati;
4) Certificato di collaudo di tipo "3.1", ai sensi della norma EN 10204.
5) Dichiarazione del processo di zincatura ai sensi della norma UNI EN ISO 1461 e UNI EN 10346.
6) Dichiarazione di conformità delle saldature ai sensi della norma UNI EN ISO 3834-2

Per le barriere in calcestruzzo:

7) i certificati di verifica della classe di resistenza dei calcestruzzi
8) gli esiti delle prove chimico-fisiche e meccaniche sulle componenti elementari in acciaio.

Sarà cura della Direzione Lavori verificare, a campione, la rispondenza del n. COIL (n. di LOTTO), punzonato meccanicamente sui singoli Componenti Elementari, con quello dichiarato dalla Appaltatore nella "Tabella di Correlazione" allegata ai DDT.

La Direzione Lavori, utilizzando la "Tabella di Correlazione" allegata al DDT, dovrà verificare che i "Componenti Elementari", inseriti nei "colli di imballaggio" consegnati, siano coerenti al piano di produzione e approvvigionamento.

I "colli di imballaggio", riferiti a coil/lotti per i quali non siano ancora pervenuti i certificati riferiti alle prove sui campioni prelevati in stabilimento dovranno essere accantonati e debitamente stoccati, a cura e sotto la custodia e responsabilità dell'Appaltatore, in apposita area dedicata e correttamente identificata; sarà onere della Direzione Lavori verificare il rispetto di tale prescrizione.

La Direzione Lavori dovrà provvedere immediatamente a far allontanare le eventuali forniture per le quali gli esiti delle prove sui campioni prelevati abbiano dato esito negativo.

Le successive verifiche sulla fornitura dovranno essere eseguite su richiesta e sotto la supervisione della Direzione Lavori.

Dal materiale giunto in cantiere dovranno essere prelevati dal Direttore dei Lavori i campioni che l'Appaltatore provvederà, a sue spese, a far recapitare ad uno o più laboratori incaricati dalla Committente, previa compilazione di apposito Verbale di Prelievo, sottoscritto da DL e Appaltatore, dove dovranno essere indicati i dati relativi ai campioni prelevati (es. punzonatura e codice identificativo per le barriere in acciaio), oltre al luogo e data del prelievo.

I campioni dovranno essere efficacemente siglati da DL e Appaltatore all'atto del prelievo, al fine di comprovare che il campione prelevato sia quello effettivamente recapitato presso il laboratorio. I costi delle prove restano a carico della Committente.

La D.L. è sempre tenuta a campionare i prodotti in fase di accettazione delle forniture.

Le verifiche riguardano:

1) <u>Prove relative agli acciai</u>
   Da effettuarsi conformemente a quanto specificato nel precedente capitolo 37.7.

I campionamenti in cantiere dovranno essere effettuati, in via prioritaria ma non esclusiva, su elementi derivanti da coil non assoggettati a verifiche per il controllo delle caratteristiche dell'acciaio in fase di produzione.

Per quanto riguarda le barriere in acciaio, le campionature, estese ai diversi componenti elementari delle medesime, comporteranno l'estrazione di almeno n. 3 campioni per ogni componente elementare ed avverranno con almeno le seguenti frequenze:

a. Barriere da Bordo Laterale e Spartitraffico: ogni 1000 m di fornitura di ciascuna tipologia (con almeno una verifica per ciascuna tipologia impiegata) fino a 5000 m, ogni 2000 m per le quantità eccedenti i 5000 m;

b. Barriere da Bordo Ponte: ogni 500 m di fornitura di ciascuna tipologia (con almeno una verifica per ciascuna tipologia impiegata) fino a 1000 m, ogni 1000 m per le quantità eccedenti i 1000 m.

Nel caso di forniture non significative o comunque non oggetto di campionamento in stabilimento come indicato al § 37.7, i campionamenti in cantiere dovranno essere effettuati secondo le seguenti frequenze.

c. Barriere da Bordo Laterale e Spartitraffico: ogni 500 m di fornitura di ciascuna tipologia (con almeno una verifica per ciascuna tipologia impiegata) fino a 5000 m, ogni 1000 m per le quantità eccedenti i 5000 m;

d. Barriere da Bordo Ponte: ogni 250 m di fornitura di ciascuna tipologia (con almeno una verifica per ciascuna tipologia impiegata) fino a 1000 m, ogni 500 m per le quantità eccedenti i 1000 m.

2) Prove relative alla bulloneria ed ai tirafondi
Le caratteristiche della bulloneria e dei tirafondi verranno verificate, attraverso campionature eseguite a cura della Direzione Lavori, al fine di controllare la rispondenza alla "classe" prevista in progetto; i controlli verranno effettuati, per ciascuna tipologia, in riferimento alle Norme di cui al paragrafo 37.2 e all'Art. 25 del presente Capitolato, secondo le cadenze indicate al precedente punto 1).

In presenza di anomalie il materiale dovrà essere sostituito con altro rispondente alle specifiche di progetto a cura e spese dell'Appaltatore. I materiali rifiutati dovranno essere immediatamente allontanati dal cantiere a cura e spese dell'Appaltatore.

3) Prove relative alle caratteristiche dei rivestimenti anticorrosivi
Il rivestimento delle superfici dei profilati a freddo, della bulloneria e dei tirafondi sarà ottenuto con zincatura a bagno caldo il quale dovrà presentarsi uniforme, perfettamente aderente, senza macchie, secondo le norme UNI EN ISO 1461.

Le quantità minime di rivestimento di zinco per spessore ed unità di superficie andranno verificate secondo quanto esposto nell'appendice D della suddetta Norma.

In presenza di componenti elementari rivestiti mediante processo di zincatura in continuo le quantità minime (per spessore) della pellicola di rivestimento dovranno rispettare le indicazioni della tabella di §37.7.2.2 e le indicazioni di norma UNI EN 10346.

I controlli verranno effettuati attraverso campionature effettuate con le stesse frequenze di cui al punto 1).

Nel caso in cui, in sede di accettazione, uno o più componenti della barriera, a seguito delle verifiche eseguite, non risultino conformi alla norma UNI EN ISO 1461, la fornitura di detti elementi sarà rifiutata.

Per irregolarità relative alla qualità e spessori della zincatura, l'Appaltatore sarà tenuto a sostituire, a sue spese, i materiali in difetto con altri che corrispondano alle caratteristiche richieste. I materiali rifiutati dovranno essere immediatamente allontanati dal cantiere a cura e spese dell'Appaltatore.

4) Controlli Dimensionali
Per quanto riguarda le verifiche dimensionali dei diversi componenti elementari delle barriere, la Direzione Lavori effettuerà verifiche, con le stesse frequenze di cui al precedente punto 1).

La conformità della produzione alle specifiche progettuali sarà valutata in ragione delle dimensioni nominali degli elementi costitutivi dei singoli dispositivi oggetto di fornitura.

In presenza di anomalie il materiale dovrà essere sostituito con altro rispondente alle specifiche di progetto a cura e spese dell'Appaltatore. I materiali rifiutati dovranno essere immediatamente allontanati dal cantiere a cura e spese dell'Appaltatore.

37.9 Verifiche sul dispositivo installato

La Direzione Lavori e l'Appaltatore eseguiranno su strada, con la cadenza che la DL riterrà opportuna nel rispetto delle frequenze minime nel seguito indicate:

1) controlli sul dispositivo installato in termini di conformità dei componenti elementari, del montaggio e dell'installazione in relazione alle indicazioni e alle tolleranze indicate rispettivamente nel manuale di utilizzo e manutenzione del dispositivo e nel progetto di installazione;

2) controlli di idoneità dei supporti e del collegamento dei dispositivi ai supporti per garantire le prestazioni volute per i componenti, al fine del corretto funzionamento dei dispositivi di ritenuta installati.

Quanto sopra viene dettagliato.

37.9.1 Verifiche di conformità e geometriche sul dispositivo installato

Tali verifiche consisteranno quanto meno nelle seguenti tipologie:

A. per barriere bordo laterale e spartitraffico, verifica dell'altezza degli elementi longitudinali del dispositivo rispetto al piano di rotolamento della pavimentazione, verifiche della conformità e del corretto montaggio degli elementi nel rispetto del manuale di utilizzo e installazione;
B. per barriere bordo ponte, verifica dell'altezza degli elementi longitudinali del dispositivo rispetto al piano di rotolamento della pavimentazione e rispetto alla sommità del supporto, verifica dell'altezza della sommità del supporto rispetto al piano di rotolamento della pavimentazione, verifiche della conformità e del corretto montaggio degli elementi nel rispetto del manuale di utilizzo e installazione;

C. verifica della posizione trasversale dei dispositivi di ritenuta rispetto al ciglio stradale o diverso "filo fisso" indicato in progetto;
D. verifiche di verticalità/ortogonalità degli elementi verticali;
E. verifica di rispondenza geometrica al progetto costruttivo per transizioni/collegamenti, terminali, cuspidi e attenuatori d'urto, punti singolari.

Si dispone l'esecuzione delle seguenti verifiche:

per le tipologie da A a D di cui sopra:

1 in capo all'Appaltatore controllo visivo sistematico della conformità e del corretto montaggio degli elementi nel rispetto del manuale di utilizzo e installazione ed esecuzione di almeno tre misure per ogni tipologia di verifica geometrica ogni 100 metri di dispositivo installato, salvo poi incrementare le misure in caso di valori non adeguati. Tali verifiche devono essere riassunte in un report da consegnare alla Direzione Lavori.

2 In capo alla Direzione Lavori in contraddittorio con l'Appaltatore controllo visivo sistematico della conformità e del corretto montaggio degli elementi nel rispetto del manuale di utilizzo e installazione ed esecuzione di almeno tre misure per ogni tipologia di verifica geometrica ogni 100 metri di dispositivo installato, salvo poi incrementare le misure in caso di valori non adeguati. Tali verifiche devono essere riassunte in un report congiunto.

per la tipologia E:

3 in capo all'Appaltatore su tutti i dispositivi complementari la verifica di rispondenza geometrica al progetto costruttivo. Tali verifiche devono essere riassunte in un report da consegnare alla Direzione Lavori.

4 In capo alla Direzione Lavori in contraddittorio con l'Appaltatore su tutti i dispositivi complementari la verifica di rispondenza geometrica al progetto costruttivo. Tali verifiche devono essere riassunte in un report congiunto.

NOTA BENE: I controlli di conformità sono finalizzati anche a riscontrare difformità di montaggio e installazione rispetto al Progetto e al Manuale di utilizzo e installazione del dispositivo non precedentemente concordate con la Direzione Lavori, quali a titolo esemplificativo l'omissione di componenti elementari (a esempio paletti) o l'esecuzione su questi di lavorazioni in opera quali forature o tagli (sia con ossitaglio che con fresa).

37.9.2 Controlli sui Tirafondi (Barriere da Bordom Ponte e New Jersey)

Tirafondi ed ancoraggi al suolo dei dispositivi di ritenuta devono essere verificati in relazione alle specifiche di progetto (dimensionamenti) e/o al manuale di montaggio del produttore.

Preliminarmente alla posa dei tirafondi/ancoraggi occorre eseguire le seguenti verifiche sulla profondità e pulizia dei fori:

1 verifica a cura dell'Appaltatore sul 100% del totale dei fori con evidenza del controllo effettuato, documentato da apposito report (firmato dall'Appaltatore e corredato di documentazione fotografica che identifica chiaramente la parte oggetto di controllo) da trasmettere alla Direzione Lavori;

2 verifica a cura della Direzione Lavori in contraddittorio con l'Appaltatore almeno sul 20% del totale dei fori, a mezzo report (corredato di documentazione fotografica che identifica chiaramente la parte oggetto di controllo) sottoscritto dalle parti.

Sarà comunque facoltà della Direzione Lavori prevedere anche la verifica della lunghezza della barra dei tirafondi dopo la loro installazione a mezzo di idonee strumentazioni ad ultrasuoni.

Sui tirafondi saranno, inoltre, da eseguire prove di pull-out in regime confinato mediante laboratorio accreditato e incaricato dalla DL con l'obiettivo di verificare la corretta messa in opera dell'ancorante post installato. Le indicazioni sul livello di carico da applicare dovranno essere desunte in primis dal manuale di installazione e successivamente dalla documentazione tecnica o di progetto.

Tali controlli verranno eseguiti a cura della Direzione Lavori in contraddittorio con l'Appaltatore.

Per ogni impianto di barriera, salvo diverse indicazioni, dovranno essere eseguite prove di pull-out su almeno il 15% del totale dei punti di fissaggio (omogeneamente distribuiti).

Per punto di fissaggio è da intendersi da intendersi il singolo montante in caso di barriera metallica o il singolo punto di ancoraggio al cordolo nel caso di barriera continua tipo NJ.

Sarà da prevedersi una verifica per ogni punto di fissaggio da intendersi come una prova per singolo montante, in caso di barriera metallica, e per punto di ancoraggio al cordolo, in caso di barriera continua tipo New Jersey.

Per dispositivi di ritenuta che prevedano l'ancoraggio al supporto avvalendosi di soluzioni imbullonate, occorrerà accertare con prove di sfilamento "ad hoc" la tenuta del componente infisso. Le modalità di prova dovranno essere specificate nel manuale di montaggio del prodotto. Per ogni impianto di barriera, salvo diverse indicazioni, dovranno essere eseguite prove di sfilo su almeno il 15% del totale dei punti di fissaggio (omogeneamente distribuiti).

Per dispositivi di ritenuta che prevedano l'ancoraggio al supporto in asfalto o in asfalto/misto cementato (o assimilabile) avvalendosi di chiodi di fissaggio, occorrerà accertare con prove di sfilamento "ad hoc" la tenuta del componente infisso.

Altrettanto dovrà essere fatto in relazione al comportamento a traslazione del chiodo che assoggettato ad una forza radente, rappresentativa di quella d'impatto, non potrà comportarsi diversamente da quanto appurato in sede di ITT in termini di cedimenti e spostamenti sia del chiodo sia del supporto. Le modalità di prova dovranno essere specificate nel manuale di montaggio del prodotto, così come i carichi da applicare e le prestazioni attese. Per ogni impianto di barriera, salvo diverse indicazioni, dovranno essere eseguite prove di su almeno il 15% del totale dei punti di fissaggio (omogeneamente distribuiti).

In caso di esito negativo la Direzione Lavori disporrà la sostituzione, a cura e spese della Appaltatore, del/dei tassello/i interessato/i e disporrà prove supplementari in escalation; a seguito dei risultati di tale approfondimento disporrà le azioni ritenute necessarie nei confronti dell'Appaltatore.

37.9.3 Prove di serraggio

L'Appaltatore dovrà inoltre fornire al Direttore dei Lavori una procedura per il corretto serraggio dei bulloni delle barriere con l'indicazione degli utensili che prevede di utilizzare comprensiva dell'indicazione dei valori della coppia di serraggio e delle relative soglie di accettazione.

Le indicazioni sui valori di controllo delle coppie di serraggio saranno desunte dalla procedura per il corretto serraggio dei bulloni delle barriere che l'Appaltatore è tenuto a presentare al Direttore dei Lavori ed a includere nel manuale di montaggio.

L'Appaltatore, preventivamente all'avvio delle attività, dovrà dare evidenza dell'attrezzatura di cui intende fare utilizzo per il serraggio delle unioni bullonate, fornendo specificatamente documentazione attestante la taratura in corso di validità della stessa e la coerenza con le coppie di serraggio da raggiungere.

Al termine del montaggio delle barriere occorre eseguire la verifica del serraggio dei bulloni nella seguente modalità:

- verifica a cura dell'Appaltatore del 100% degli ancoraggi al piede ed almeno il 20% del totale delle rimanti unioni bullonate, con evidenza a mezzo report del controllo effettuato da trasmettere alla Direttore dei Lavori;
- verifica a cura della Direzione Lavori in contraddittorio con l'Appaltatore almeno sul 10% del totale dei bulloni con evidenza a mezzo di certificato di laboratorio o report.

È prescritta inoltre la verifica del sovra serraggio sul 5% dei bulloni da eseguire in contraddittorio tra Appaltatore e Direzione dei Lavori.

In caso di esito negativo la Direzione Lavori disporrà il ri-serraggio, a cura e spese della Appaltatore, del/dei collegamento/i bullonato/i interessato/i e disporrà prove supplementari in escalation; a seguito dei risultati di tale approfondimento disporrà le azioni ritenute necessarie nei confronti dell'Appaltatore.

37.9.4 Prove di spinta ("push") per barriere a paletti infissi nel terreno

A conclusione dell'attività di posa, potranno essere eseguite, a discrezione della Direzione Lavori, prove di push-pull al fine di verificare la correttezza della posa stessa e la conformità del dispositivo di ritenuta ai risultati delle prove in accettazione.

La Direzione Lavori sceglierà a propria discrezione (§ 37.5.4) modalità di prova, nonché ubicazione e numero di prove da eseguire. Le prove verranno condotte da laboratorio accreditato.

37.9.5 Eventuali ulteriori criteri di campionamento delle prove non distruttive

Per l'esecuzione delle prove strumentali non distruttive di pull-out e serraggio potrà essere definito, nel rispetto dei quantitativi minimi indicati in questo capitolato, un criterio di campionamento che consenta di definire il numero di controlli da eseguirsi per gli "elementi" da sottoporre a controllo facenti parte di ogni "unità primaria" di barriera installata, dove:

- per "unità primaria" si intende un impianto continuo di barriera dello stesso modello;
- per "elementi "si intendono l'insieme degli oggetti omogenei oggetto della specifica prova. Ad esempio, il numero di bulloni di medesima tipologia e valore di coppia da controllare in caso di serraggio, il numero di punti di fissaggio nel caso di prove sul sistema di ancoraggio (pull-out).

Per la definizione del criterio di campionamento si potrà fare riferimento alle indicazioni della norma UNI ISO 2859-1 - Procedimenti di campionamento nell'ispezione per attributi quantificando le prove in relazione a un "lot size" corrispondente al n. di "elementi" compresi all'interno dell'unità primaria.

Ulteriori criteri andranno definiti per l'esecuzione di prove supplementari in escalation nel caso gli esiti di controlli di primo livello risultino non positivi.

37.9.6 Prescrizioni di installazione di carattere generale

L'installazione dovrà essere eseguita secondo quanto previsto dagli elaborati tecnici del progetto di installazione ed in conformità ai "Manuali di Utilizzo e Installazione" dei singoli dispositivi. In aggiunta a quanto riportato nei predetti documenti vanno tenute presenti le seguenti indicazioni:

a. Nel rispetto e nelle modalità previste all'art. 173 del Regolamento di esecuzione e di attuazione del Nuovo Codice della Strada, sul bordo superiore dei nastri delle barriere metalliche e sul profilo esterno delle barriere in CLS saranno applicati elementi rifrangenti con funzione di delineazione del margine stradale, i quali dovranno essere preventivamente omologati secondo le norme vigenti ed accettati dalla Direzione Lavori.

b. Per quanto concerne il montaggio, l'Appaltatore sarà tenuto a sua cura e spese al completo rifacimento delle istallazioni o di parte di essi se questi non dovessero essere stati eseguiti conformemente a quando indicato nel progetto e nelle prescrizioni tecniche descritte nei "Manuali di Utilizzo ed Installazione" dei singoli dispositivi.

c. Nel caso di sostituzione di barriera esistente, l'eventuale smontaggio dovrà essere effettuato con cura senza causare rotture o danni. Eventuali danni o perdite saranno imputate all'Appaltatore.

d. Le banchine in terra e le cunette in calcestruzzo, sede dei montanti estratti, dovranno essere perfettamente ripristinate nello stato "quo-ante" ed ogni detrito o materiale di scarto trasportato a rifiuto a cura e spese dell'Appaltatore.

e. I prodotti installati su strada dovranno essere identificati attraverso etichetta indelebile e non rimovibile da apporre sulla barriera (almeno uno ogni 100 metri di installazione) o sul dispositivo. Nel caso di dispositivi marcati CE la targhetta dovrà risultare conforme allo schema allegato al Certificato di Conformità CE e riportante le indicazioni di cui all'appendice ZA.3 della norma EN 1317-5.

f. In tutte le fasi esecutive, comprese le fasi di preparazione e di sistemazione finale delle aree, per gli aspetti e le problematiche relative a temi ambientali, quali impatti acustici e vibrazionali, emissioni in atmosfera, impatto sulle acque superficiali, sotterranee e sul suolo, impatti sulla componente fauna e vegetazione, si rimanda integralmente a quanto prescritto dalla Normativa Nazionale e Regionale vigente, alle prescrizioni degli Enti preposti alla tutela ambientale, nonché alle condizioni ambientali contenute nelle autorizzazioni ed alle disposizioni del Capitolato Ambientale e Piano di Gestione Terre/Piano di Utilizzo allegati al progetto esecutivo.

37.10 Documentazione a seguito dell'installazione

A seguito dell'installazione e in relazione agli esiti positivi di tutte le verifiche precedentemente richiamate, è prevista la redazione della seguente documentazione:

1. Dichiarazioni di corretta posa in opera (art.5 delle Istruzioni Tecniche) ai sensi del DM 2367/2004, in contraddittorio tra Direzione Lavori, Ditta Installatrice; questa dichiarazione è obbligatoria ai fini del collaudo ed è richiesta per tutti i tipi di interventi su strada ad eccezione dei "ripristini di danni localizzati"; deve essere rilasciata una volta ultimata la posa in opera dei dispositivi.

2. Certificazioni del Produttore/i dei Dispositivi di Ritenuta, attestante il corretto montaggio e la corretta installazione, ai sensi dell'art.18 comma 22 dell'Allegato II.12 e art.15 comma 1 lett.p dell'Allegato II.14 al D.lgs. n.36/2023; questa dichiarazione è obbligatoria ai fini del collaudo ed è richiesta per tutti i tipi di interventi su strada ad eccezione di manutenzioni (salvo diversa indicazione da parte della Committente) e ripristini di danni localizzati. Deve essere rilasciata prima dell'apertura al traffico del tratto di strada oggetto d'intervento.

   La certificazione dovrà essere firmata da ingegnere iscritto all'Albo Professionale del pertinente settore, che disponga di rappresentanza legale dell'azienda produttrice.

   La certificazione di corretto montaggio ed installazione riguarda tutti i prodotti (quelli inclusi dal punto 1 al punto 11 di capo 37.3).

3. Elaborati as-built laddove sia necessario apportare modifiche di dettaglio al progetto costruttivo. Gli elaborati as built dovranno essere timbrati e firmati dall'Appaltatore e dalla ditta Installatrice e verificati e approvati dalla Direzione Lavori.

37.11 Modifica in corso d'appalto della documentazione tecnica

Qualora nel corso dell'appalto la documentazione tecnica presentata subisca modifiche/revisioni sarà onere dell'Appaltatore fornirne evidenza alla Direzione Lavori.

L'Appaltatore dovrà verificare e comunicare alla Direzione Lavori che l'aggiornamento della documentazione non crei difformità, in relazione allo specifico appalto, rispetto a quanto già approvato e dovrà evidenziare eventuali ricadute sull'esecuzione dell'appalto. In tal caso sarà suo onere apportare le modifiche necessarie.

37.12 Simulazioni numeriche agli elementi finiti

Laddove il Progetto Esecutivo includa soluzioni tecniche dimensionate avvalendosi delle simulazioni numeriche agli elementi finiti (denominate per brevità "analisi FEM"), l'appaltatore sarà tenuto a replicarle nel caso in cui preveda di introdurre delle variazioni (ivi comprese un dispositivo differente da quanto previsto in PE).

Le suddette dovranno essere eseguite secondo prescrizioni di UNI EN 16303.

Gli scenari simulati dovranno essere rappresentativi delle soluzioni di Progetto Esecutivo.

l'Appaltatore dovrà fornire alla Direzione Lavori evidenza del corretto funzionamento delle soluzioni che intende adottare.

Nel caso in cui il progetto esecutivo preveda specifiche tecniche di tipo prestazionale (§ 37.5.1) gli oneri economici per le simulazioni di transizioni e punti singolari potranno essere riconosciuti all'appaltatore solo nel caso in cui non sussistano le seguenti condizioni:

- simulazioni afferenti a transizioni sviluppate ricorrendo a prodotti dello stesso produttore;
- simulazioni afferenti a transizioni sviluppate ricorrendo a prodotti di produttori diversi, dove il ricorso a prodotti di produttori diversi è conseguenza di una libera scelta dell'appaltatore

e, quindi, non in conseguenza della necessità di rispettare le prescrizioni e le prestazioni di progetto;
- simulazioni afferenti a soluzioni già presenti nel mercato che quindi possono essere rese disponibili dal produttore

Nel caso in cui il progetto esecutivo proponga specifiche barriere e l'Appaltatore intenda fornire barriere equivalenti (§ 37.5.2) le simulazioni saranno un onere economico totalmente in capo all'Appaltatore.

Transizioni e collegamenti ad attenuatori d'urto, terminali, varchi sono un onere a carico del produttore degli stessi.

Nel procedere all'approvazione delle soluzioni proposte la Direzione Lavori si riserva la ripetizione delle stesse analisi a cura di un soggetto terzo da lei individuato. In caso di difformità dei risultati ottenuti tra simulazioni dell'Appaltatore e del soggetto terzo, faranno fede le risultanze dello studio condotto da parte del soggetto terzo incaricato dalla Direzione Lavori.

L'Appaltatore, o chi per esso, su richiesta della Direzione Lavori dovrà rendere disponibili le informazioni e la documentazione attinente alla validazione e calibrazione dei modelli dei dispositivi di ritenuta simulati.

Le competenze tecniche professionali degli analisti ingaggiati nel calcolo computazionale sono specificate nella UNI EN 16303. Inoltre, sono ammessi, in via preferenziale ma non esclusiva, soggetti:

- certificati UNI EN ISO 9001 specificatamente per "sistema di gestione della qualità per progettazione e simulazione mediante meccanica computazionale di prodotti industriali".
- laboratori virtuali certificati UNI EN 17025 specializzati in simulazione di dispositivi di ritenuta stradale.

Al soggetto ingaggiato, oltre a dare evidenza curriculare dell'esperienza maturata secondo indicazioni di UNI EN 16303, verrà richiesto di disporre di regolare licenza d'uso del SW di calcolo per un minimo di 16 "core", dandone evidenza tracciabile.

Art. 38 Recinzioni metalliche di confine della proprietà autostradale, reti di protezione e parapetti

38.1 Generalità e campo di applicazione

Le recinzioni di tipo standard delimitano lo spazio occupato dall'infrastruttura e ne garantiscono la sicurezza impedendo l'ingresso alle persone estranee. Nei tratti di sede stradale, individuati nel progetto, potenzialmente attraversabili da animali terrestri, le recinzioni devono essere di tipo faunistico e devono, oltre ad impedire l'ingresso alle persone estranee, essere dimensionate a seconda del tipo di fauna presente e anche indirizzare gli animali verso punti di attraversamento sicuro (es: attraversamenti faunistici, sponde di corsi d'acqua che sottopassano la strada, sotto viadotti, sopra
gallerie).
La recinzione deve essere posta lungo entrambi i lati del tracciato in modo da essere continua (senza interruzioni), anche in corrispondenza dei tombini dove sarà opportunamente raccordata sull'imboccatura e si chiuderà" al di sotto dei viadotti e sopra le gallerie, collegandosi ogni volta a quella dell'altro lato autostradale.

Le reti di protezione sono generalmente installate sulle strutture di opere d'arte quali viadotti, cavalcavia, muri di sostegno ecc. nella cui area sottostante siano presenti centri abitati, viabilità ordinaria o insediamenti industriali ed il cui scopo è quello di impedire la caduta di oggetti. Tali reti di protezione sono installate anche qualoria sia presente, sulle citate opere d'arte, un marciapiede di servizio.
Qualora le reti di protezione, anche con funzione di parapetto, siano installate su barrere di sicurezza dovranno essere qualificate e controllate secondo i contenuti dell'art. 37 di questo capitolato. Si dovranno impiegare esclusivamente dispositivi testati dal vero nella configurazione con rete a tergo e in tale configurazione dotati di marcatura CE.

Il progetto può prevedere anche parapetti di protezione su opere d'arte e in rilevato che, salvo diverse specifiche dettati da Enti ed Amministrazioni locali, sarà metallico del tipo indicato al § 38.3.10.

In generale, laddove il contratto o i documenti di gara prevedano l'utilizzo di acciai o altri materiali con ridotta emissione di CO_2 nell'atmosfera rispetto a dei valori di riferimento o laddove prevedano l'utilizzo di elementi composti da materiale riciclato, occorre rispettare i requisiti definiti in detti documenti e le prescrizioni specifiche contenute in questo articolo di capitolato. Inoltre il Direttore dei Lavori potrà richiedere della certificazione integrativa o l'esecuzione di prove ulteriori per la verifica del rispetto dei valori di CO_2 dichiarati dall'Appaltatore, delle percentuali del materiale riciclato o di qualsiasi altro parametro, senza che ciò possa dare diritto a richieste di maggiori costi o tempi.

38.2 Normativa di riferimento

- UNI EN 10218-2: Filo di acciaio e relativi prodotti - Generalità - Parte 2: Dimensioni e tolleranze dei fili
- UNI EN 10244-2: Fili e prodotti trafilati di acciaio - Rivestimenti metallici non ferrosi sui fili di acciaio - Parte 2: Rivestimenti di zinco o di leghe di zinco
- UNI EN 10223-4: Fili e prodotti trafilati di acciaio per recinzioni e reti - Parte 4: Recinzioni in rete elettrosaldata

- UNI EN 10245-1: Fili e prodotti trafilati di acciaio - Rivestimenti organici sui fili di acciaio - Parte 1: Regole generali
- UNI EN 10245-2: Fili e prodotti trafilati di acciaio - Rivestimenti organici sui fili di acciaio - Parte 2: Fili rivestiti in PVC
- UNI EN 1461: Rivestimenti di zincatura per immersione a caldo su prodotti finiti ferrosi e articoli di acciaio - Specificazioni e metodi di prova
- COST 341: Habitat fragmentation due to transportation infrastructure. Wildlife and traffic. A European handbook for identifying conflicts and designing solution
- ISPRA Rapporto tecnico 87/2008: Tutela della connettività ecologica del territorio e infrastrutture lineari

38.3 Criteri di accettazione delle recinzioni standard, reti di protezione e parapetti

Le recinzioni standard si distinguono in funzione della loro destinazione e posizione, nelle tipologie indicate negli elaborati progettuali. Laddove tali elaborati non chiariscano tutti i dettagli esecutivi si rimanda ai § seguenti. Per la qualità dei materiali si rimanda al successivo § 38.6.

38.3.1 Recinzione laterale tipo R.1.A alta 1,22 m con rete a maglie elettrosaldate

È la recinzione normalmente usata per i bordi laterali del corpo autostradale ed è costituita da una rete metallica in filo di acciaio, a maglie differenziate dell'altezza di 119,4 cm, sorretta da montanti costituiti da paletti di acciaio di sezione ad U, dell'altezza di 122 cm dal piano di campagna, posti mediamente ad interasse di 2,00 m. La maglia sarà delle dimensioni pari a 50 x 50 mm nella parte inferiore fino al limite indicato negli elaborati e pari a 50 x 75 mm nella parte superiore. Il filo della rete elettrosaldata deve avere diametro pari a 2,2 mm e dovrà essere zincato e quando previsto a progetto, rivestita con una pellicola in PVC di colore verde R.A.L. 6005 (secondo il registro dei colori R.A.L. 840 HR) per uno spessore di 0,2 mm tale per cui lo spessore complessivo del filo sarà pari a 2,6 mm.
Ogni 30 m circa ed in corrispondenza di piccole deviazioni del tracciato, sarà posto un montante di controvento dotato di una saetta di sezione ad U, unita ad esso a mezzo di bulloncini zincati del tipo TDE M 8x25, completi di dado e rondella.
Ogni 100 m circa e nel caso di rilevanti variazioni angolari del tracciato, saranno posizionati montanti di caposaldo, uguali ai precedenti ma dotati di due saette, collegate al sostegno come sopra.
Ai suddetti montanti saranno fissati tre ordini di filo di irrigidimento in acciaio zincato e, se previsto, plasticato di color verde; a questi sarà fermata la rete mediante legature ogni 50 cm in modo che questa aderisca perfettamente e si presenti uniformemente tesa, senza ondulazioni o bombature.
I fili di tensione saranno legati ad ogni montante e tesi da tenditori ad occhiello in acciaio zincato, applicati ad ogni caposaldo. Ogni 100 m di recinzione saranno apposte targhette con la scritta "Divieto di Accesso – I trasgressori saranno puniti a norma di legge".

38.3.2 Recinzione laterale tipo R.1.B. alta 2,12 m con rete a maglie elettrosaldate

È la recinzione normalmente usata per le stazioni - posti di manutenzione - parcheggi - depositi della Società - aree di servizio - sullo spartitraffico adiacente le aree di servizio, nella zona compresa tra gli scambi di carreggiata nei casi in cui il corpo stradale si trovi in prossimità di insediamenti residenziali, industriali o di viabilità ordinaria.
Sarà costituita da una rete delle medesime caratteristiche della precedente, a maglie differenziate, rivestita quando previsto, con una pellicola in PVC di color verde R.A.L. 6005, ma di altezza di 180,3 cm e sormontata da due ordini di corda spinosa, sovrapposti di 14,5 cm; la corda sarà composta da

due fili di acciaio zincato con triboli a quattro punte distanziati fra loro di 10 cm e, quando previsto, plasticata di colore verde.
I montanti intermedi, di controvento e di caposaldo avranno altezza di 212 cm dal piano di campagna e saranno disposti come descritto per la rete del tipo R.1.A., uno o due saette completeranno il sistema di sostegno della recinzione.
La rete sarà fissata a quattro ordini di filo di irrigidimento e montata con le stesse modalità della precedente avendo cura di darla in opera perfettamente fissata e tesata.
Tutti gli altri componenti la recinzione: legatura, targhette, tenditori, bulloni ed accessori vari avranno caratteristiche uguali a quelle descritte per la recinzione di tipo R.1.A.

38.3.3 Recinzione laterale tipo R.2.A. alta 1,25 m con rete a maglie annodate

Sarà posta sui bordi laterali dei tratti autostradali montani o su terreni che presentano delle notevoli variazioni di pendenza.
Sarà composta da una rete a maglie annodate e differenziate, dell'altezza di 120,1 cm, con sostegni e saette delle stesse dimensioni della recinzione di tipo R.1.A.
La rete sarà realizzata con fili orizzontali continui, distanziati fra di loro e ad essi saranno fissati sulla stessa linea verticale n. 15 segmenti di filo aventi lunghezza uguale a quella delle maglie. I segmenti di filo verticali saranno avvolti con due spirali ai fili orizzontali continui.
I montanti di controvento, di caposaldo e gli accessori saranno disposti come quelli per la recinzione R.1.A., ma con diversa posizione dei fori per il fissaggio dei fili tenditori, delle saette e dei tenditori ad occhiello.
Ai montanti saranno fissati tre ordini di filo di irrigidimento ed a questi sarà fermata la rete mediante legature ogni 46 cm, in modo che si adatti perfettamente al profilo dei terreni di posa evitando così la presenza di ondulazioni o bombature di qualsiasi genere.
Tutti gli altri componenti la recinzione: legatura, targhette, tenditori, bulloni ed accessori vari avranno caratteristiche uguali a quelle descritte per la recinzione di tipo R.1.A.

38.3.4 Recinzione laterale tipo R.3.A. alta 1,25 m con rete a maglie elettrosaldate

È la recinzione normalmente usata per i bordi laterali del corpo autostradale.
Sarà costituita da una rete metallica in filo di acciaio a maglie differenziate di altezza di 119,4 cm, sorretta da montanti costituiti da paletti di acciaio dell'altezza di 125 cm dal piano di campagna, posti mediamente ad interasse di 2,50 m. Detta rete sarà elettrosaldata, zincata e quando previsto, rivestita con una pellicola in PVC di colore verde R.A.L. 6005 (secondo il registro dei colori R.A.L. 840 HR).
Ogni 30 m circa ed in corrispondenza di piccole deviazioni del tracciato, sarà posto un montante di controvento dotato di una saetta, unita al sostegno a mezzo di un gancio zincato, oppure mediante staffe, collari e cappellotti. Le saette dovranno essere installate sulla stessa linea della rete.
Ogni 100 m circa e nel caso di rilevanti variazioni angolari del tracciato saranno posizionati montanti di caposaldo, uguali ai precedenti, ma dotati di due saette, anch'esse collegate al sostegno come descritto precedentemente.
I sostegni suddetti saranno costituiti da montanti tubolari in acciaio a sezione circolare con nervatura longitudinale sagomata per permettere il fissaggio della rete; saranno zincati a caldo, sia esternamente che internamente, con una massa minima di zinco pari a 140 g/m² e successivamente rivestiti con una pellicola in poliestere (PE) dello spessore minimo di 60 µm, di colore verde R.A.L. 6005 (secondo il registro dei colori R.A.L. 840 HR), oppure di colore grigio R.A.L. 7030 (in abbinamento alla rete di tipo zincata).
Dovranno avere inoltre un modulo di resistenza minimo di Wx = Wy = 2,30 cm³ per i sostegni intermedi e di 1,30 cm³ per i sostegni di controvento e di caposaldo.

I sostegni saranno dotati di cappucci in alluminio o in plastica del colore previsto.
Il collegamento della rete ai sostegni avverrà mediante graffette a Clips-inox, poste in opera a mezzo di una speciale pinza sagomata, ogni 30 cm, in modo che la rete aderisca perfettamente e si presenti uniformemente tesa, senza ondulazioni o bombature.
I collegamenti tra montanti e saette saranno realizzati con bulloni in acciaio del tipo M 8X30 con un gancio opposto alla parte filettata, completi di bullone in acciaio, guarnizione e rondella in plastica, oppure mediante staffe o collari con i relativi cappellotti del colore previsto.
Ogni 100 m di recinzione saranno apposte targhette in con la scritta "Divieto di Accesso - I trasgressori saranno puniti a norma di legge".

38.3.5 Recinzione laterale tipo R.3.B. alta 1,85 m con rete a maglie elettrosaldate

Sarà ubicata in alcuni posti di manutenzione - parcheggi - depositi della Società - aree di servizio - sullo spartitraffico adiacente le aree di servizio - nella zona compresa tra gli scambi di carreggiata - nei casi in cui il corpo stradale si trovi in prossimità di insediamenti residenziali, industriali o di viabilità ordinaria.
Sarà composta da una rete del tipo R.3.A, ma di altezza 180,3 cm.
I montanti intermedi, di controvento e di caposaldo avranno l'altezza di 185 cm dal piano di campagna e saranno disposti come descritto per la recinzione R.3.A., protetti da un rivestimento dello stesso tipo, precedentemente descritto. Il loro modulo di resistenza minimo Wx e Wy sarà di 2,30 cm³.
La rete sarà fissata ai montanti con le stesse modalità della precedente con graffette inox ogni 30 cm.
Tutti gli altri componenti la recinzione avranno le medesime caratteristiche descritte per la recinzione tipo R.3.A.

38.3.6 Recinzione antiscavalcamento per Aree Di Servizio tipo R.4.B. alta 2,40 m

La recinzione tipo R.4.B. sarà ubicata nei confini della proprietà autostradale in prossimità delle aree di servizio.
La recinzione è costituita da pannelli di rete metallica a maglie rettangolari dell'altezza di 240 cm, sorretta da montanti scatolari opportunamente sagomati, posti ad interasse di 2,53 m.
I pannelli di rete sono composti da due elementi sovrapposti per ogni interasse, di dimensione diverse, realizzati per mezzo di fili verticali e piatti orizzontali elettrosaldati; il secondo pannello avrà la parte superiore inclinata di 45 gradi verso l'esterno per una lunghezza di 40 cm, in modo da impedire l'accesso di persone dall'esterno.
Saranno zincati, previa fosfatazione e rivestiti con una pellicola di poliestere dello spessore di 100 µm, di colore verde R.A.L. 6005 (secondo il registro dei colori R.A.L 840 HR).
Ai tubolari, di sezione quadrata, saranno fissati i pannelli di rete mediante staffe inox e bulloni di sicurezza antisvitamento, ogni 40 cm, in modo che aderiscano perfettamente ai montanti stessi. In caso di terreni ondulati i pannelli saranno posizionati in modo sfalsato mediante l'utilizzo di sostegni più lunghi.
I tubolari saranno zincati a caldo, sia esternamente che internamente con una massa minima di zinco pari a 130 g/m² per ogni faccia, previa fosfatazione: dovranno avere un modulo di resistenza pari a Wx = Wy = 1,35 cm³ e saranno infine rivestiti con una pellicola di poliestere dello spessore minimo di 60 µm, di colore verde RAL 6005 (secondo il registro dei colori R.A.L. 840 HR).
Per collegare tra di loro il pannello inferiore a quello superiore ed entrambi al sostegno saranno utilizzati giunti di collegamento in profilato in acciaio a C, zincati e rivestiti come i tubolari, del colore verde previsto, mentre i cappucci per i sostegni saranno realizzati in plastica, del colore verde previsto, di forma tale da poter essere inseriti perfettamente nei pali scatolari.

Il collegamento della rete ai sostegni avverrà a mezzo di staffe di sicurezza in acciaio pressofuso utilizzando speciali viti di sicurezza che saranno realizzate in acciaio INOX AISI 303 dei tipo TT M 6x60; le suddette viti saranno formate da una semisfera filettata e da una testa esagonale che a serraggio avvenuto si distaccherà dalla parte sferica la quale invece rimarrà a vista.
I relativi copribulloni saranno realizzati in plastica a forma di asola e saranno collocati sulle cavità delle staffe di fissaggio in corrispondenza del bullone a mezzo di silicone, mentre le graffette in acciaio INOX, saranno impiegate per collegare i pannelli in caso di formazione di angolo acuto.
Per motivi di sicurezza, la recinzione dovrà essere installata in modo che la bulloneria e le staffe di fissaggio dei pannelli, rimangano all'interno della proprietà autostradale in modo da impedire eventuali manomissioni.
L'Appaltatore dovrà inoltre fornire tutti gli accessori necessari alla completa esecuzione del lavoro e in particolare nel caso di recinzione installata su tracciati con angoli acuti o ottusi, dovrà provvedere a fornire pali con forme particolari, graffe speciali e quanto altro occorra per avere l'opera rispondente alle necessità richieste.
I cancelli di sicurezza saranno realizzati secondo le prescrizioni, forme e dimensioni contenute nei disegni di Progetto.
Dovranno aprirsi verso l'interno della proprietà autostradale e dovranno essere muniti di serrature anti-trapano del tipo "kama" o di altro tipo che comunque dovranno essere preventivamente approvati dalla Direzione Lavori.
Inoltre, le maniglie dovranno essere posizionate solo nella parte interna del cancello.
Ogni 100 m di recinzione saranno apposte le previste targhette in alluminio con la scritta "Divieto di Accesso - I trasgressori saranno puniti a norma di Legge".

38.3.7 Rete di protezione sulle opere d'arte tipo R.9.A. alta 1,98 m

Questo tipo di protezione sarà montato sui cordoli delle opere d'arte a luce limitata con parapetto metallico nella cui area sottostante siano presenti centri abitati, viabilità ordinaria o insediamenti industriali ed il cui scopo è quello di impedire la caduta di oggetti.
Sarà composta da una rete fissata a dei montanti in acciaio, di sezione ad U, posti dietro i sostegni del parapetto, normalmente ad interasse di 1,33 m, ai quali saranno uniti mediante due fasce di nastro metallico e graffettate.
La rete, alta 193 cm, sarà fissata con legature a quattro ordini sovrapposti di fili di tensione ogni 50 cm, legati ad ogni montante e tesi con tenditori applicati ai montanti terminali e di controvento, come già descritto per la normale recinzione laterale.
Dovrà essere elettrosaldata, zincata, a maglie quadrate e dovrà essere posizionata alla distanza di 2,5 cm dal cordolo del manufatto. All'inizio ed al termine di ogni tratta saranno montate delle saette, di sezione ad U, ancorate con malta di cemento reoplastico in fori da predisporre nel coronamento dell'opera.
Tutti gli altri componenti la protezione: fili di tensione e legature, tenditori, bulloni ed accessori vari avranno le stesse caratteristiche previste per le recinzioni laterali tipo R.1.A e R.1.B.
Si precisa che gli ancoranti di fissaggio del montante all'opera d'arte, sono da considerarsi strutturali e quindi soggetti al §11.4 delle NTC2018. Il fabbricante deve pervenire alla marcatura CE sulla base della pertinente Valutazione Tecnica Europea (ETA) oppure dovrà ottenere un Certificato di Valutazione Tecnica rilasciato dal Presidente del Consiglio dei Lavori Pubblici.

38.3.8 Rete di protezione sulle opere d'arte tipo B alta 2,00 m

Questo tipo di protezione sarà montato sui cordoli delle opere d'arte a luce limitata con parapetto metallico nella cui area sottostante siano presenti centri abitati, viabilità ordinaria o insediamenti industriali ed il cui scopo è quello di impedire la caduta di oggetti.

Sarà composta da una rete fissata, tramite un telaio in profilato ad U 30x60x30 mm, tra montanti in acciaio di sezione IPE 100, normalmente ad interasse di 3,00 m. La rete di protezione è alta da terra complessivamente 2,00 m e presenta nella mezzeria di due montanti consecutivi un rompitratta ad U 30x60x30.
I montanti sono saldati ad una pistra di dimensione 250x250x10 e fissati alla struttura dell'opera con n. 4 bulloni M20. Si precisa che gli ancoranti sono da considerarsi strutturali e quindi soggetti al §11.4 delle NTC2018. Il fabbricante deve pervenire alla marcatura CE sulla base della pertinente Valutazione Tecnica Europea (ETA) oppure dovrà ottenere un Certificato di Valutazione Tecnica rilasciato dal Presidente del Consiglio dei Lavori Pubblici.
La rete, dovrà essere elettrosaldata, zincata, a maglie quadrate 50x50 mm dello spessore di 3 mm e dovrà essere posizionata alla distanza di 2,5 cm dal cordolo del manufatto.
In corrispondenza della mezzeria della rete di protezione, ad un metro dal piano di appoggio, sarà installato un corrimano in acciaio zincato tondo del diametro pari a 60 mm dello spessore pari a 3 mm.
In corrispondenza dello scavalco dei giunti di dilatazione dell'opera d'arte, la rete di protezione deve consentire lo stesso movimento del manufatto su cui è posata. Al riguardo occorre fornire elementi di rete di protezione in grado di scorrere l'uno sull'altro in modo da avere la stessa escursione del giunto.
In corrispondenza di scavalco di linee ferroviarie, il primo metro di altezza da terra del parapetto, dovrà essere realizzato con una lamiera zincata completamente cieca dello spessore di 2 mm in luogo della rete a maglie quadrate. Tale pannello sarà sempre fissato entro un telaio in profilato ad U 30x60x30.
Per ulteriori dettagli si rimanda agli elaborati progettuali.

38.3.9 Rete di protezione sulle opere d'arte tipo C alta 3,00 m

Le caratteristiche di questa rete di protezione sono le stesse di quelle descritte al precedente § 38.3.8 con la differenza che la protezione presenta un'altezza complessiva pari a 3.00 m composta da una parte verticale fino ad un'altezza di 2,62 m e una parte obliqua pendente verso l'interno dell'opera d'arte per uno sviluppo lineare di 0,50 m.
Per ulteriori dettagli si rimanda agli elaborati progettuali.

38.3.10 Parapetto

Le specifiche ASPI per i parapetti posti in corrispondenza di opere d'arte e rilevati prevedono elementi in acciaio zincato con montanti costituiti da profili IPN 120 con passo variabile (compreso tra 1500 e 2500 mm) saldati ad una piastra 150x180x15 mm e fissati alla struttura sottostante con n. 4 tasselli del diametro pari a 16 mm. Si precisa che gli ancoranti sono da considerarsi strutturali e quindi soggetti al §11.4 delle NTC2018. Il fabbricante deve pervenire alla marcatura CE sulla base della pertinente Valutazione Tecnica Europea (ETA) oppure dovrà ottenere un Certificato di Valutazione Tecnica rilasciato dal Presidente del Consiglio dei Lavori Pubblici.
Il parapetto presenta altezza complessiva pari a 1150 mm dal piano di appoggio e comunque mai inferiore a 1100 mm. In testa occorre mettere in opera un corrimano tubolare del diametro pari a 60 mm dello spessore pari a 3 mm sempre in acciaio zincato.
Per ulteriori dettagli si rimanda agli elaborati progettuali.

38.4 Criteri di accettazione delle recinzioni faunistiche

Le recinzioni faunistiche si distinguono in funzione del tipo di fauna presente nel tratto autostradale in esame, nelle tipologie indicate nei § seguenti.

Rispetto alle misure indicate nei § 38.4.1 e 38.4.2, le altezze fuori terra delle recinzioni faunistiche riportate negli elaborati di progetto, possono variare a seconda del tipo di fauna presente nella zona attraversata dall'infrastruttura nelle seguenti misure: 1,50, 1,80, 2,20, 2,40 e 2,60.

38.4.1 Recinzione laterale tipo R.1.C. "FAUNISTICA" alta m 1,80

Rete metallica elettrosaldata a maglia 2,5x5,0 cm alta 1.80 m (±3 cm) in totale (interrata per 0,20 m, fuori terra per 1,60 m) in filo di acciaio di diametro minimo 2,2 mm, zincata e rivestita con una pellicola in PVC di colore verde R.A.L. 6005 (secondo il registro dei colori R.A.L. 840 HR) per uno spessore di 0,2 mm tale per cui lo spessore complessivo del filo sarà pari a 2,6 mm.
Tale rete metallica deve avere alla base uno e in sommità due ordini di filo liscio del tipo usato per i tenditori e fissata a quattro ordini di filo di irrigidimento distanziati 30 cm, avendo cura di darla in opera perfettamente fissata e tesata. I fili di tensione hanno diametro minimo 3 mm e sono sempre disposti al livello della rete stessa (in corrispondenza delle maglie e non liberi sopra le stesse, fuori sagoma). I fili zincati per le legature (previste nel numero minimo di 12 a metro lineare) hanno diametro minimo 1,4 mm.
La rete è sorretta da montanti intermedi costituiti da paletti di acciaio di diametro minimo 2" posti mediamente ad interasse di 2 m. I pali sono lunghi 2,60 m, ancorati al suolo mediante idonei blocchi di calcestruzzo di sezione minima 0,25x0,25 m e profondità 0,50 m, gettati a una profondità di 1,00 m dal piano campagna, per consentire il ricoprimento superiore col terreno scavato.
A tale rete è accoppiata sul lato autostradale una seconda rete a maglia fine, fissata in modo che rimanga ben in tensione senza la formazione di tasche. Tale seconda rete è metallica a maglia 4x4 mm (se questa maglia non risultasse disponibile sul mercato, è ammessa la maglia 6,63x6,63 mm) alta 1,00 m in totale (interrata per 0,20 m) in filo di acciaio di diametro minimo 0,65 mm, elettrosaldata, zincata con alla base e in sommità filo liscio del tipo usato per i tenditori e fissata a due ordini di filo di irrigidimento distanziati 20-30 cm. I fili zincati per le legature (previste nel numero minimo di 8 a metro lineare) hanno diametro minimo 1,4 mm. Tale rete è data in opera accoppiata sul lato autostradale alla recinzione precedentemente descritta, perfettamente fissata e tesata in modo che rimanga ben in tensione soldale alla recinzione suddetta senza la formazione di tasche. A tale scopo si prevedono legature con fili zincati di diametro minimo 1,4 mm nel numero minimo di 15 a metro lineare.
Le reti sono fissate sui pali dal lato opposto alla strada.
Per tutto quanto qui non specificato occorre riferirsi alla recinzione tipo R.1.B.

38.4.2 Recinzione laterale tipo R.1.D. "FAUNISTICA" alta m 2,20

Rete metallica a maglia 2,5x5,0 cm alta 2.20 m in totale (interrata per 0,20 m, fuori terra per 2,00 m) in filo di acciaio di diametro minimo 2,2 mm, elettrosaldata, zincata e rivestita con una pellicola in PVC di colore verde R.A.L. 6005 (secondo il registro dei colori R.A.L. 840 HR) per uno spessore di 0,2 mm tale per cui lo spessore complessivo del filo sarà pari a 2,6 mm.
Tale rete metallica deve avere alla base uno e in sommità due ordini di filo liscio del tipo usato per i tenditori e fissata a quattro ordini di filo di irrigidimento distanziati 40 cm, avendo cura di darla in opera perfettamente fissata e tesata. I fili di tensione hanno spessore minimo 3 mm e sono sempre disposti al livello della rete stessa (in corrispondenza delle maglie e non liberi sopra le stesse, fuori sagoma). I fili zincati per le legature (previste nel numero minimo di 12 a metro lineare) hanno diametro minimo 1,4 mm.
La rete può essere realizzata mediante l'accoppiamento di una rete alta 1,50 m (±3 cm) e un'altra alta 1,00 m (±3 cm) sovrapponendole per 0,30 m.
La rete è sorretta da montanti intermedi costituiti da paletti di acciaio di diametro minimo 2" posti mediamente ad interasse di 2 m. I pali sono lunghi 3,00 m, ancorati al suolo mediante idonei blocchi

di calcestruzzo di sezione minima 0,25x0,25 m e profondità 0,50 m, gettati a una profondità di 1,00 m dal piano campagna, per consentire il ricoprimento superiore col terreno scavato.
A tale rete è accoppiata sul lato autostradale una seconda rete a maglia fine, fissata in modo che rimanga ben in tensione senza la formazione di tasche. Tale seconda rete è metallica a maglia 4x4 mm (se questa maglia non risultasse disponibile sul mercato, è ammessa la maglia 6,63x6,63 mm) alta 1,00 m in totale (interrata per 0,20 m) in filo di acciaio di diametro minimo 0,65 mm, elettrosaldata, zincata con alla base e in sommità filo liscio del tipo usato per i tenditori e fissata a due ordini di filo di irrigidimento distanziati 20-30 cm. I fili zincati per le legature (previste nel numero minimo di 8 a metro lineare) hanno diametro minimo 1,4 mm. Tale rete è data in opera accoppiata sul lato autostradale alla recinzione precedentemente descritta, perfettamente fissata e tesata in modo che rimanga ben in tensione soldale alla recinzione suddetta senza la formazione di tasche. A tale scopo si prevedono legature con fili zincati di diametro minimo 1,4 mm nel numero minimo di 15 a metro lineare.
Le reti sono fissate sui pali dal lato opposto alla strada.
Per tutto quanto qui non specificato occorre riferirsi alla recinzione tipo R.1.B.

38.5 Criteri di accettazione dei cancelli di accesso

Se non diversamente specificato nel progetto, i montanti e i profilati con cui sono formati i cancelli di accesso interposti nelle recinzioni metalliche, sono in acciaio del tipo S235 JR secondo quanto indicato al § 38.6.1.1 e zincati a caldo. Possono essere pedonali o carrabili a una o due ante anche elettrificati ove previsto a progetto.
Rete delle ante dei cancelli deve essere conforme alle specifiche del progetto e se non diversamente specificato composta con elettrosaldata maglia 10x10 cm con filo del diametro non inferiore a 5mm zincato a caldo. Nei tratti, ove è posto il cacello, potenzialmente attraversabili da animali terrestri faunistici, può essere richiesto dal Progetto o dal Direttore dei Lavori l'aggiunta, in sovrapposizione alla rete 10x10 tra quelle di cui ai § 38.4.1 e § 38.4.2.

38.6 Criteri di accettazione dei materiali costituenti le recinzioni e cancelli di accesso

38.6.1 Qualità dei materiali

38.6.1.1 Montanti, profilati e saette

I montanti i profilati e le saette impiegati per le recinzioni, le reti di protezione, i parapetti e per i cancelli dovranno essere della qualità S235 JR e conforme alle norme UNI EN 10025-2,3,4, UNI EN10210-1 e UNI EN 10219-1. Tali acciaio dovranno essere zincati a caldo in conformità alla norma UNI EN ISO 1461 nel rispetto della prestazione richiesta considerando come classe di durabilità la VH (very high, secondo il prospetto 2 della UNI EN ISO 14713-1) e come categoria di corrosività la C4 (alto, secondo il prospetto 1 della UNI EN ISO 14713-1).

38.6.1.2 Rete di recinzione, protezione e parapetto

La rete, i fili di tensione e la corda spinosa saranno realizzati in acciaio a basso tenore di carbonio conforme alla norma UNI EN 10223-4, protetto con zincatura forte secondo la UNI EN 10244-2 tabella 1 (classe A) di seguito richiamata per comodità di consultazione:

Table 1 — Mass requirements for a coating of Zn

Diameter *d* mm	Classes [a]					
	A g/m²	AB g/m²	B g/m²	C g/m²	D g/m²	A x 3[b] g/m²
0,15 ≤ *d* < 0,20	—	—	15	—	10	—
0,20 ≤ *d* < 0,25	30	20	20	20	15	—
0,25 ≤ *d* < 0,32	45	30	30	25	15	—
0,32 ≤ *d* < 0,40	60	30	30	25	15	—
0,40 ≤ *d* < 0,50	85	55	40	30	15	—
0,50 ≤ *d* < 0,60	100	70	50	35	20	—
0,60 ≤ *d* < 0,70	115	80	60	40	20	—
0,70 ≤ *d* < 0,80	130	90	60	45	20	—
0,80 ≤ *d* < 0,90	145	100	70	50	20	—
0,90 ≤ *d* < 1,00	155	110	70	55	25	—
1,00 ≤ *d* < 1,20	165	115	80	60	25	—
1,20 ≤ *d* < 1,40	180	125	90	65	25	540
1,40 ≤ *d* < 1,65	195	135	100	70	30	585
1,65 ≤ *d* < 1,85	205	145	100	75	30	615
1,85 ≤ *d* < 2,15	215	155	115	80	40	645
2,15 ≤ *d* < 2,50	230	170	125	85	45	690
2,50 ≤ *d* < 2,80	245	185	125	95	45	735
2,80 ≤ *d* < 3,20	255	195	135	100	50	765
3,20 ≤ *d* < 3,80	265	210	135	105	60	795
3,80 ≤ *d* < 4,40	275	220	135	110	60	825
4,40 ≤ *d* < 5,20	280	220	150	110	70	840
5,20 ≤ *d* < 8,20	290	—	—	110	80	870
8,20 ≤ *d* ≤ 10,00	300	—	—	110	80	900

[a] The coating class with a designation starting with A relates to thick coatings (generally final coating). Designations ending in B relate to classes usually but not always obtained by (zinc coating) and subsequent drawing. Classes C and D are standard classes for low mass coating which are usually produced but not exclusively, produced by hot zinc dipping and then wiping.

[b] A x 3 relates to very high mass requirement three times higher than class A. Other multiples of Class A are possible and these classes will be identified in the same way, e.g. A x 4.

Per le reti di recinzione il rivestimento pretettivo alla corrosione tipo Galfan (Zn 95% - Al 5%) soddisfa i requisiti indicati nella precedente tabella.

La maglia deve essere prodotta mediante saldatura a resistenza elettrica in corrispondenza di ogni intersezione tra un filo longitudinale ed un filo trasversale. La resistenza a trazione dei fili longitudinali e trasversali deve rientrare nella gamma da 350 a 950 N/mm^2. La rete di recinzione dovrà essere plastificata con rivestimento in PVC che deve risultare aderente al filo di acciaio secondo uno dei metodi di applicazione indicati nella norma UNI EN 10245-2:

- Classe 1b: filo con rivestimento in PVC applicato mesiante estrusione e fatto aderire al filo di base mediante l'utilizzo di un fondo che può essere polimerizzato termicamente o mediante l'utilizzo di colle organiche;
- Classe 2b: filo che è stato pretrattato con un fondo, polimerizzato termicamente e quindi coperto con una polvere di PVC applicata termicamente o elettrostaticamente per ottenere un rivestimento aderente.

L'aderenza deve essere di valore 0 (impossibile strappare il rivestimento; la porzione sollevata si rompe) o 1 (impossibile scollare ulteriormente il rivestimento; si possono scollare solo porzioni molto piccole utilizzando un coltello) secondo la classificazione indicata al § 5.3.5 della norma UNI EN

10245-1 e pertanto non sono ammesse le classi 1a e 2a che non garantiscono tali valori di aderenza al filo stesso.
Il colore del rivestimento in PVC deve essere verde corrispondente al R.A.L. 6005 (secondo il registro dei colori R.A.L. 840 HR) e deve avere uno spessore di 0,2 mm.
La tolleranza sui diametri dei fili rivestiti di zinco deve risultare rispondente alla classe T1 del prospetto 1 della norma UNI EN 10218-2. Per i fili rivestiti con materiale organico la tolleranza deve rispondere a quanto prescritto nel prospetto 2 della norma EN 10218.
La tolleranza sulla spaziatura della maglia deve essere conforme al prospetto 1 della norma UNI EN 10223-4 riportata di seguito per comodità.

Spaziatura della maglia *x*	Tolleranza
$x \leq 25$	±2,0
$25 < x \leq 50$	±3,0
$50 < x \leq 75$	±4,0
$x > 75$	±5,0

38.6.1.3 Fili per tesaggio, legature e accessori

Il FILO per Tesaggio, è ammesso solo zincato in lega eutettica, zinco alluminio, avente diametro minimo di mm. 3,00 e non superiore a mm. 3,30 è necessario per tre tesate orizzontali da disporre una alla sommità, una al centro ed una alla base della rete.
Il FILO per Legature, è ammesso solo zincato in lega eutettica, zinco alluminio, avente diametro minimo di mm. 1,80 e non superiore a mm. 2,00 è necessario per effettuare tutte le legature tra rete filo e pali.

ACCESSORI:
I TIRANTI devono essere ad occhiello e zincati (o quando previsto, del tipo a molla e sfera di acciaio in monoblocco di zinco pressofuso), di diametro mm. 8, lunghi cm. 16 necessari per il tesaggio dei fili. Da posizionare in ragione di n. 6 ogni palo di caposaldo.
Le TARGHETTE con la scritta "Divieto d'accesso - i trasgressori saranno perseguiti a norma di legge" dovranno essere in alluminio anodizzato di cm. 10 x 20 spessore 5/10.
I BULLONI necessari per il fissaggio delle saette al palo devono essere zincati M8x25mm o M8x30mm con dado e rondella,.

38.6.1.4 Fondazioni dei sostegni

La fondazione dei sostegni delle recinzioni, dei parapetti e dei cancelli dovrà essere eseguita secondo le indicazioni riportate negli elaborati progettuali. Nel caso di fondazioni gettate in opera il calcestruzzo dovrà avere classe di resistenza minima C20/25 con classe di esposizione XC2. L'Appaltatore può, in alternativa alle fondazioni gettate in opera, proporre equivalenti elementi prefabbricati in c.a. o in acciaio. Tale equivalenza deve essere dimostrata a mezzo di idonea documentazione da presentare nelle modalità indicate al § 38.7 e sarà accettata dal Direttore dei Lavori a suo insindacabile giudizio.

38.7 Documenti di prequalifica

L'Appaltatore deve trasmettere al Direttore dei Lavori per approvazione almeno 15 giorni prima dell'inizio delle attività, la documentazione di seguito elencata.

La mancata presentazione della documentazione preliminare comporta la non autorizzazione all'inizio dell'esecuzione dei lavori, né saranno accettate eventuali lavorazioni svolte prima dell'approvazione delle modalità esecutive.

- il Certificato UNI EN ISO 9001 del sistema di gestione qualità delle società produttrici delle recinzioni e dello zincaturificio;
- certificato di laboratorio autorizzato o certificato 3.1 dei requisiti di snervamento (fy), rottura (ft), allungamento a carico max dell'acciaio, resilienza dei montanti, profilati e satte di cui al § 38.6.1.1. I valori di accettabilità di detti parametri sono riportati nelle UNI EN di riferimento in base al tipo di acciaio qualificato (UNI EN 10025-2,3,4, UNI EN10210-1 e UNI EN 10219-1);
- Qualità e rispetto dei requisiti della rete: certificato di conformità presentato dal fabbricante secondo il § 9 UNI EN 10245-2 con allegati i certificati di prova eseguiti a dimostrazione dei requisiti di cui al § 38.6.1.2;
- Per fondazioni prefabbricate dei sostegni, idonea documentazione tecnica a dimostrazione dell'equivalenza statica e di qualità materiali con le tipologie gettate in opera eventualmente previste a progetto (il cls gettato in opera deve essere qualificato, posato e controllato secondo i contenuti dell'art. 20 a cui si rimanda integralmente)
- Per le zincature è richiesto alla consegna del materiale in cantiere, il certificato di conformità ai requisiti della norma UNI EN ISO 1461
- Per i sistemi di ancoraggio la marcatura CE o il Certificato di Valutazione Tecnica rilasciato dal Presidente del Consiglio dei Lavori Pubblici

I requisiti d'accettazione potranno inoltre essere accertati con ulteriori prove a cura della Direzione Lavori sia in fase di prequalifica presso il fornitore (controllo non vincolante per l'autorizzazione), sia in corso d'opera, prelevando il materiale in sito o ancora presso il fornitore, prima e dopo avere effettuato le lavorazioni.

38.8 Modalità esecutive

I lavori di posa in opera della recinzione si svolgeranno ai lati del corpo autostradale e delle sue pertinenze, lungo un tracciato che di norma seguirà il limite della proprietà autostradale, salvo disposizioni diverse della Direzione Lavori.
L'Appaltatore dovrà predisporre per una fascia larga 1,00 m circa e per le tratte previste dal Progetto, il taglio della vegetazione sia erbacea che arbustiva di qualsiasi specie e forma, comprese le piante di alto fusto (rispettando le norme regionali forestali e i regolamenti del verde comunali vigenti in materia e lasciando sul posto, salvagardandoli dalle lavorazioni, eventuali esemplari indicati in Progetto, nei documenti d'appalto, o dalla Direzione Lavori), lo spianamento e la sistemazione del piano di posa della recinzione.
I materiali rimossi dovranno essere di volta in volta allontanati dalle pertinenze autostradali a meno che la Direzione Lavori non disponga il loro reimpiego in sito.
I montanti, come le saette, dovranno essere ancorati al terreno con blocchetti di calcestruzzo o con cordoli di cemento armato, dimensionati fino a resistere senza visibile cedimento ad una spinta orizzontale di 60 kg, applicata sul paletto all'altezza di 1,00 m da terra mentre in caso di terreni rocciosi, strutture in calcestruzzo o pavimentazioni, saranno ancorati in fori di dimensioni adeguate, eseguiti preventivamente e successivamente riempiti di conglomerato cementizio reoplastico.
Al piede della rete e fino a coprire la prima maglia in basso, sarà eseguito un rincalzo con terra o altro materiale analogo.
In corrispondenza di fossi o tombini saranno riportati pezzi di rete verticali od orizzontali sistemati e fissati a chiusura del cavo del fosso o dell'imbocco del tombino; nel caso che la recinzione termini o

inizi contro o sopra un muro di sostegno, la rete dovrà essere prolungata e fissata al muro mediante chiodi sparati in modo da impedire il passaggio o lo scavalcamento dello stesso.
Nel caso di sostituzione di tratti di recinzione obsoleta, è fatto obbligo che i lavori di posa in opera della nuova recinzione seguano immediatamente quelli di rimozione affinché non rimangano tratti non protetti o comunque varchi o passaggi aperti.
L'eventuale rimozione dei sostegni potrà avvenire ad esclusivo giudizio della Direzione Lavori, sia mediante il taglio alla base degli stessi, sia mediante la rottura in sito o l'asportazione dei blocchetti o dei cordoli di fondazione.
La misurazione della fornitura in opera o della rimozione delle varie tipologie di recinzione sarà eseguita per tratte continue comprese fra le due estremità e sarà valutata per il suo sviluppo in opera senza tener conto di eventuali sovrapposizioni.
Per quanto concerne il montaggio, la corretta e regolare esecuzione dei lavori sarà accertata dalla stessa Direzione Lavori che potrà richiedere anche la demolizione dell'opera in caso di grave negligenza.

In tutte le fasi esecutive, comprese le fasi di preparazione e di sistemazione finale delle aree, per gli aspetti e le problematiche relative a temi ambientali, quali impatti acustici e vibrazionali, emissioni in atmosfera, impatto sulle acque superficiali, sotterranee e sul suolo, impatti sulla componente fauna e vegetazione, si rimanda integralmente a quanto prescritto dalla Normativa Nazionale e Regionale vigente, alle prescrizioni degli Enti preposti alla tutela ambientale, nonché alle condizioni ambientali contenute nelle autorizzazioni ed alle disposizioni del Capitolato Ambientale e Piano di Gestione Terre/Piano di Utilizzo allegati al progetto esecutivo.

38.9 Controlli e prove

38.9.1 Controlli a carico dell'Appaltatore

L'Appaltatore è tenuto ad eseguire i seguenti controlli da trasmettere in apposito report alla Direzione Lavori al termine dell'attività di ogni WBS.
All'arrivo in cantiere l'Appaltatore deve controllare:

- Copia del Documento di trasporto DDT
- Rispondenza delle forniture alle specifiche di qualifica e di progetto
- Certificato laboratorio e/o di controllo interno 3.1 di cui alla norma UNI EN 1020 secondo le indicazioni del § 38.6.1
- Certificato di zincatura

Durante la posa degli ancoraggi delle reti su opera d'arte:

- verifica a cura dell'Appaltatore su almeno il 100% del totale dei fori con evidenza del controllo effettuato a mezzo report da trasmettere alla Direzione Lavori e in contraddittorio con la Direzione Lavori sul 20% del totale dei fori a mezzo report sottoscritto dalle parti

Al termine della posa della recinzione, rete e parapetto di ogni wbs l'Appaltatore deve controllare:

- Corretto posizionamento del tracciamento delle recinzioni nel rispetto della posizione planimetrica di progetto a mezzo di opportuno rilievo
- Corretta esecuzione delle fondazioni dei sostegni e del fissaggio alle strutture nel caso delle reti di protezione e dei parapetti
- Corretto montaggio delle recinzioni, delle reti e dei parapetti, secondo gli elaborati di progetto (altezza, saette, irrigidimenti, ecc.)

38.9.2 Prove a carico della Direzione Lavori

I prelievi per i seguenti controlli di accettazione in cantiere devono essere eseguiti, in contraddittorio e con l'assistenza dell'Appaltatore.
Per l'acciaio dei montanti, profilati e saette delle recinzioni, delle reti, dei parapetti e dei cancelli, un prelievo ogni 5.000 m di sviluppo della rete per ogni singolo fornitore per la verifica di:

- qualità acciaio – UNI EN 10315, UNI EN ISO 15350 o al CR 10320 in riferimento a UNI EN 10088-3
- fy tensione snervamento – UNI EN ISO 15630-1, 2 e 3
- ft tensione rottura – UNI EN ISO 15630-1, 2 e 3
- Allungamento a carico max – UNI EN ISO 15630-1, 2 e 3
- spessore locale della zincatura a caldo secondo la norma UNI EN ISO 2178

Per la rete di recinzione e di protezione un prelievo per ogni 5.000 m di sviluppo della rete per ogni singolo fornitore per la verifica di:

- resistenza a trazione – UNI EN 10218-1
- dimensioni del filo – UNI EN 10218-2
- resistenza della saldatura a taglio – Appendice A della UNI EN 10223-4 con requisito di accettazione di cui al § 6.5 della stessa EN 10223-4
- spessore del rivestimento in PVC – UNI EN 10218-2
- aderenza del rivestimento in PVC – UNI EN 10218-1

Prova di pullout sul 5% del totale dei punti di fissaggio a mezzo di certificato di laboratorio con l'obiettivo di verificare la corretta messa in opera dell'ancorante post installato. Le indicazioni sul livello di carico da applicare dovranno essere desunte in primis dal manuale di installazione e successivamente dalla documentazione tecnica o di progetto. In caso di esito negativo la Direzione Lavori disporrà la sostituzione, a cura e spese della Appaltatore, del/dei tassello/i interessato/i e disporrà prove supplementari in escalation; a seguito dei risultati di tale approfondimento disporrà le azioni ritenute necessarie nei confronti dell'Appaltatore.
In aggiunta a quanto sopra sono da eseguire, sempre in contraddittorio, prove pullout fino allo sfilamento di tirafondi sacrificali almeno in numero di una prova per rete e cordolo omogenei.

Qualora le prove eseguite su una serie di campioni risultasse fuori norma, esse saranno ripetute su ulteriori due serie e soltanto se i risultati di queste ultime avranno dato esito positivo il materiale sarà ritenuto idoneo; in caso contrario saranno applicate le penali di seguito elencate.

38.10 Penali

Qualora le caratteristiche e la qualità dei materiali, non dovessero corrispondere ai limiti in precedenza indicati, la partita sarà ritenuta in penale e la Direzione Lavori procederà alla loro applicazione nel modo di seguito descritto:

1) Per irregolarità relative alla qualità dell'acciaio, spessori e dimensioni dei materiali e quanto altro possa concorrere anche in modo parziale a compromettere la resistenza strutturale degli impianti: in questo caso l'Appaltatore sarà tenuto a sostituire a sue spese i materiali in difetto con altri che rispondano alle caratteristiche richieste. I materiali rifiutati dovranno essere immediatamente allontanati dal cantiere a cura e spese dell'Appaltatore.
2) Per irregolarità relative alle caratteristiche delle protezioni anticorrosive dei materiali metallici od altro, che comunque non concorrano a compromettere la resistenza degli impianti:

in questo caso si procederà all'applicazione di una sanzione pari a quelle indicate nella tabella seguente:

PENALI RELATIVE ALLE ZINCATURE	
Variazione percentuale di quantità o qualità anticorrosiva in meno, rispetto al richiesto	**Sanzione percentuale da applicarsi sul prezzo/i relativo all'opera non a norma**
Fino al 10% in meno	10%
Dal 10% al 20% in meno	15%
Oltre il 20% in meno	Sostituzione dei materiali in difetto

3) Per irregolarità relative alle modalità di esecuzione:
in questo caso l'Appaltatore è tenuto a sua cura e spese al completo rifacimento degli impianti o a parte di essi se questi non fossero stati eseguiti secondo le indicazioni progettuali o della Direzione Lavori.

Art. 39 Opere a verde

39.1 Definizione e campo di applicazione

Le presenti Norme regolano i criteri di qualifica, esecuzione e controllo:

- delle "Opere a verde" previste in Progetto, ossia degli interventi a verde di inserimento, riqualificazione e recupero ambientale dell'infrastruttura, compresi quelli di rivestimento delle zone rinverdite nelle fasce di pertinenza stradale così come definite dal DM 05/11/2001 ed eventuali s.m.i. (rilevati, trincee, cunette, ecc.), di ripristino a verde dei cantieri, di sistemazione a verde delle stazioni, delle aree di servizio e di parcheggio, dei punti singolari, dei reliquati, della banchina centrale spartitraffico e di quelli per la formazione delle banchine laterali per il ricarico, la livellazione e la ripresa di aree comunque destinate a verde in progetto;
- degli eventuali lavori preliminari per la preparazione delle aree da inerbire e d'impianto;
- dei lavori di manutenzione degli impianti a carico dell'Appaltatore fino al completo attecchimento delle piante, comprensivi delle sostituzioni delle piante per le eventuali fallanze.

Per eventuali aspetti di "ingegneria naturalistica" non specificati nel presente articolo, o nell'intero Capitolato Speciale di Appalto, si rimanda alle *"Linee guida per capitolati speciali per interventi di ingegneria naturalistica"* edite dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare.

39.2 Normativa di riferimento

- DECRETO 23 febbraio 2004 - Approvazione dei metodi ufficiali di analisi biochimica del suolo
- USDA - NRCS. Soil Taxonomy, 12nd Edition. 2014
- DECRETO LEGISLATIVO 19 agosto 2005, n. 214 Attuazione della direttiva 2002/89/CE concernente le misure di protezione contro l'introduzione e la diffusione nella Comunita' di organismi nocivi ai vegetali o ai prodotti vegetali.
- DECRETO LEGISLATIVO 29 aprile 2010, n.75 - Riordino e revisione della disciplina in materia di fertilizzanti, a norma dell'articolo 13 della legge 7 luglio 2009, n. 88
- DIRETTIVA 2009/128/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO del 21 ottobre 2009 che istituisce un quadro per l'azione comunitaria ai fini dell'utilizzo sostenibile dei pesticidi (Testo rilevante ai fini del SEE)
- DECRETO LEGISLATIVO 14 agosto 2012, n. 150 Attuazione della direttiva 2009/128/CE che istituisce un quadro per l'azione comunitaria ai fini dell'utilizzo sostenibile dei pesticidi
- DECRETO LEGISLATIVO 10 novembre 2003, n. 386 Attuazione della direttiva 1999/105/CE relativa alla commercializzazione dei materiali forestali di moltiplicazione
- Art. 13 del Decreto Legislativo 3 aprile 2018, n. 34 «Testo unico in materia di foreste e filiere forestali»
- D.M. n. 63 del 10 marzo 2020 Criteri ambientali minimi per il servizio di gestione del verde pubblico e la fornitura di prodotti per la cura del verde.

39.3 Criteri di accettazione del terreno vegetale e dei concimi

39.3.1 Generalità sul terreno vegetale

Il "terreno vegetale" è la parte superiore del terreno contenente sostanze organiche ed interessata dalle radici delle colture. Tale materiale da impiegarsi per le opere a verde consiste nel suolo vegetale proveniente dallo scotico (ed eventuale bonifica), se risultato idoneo, e/o nella terra vegetale da approvvigionamento laddove previsto in progetto (Computo Metrico Estimativo, ecc.). Il terreno vegetale proveniente dallo scotico (ed eventuale bonifica) idoneo per le opere a verde corrisponde in spessore all'"orizzonte" (strato) pedologico "A", comprensivo dell'eventuale lettiera superficiale. L'orizzonte A è un orizzonte di superficie composto sia da frazione minerale, che

organica (*humus*); quest'ultima è il prodotto della crescita vegetale e della decomposizione di sostanze biologiche ad opera dei microrganismi, dei vermi e degli altri piccoli animali del suolo (pedofauna). Questo orizzonte viene quindi intensamente alterato e rimescolato da radici e pedofauna. Lo spessore di tale orizzonte A corrisponde, dalla superficie, ad alcuni cm fino anche a 50 cm nei migliori terreni agrari e coincide, in genere, con lo scotico (primi 20 cm), ma nel caso in cui nelle operazioni di cantierizzazione (scotico e bonifica) sia necessario procedere anche all'asportazione di orizzonti di terreno sottostante all'orizzonte pedologico A ritenuto idoneo per le opere a verde, durante le fasi di asportazione e accumulo occorrerà mantenere separati tali orizzonti sottostanti dall'orizzonte superficiale A sopra descritto, in modo che il profilo pedologico complessivo degli orizzonti di terreno asportati sia poi ricostituito rispettando la successione stratigrafica originaria degli orizzonti. In generale, infatti, il profilo tipo di un terreno di copertura è costituito da tre strati corrispondenti agli orizzonti principali A, B e C che assolvono funzioni diverse, semplificando:

- A con funzione prevalente di nutrizione;
- B con funzione prevalente di serbatoio idrico,
- C con funzione prevalente di drenaggio e ancoraggio.

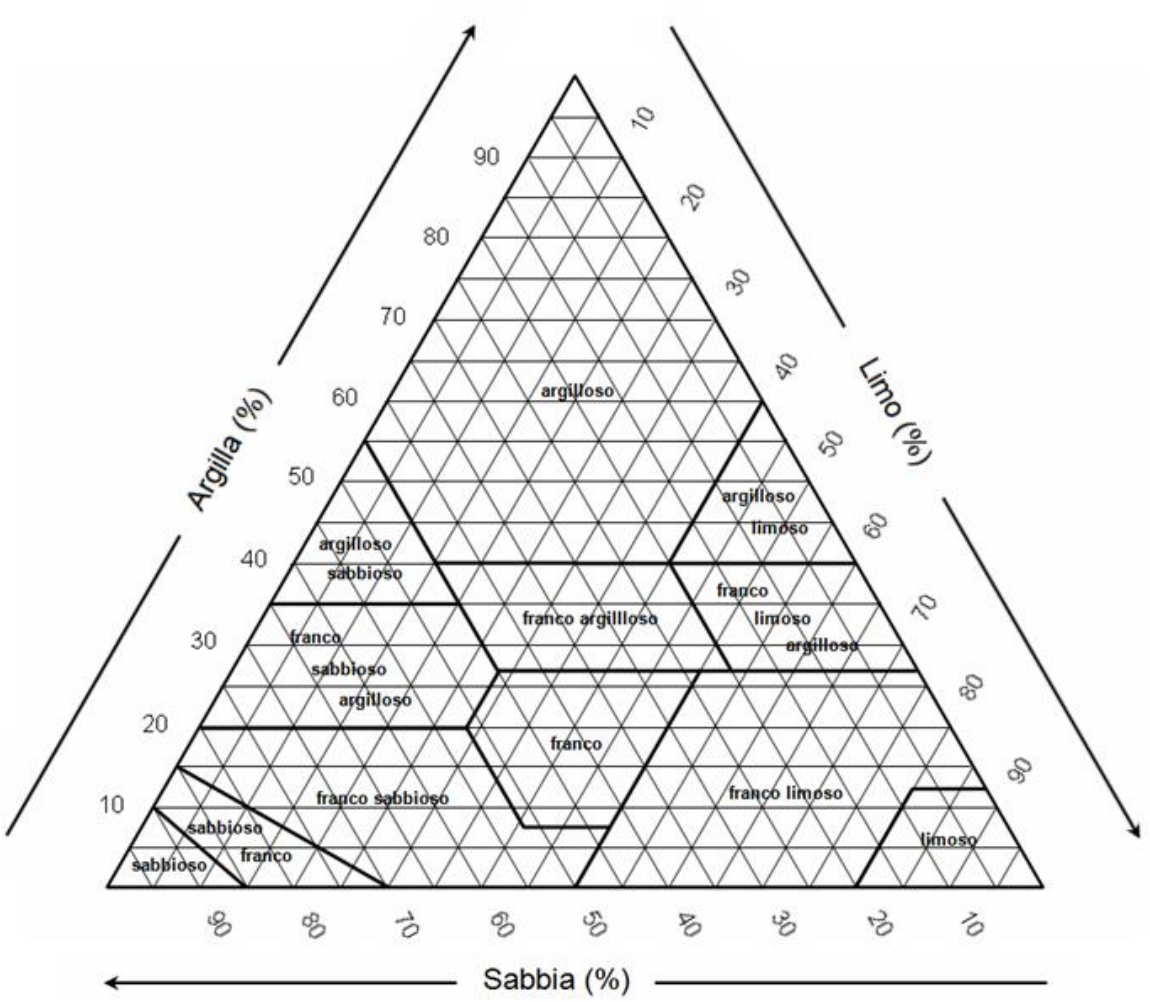
In molti casi l'orizzonte C, in particolare, si viene a formare direttamente per alterazione fisica del substrato in loco, o a ripartire dagli orizzonti profondi residui dopo l'asportazione. Questa indicazione del profilo del terreno di copertura è di carattere generale e deve essere indagata e adattata in relazione alla situazione specifica e alle necessità di cantiere (scotico e bonifica). Comunque, in questo caso di asportazione di orizzonti di terreno sottostante all'orizzonte pedologico A ritenuto idoneo per le opere a verde, è possibile considerare che il profilo pedologico complessivamente dovrà avere una buona profondità utile alle radici (es.: 1,00 m), una capacità d'acqua disponibile (AWC) > 100 mm, una conducibilità idraulica (K_{sat}) moderata (condizionata dallo strato meno permeabile).

39.3.2 Requisiti fisico – chimiche del terreno vegetale

Il terreno da fornire per le opere a verde (cosiddetto "suolo obiettivo": che risponde alle esigenze progettuali) dovrà possedere i *range* analitici di idoneità per le qualità fisico-chimiche di seguito descritti, per la cui determinazione si fa riferimento ai "*Metodi ufficiali di analisi fisica e chimica del suolo*" vigenti, rispettivamente: metodologie S.S.D.S.- U.S.D.A. (1993) e quelle previste dal D.M. 79/1992 e s.m.i. Per il collaudo (ed eventuale monitoraggio) del terreno vegetale, il riferimento dei parametri da considerare sono quindi quelli esposti nel presente paragrafo.

Tessitura

Il *range* di idoneità per tale parametro è valutato secondo il grafico riportato nella figura seguente.



Triangolo delle classi tessiturali (USDA - NRCS. Soil Taxonomy, 2nd Edition. Agricultural Handbook n. 436, 1999)

La tessitura ottimale è quella relativa alle varie classi "franco" (o "di medio impasto", o "terra a tessitura equilibrata") con le relative diverse combinazioni di argilla, limo e sabbia (franco, franco argilloso, franco limoso, ecc.).
In via indicativa, essa si compone di:

	Diametro	*(%)*
sabbia	*2 - 0,02 mm*	*35 - 55*
limo	*0,02 - 0,002 mm*	*25 - 45*
argilla	*< 0,002 mm*	*10 - 25*

e di una frazione trascurabile (inferiore al 20% del volume totale) d'elementi con diametro compreso fra i 2 e i 20 mm (scheletro), oltre che di assenza di elementi più grossolani, di ciottoli e massi.

I parametri chimici dovranno possedere i "valori normali" di seguito indicati.

Analisi chimica	
	Valori "normali"
reazione	pH = 6,8 ÷ 7,3
conducibilità elettrica (salinità) mS/cm	< 4,1
capacità di scambio cationico (CSC)	> 15 me/100g
calcare totale	5 % ÷ 10 %
calcare attivo (%)	5 % ÷ 15 %
sostanza organica (dal C organico per 1,724)	> 2 %
azoto totale	N = 1,5 ÷ 2 %
rapporto C/N	9 ÷ 12 % (equilibrato)
fosforo assimilabile	P_2O_5 > 50 ppm *
potassio scambiabile	K_2O = 100 ÷ 200 ppm *
calcio scambiabile	55 ÷ 70 % della CSC
magnesio scambiabile	50 - 100 ppm
ferro assimilabile	2,5 ppm
manganese assimilabile	1,0 ppm
zinco assimilabile	0,5 ppm
rame assimilabile	0,2 ppm
** Per il fosforo e il potassio alcuni laboratori esprimono i risultati in termini di P e K Tali risultati possono essere trasformati nei corrispondenti P_2O_5 e K_2O moltiplicandoli rispettivamente per 2,3 e 1,2*	

Il pH del terreno vegetale dovrà essere a reazione neutra (*range* di idoneità da pH 6,8 a 7,2). I suoli subacidi (pH da 6,0 – a 6,7) o subalcalini (pH da 7,3 a 8,1) possono essere accettati in relazione ad impieghi per specie tolleranti, previa verifica e autorizzazione da parte della Direzione Lavori.
I "valori normali" della sostanza organica, del fosforo e del potassio definiscono le "sufficienze" per le colture arboree, ma possono anche variare per delle specifiche esigenze. Il calcare va considerato sia nel totale, sia come calcare attivo (in soluzione), in quanto influisce negativamente sull'assorbimento del ferro e dei fertilizzanti fosfatici (per retrogradazione).
Laddove il terreno in loco proveniente dallo scotico di cantiere non abbia le caratteristiche di cui sopra e non sia adattabile con miglioramenti l'Appaltatore dovrà indicare al Direttore dei Lavori per approvazione i migliori parametri raggiungibili per garantire la riuscita delle opere a verde di progetto.

39.3.3 Campionamento del terreno vegetale per la verifica dei requisiti fisico - chimici

Per avere un quadro completo delle caratteristiche pedologiche del terreno vegetale proveniente sia dalle aree di cantiere che da fornitori esterni al centiere stesso, sarà necessario sottoporre ad analisi, in numero adeguato, campioni di suolo che siano rappresentativi secondo le metodiche previste ai sensi dei "Metodi ufficiali di analisi fisica e chimica del suolo" vigenti (S.S.D.S.- U.S.D.A., 1993 e D.M. 79/1992 e s.m.i.). Tali campioni andranno prelevati tramite pozzetti dal terreno vegetale accantonato prelevando un campione ottenuto dall'unione di un certo numero di incrementi (campioni elementari di uguale volume) superficiali e profondi. Gli incrementi verranno omogeneizzati fra loro al fine di ottenere un campione composito che, per quartatura, darà il campione da analizzare. Il numero di incrementi sarà definito di volta in volta sulla base delle dimensioni dei cumuli. In ogni caso, il numero minimo di incrementi con i quali ottenere il campione finale non potrà essere inferiore a 6 ogni 500 m^3.

E' opportuno, pertanto, raccogliere campioni in punti diversi e per ciascun punto procedere al prelievo in:

- un solo orizzonte (0-0,20 m) nel caso di rivestimenti erbacei;
- due diversi orizzonti (0-0,20 m; 0,20-0,50 m) nel caso d'impianti arbustivi e/o arborei

comunque, in funzione dello spessore di terreno vegetale riportato.

All'interno della zona di campionamento i campioni prelevati ad una stessa quota, ma in punti diversi, devono essere mescolati in modo da ottenere un unico campione del peso indicativo di circa 0,5 kg.

I campioni prelevati ed etichettati dovranno venire inviati a Laboratori Ufficiali per l'analisi fisico e chimica. I parametri da indagare sono quelli sopra riportati nel presente articolo (tessitura, scheletro e parameri chimici).

La Direzione Lavori potrà anche richiedere di campionare il terreno vegetale in opera (dopo averlo riportato). In tal caso, in ogni area oggetto di campionamento va individuata la zona di campionamento delimitando una parte dell'area che abbia in comune lo stesso terreno riportato e la stessa morfologia. E' meglio comunque evitare sempre dì campionare in prossimità dei bordi dell'unità pedologica. In questo modo, si potrà arrivare alla suddivisione in una o più zone di campionamento, ognuna delle quali presenti le caratteristiche di omogeneità sopra descritte. Deve, però, essere valutata attentamente l'opportunità di campionare zone di superficie troppo ridotta, per influenzare sensibilmente gli obiettivi che si intendono raggiungere con il campionamento e l'analisi.

Individuata la zona di campionamento si procede prelevando non meno di 6 campioni ad ettaro, evitando i bordi della zona di campionamento e le aree:

- dove hanno stazionato animali;
- di affioramento del sottosuolo;
- aventi differenze di irrigazione e/o drenaggio;
- dove ristagna l'acqua.

Laddove le analisi dei campioni riscontrassero carenze dei parametri sopra descritti, occorrerà prevedere interventi di miglioramento (correzione, concimazione, ammendamento) interrando le sostanze necessarie mediante le lavorazioni del terreno (aratura, fresatura, ecc.) più adatte al sito.

Ulteriori indicazioni sulle modalità di campionamento possono essere impartite dalla Direzione Lavori.

Si precisa, inoltre, che nel terreno vegetale non è ammessa la presenza di radici, d'altre parti legnose, o di qualunque altro materiale o sostanza fitotossica.

Per le aree di cantiere, prima delle operazioni di scotico e bonifica, oltre alla verifica dei requisiti chimico fisici del vegetale occorre che l'Appaltatore provveda all'accertamento dell'effettivo spessore dello strato di suolo (orizzonte A di cui al § 39.3.1) idoneo, quale terreno vegetale, al prelievo per le opere a verde. Prima di effettuare l'asportazione del terreno vegetale e dell'eventuale terreno sottostante, l'Appaltatore dovrà darne comunicazione alla Direzione Lavori, che ne verificherà lo spessore, ne autorizzerà l'area e le relative modalità di accantonamento ed eseguirà il controllo tecnico dell'avvenuto stoccaggio.

Le deficienze riscontrate fra i dati dell'analisi e i "valori normali" dovranno essere corrette a cura e spese dell'Appaltatore all'atto della posa in opera definitiva del vegetale con la somministrazione di correttivi, di ammendanti e/o di concimi descritti nel § 39.7.3.3 secondo la risultanza d'appropriati calcoli a cura ed onere dell'Appaltatore da trasmettere preventivamene ai lavori per approvazione al Direttore dei Lavori.

39.3.4 Concimi minerali ed organici

I concimi sono utilizzati:

- per costruire nel terreno da fornire o sul quale si vuole effettuare un impianto, un'adeguata ed omogenea dotazione d'elementi nutritivi dimostratisi carenti alle analisi di Laboratorio; nel tal caso si parlerà di concimazione di fondo;
- per mantenere la funzione nutritiva del terreno proporzionalmente alle asportazioni, nel qual caso si parla di concimazione di copertura.

Gli elementi che risultano indispensabili sono N, P, K, Ca, MG, S: questi sono denominati macroelementi perché assorbiti in gran quantità.
Gli elementi richiesti in quantità minima sono invece chiamati microelementi e sono: Mn, B, Zn, Mo, Fe.
I concimi sono classificati in base a:

- lo stato fisico: si hanno concimi polverulenti, granulari e liquidi;
- il titolo: indica la percentuale in peso di sostanza attiva rispetto al prodotto commerciale;
- la reazione chimica e fisiologica: ci sono concimi acidi (es. perfosfato), alcalini (es. calciocianammide, scorie Thomas), o neutri che possono comportarsi come fisiologicamente acidi (es. solfato ammonico, cloruro di potassio) o fisiologicamente alcalini (es. nitrato di calcio o di sodio);
- il numero degli elementi apportati: quelli "semplici" portano al terreno un solo elemento (azotati, fosfatici e potassici); quelli "complessi" due o tre elementi (binari o ternari) in forma di granuli;
- la rapidità d'azione: possono essere differenziati in concimi a pronto effetto (es. nitrati) e a lento effetto (es. perfosfato, scorie Thomas). Ultimamente sono andati diffondendosi i concimi "azotati a lenta cessione" o "ritardati".

Questi concimi fissano l'azoto in modo graduale grazie a particolari accorgimenti presi in fase produttiva quali:

- impiego di sostanze a bassa solubilità;
- rivestimento dei granuli con materiali poco permeabili;
- incorporamento di paraffine, gelatine, argille, ecc.;
- aggiunta d'inibitori della microflora (es. ureasi).

I fertilizzanti e gli ammendanti da usare dovranno essere conformi al D.Lgs. 29/04/2010 n. 75 «Riordino e revisione della disciplina in materia di fertilizzanti» e comunque alle norme vigenti in materia, di marca nota sul mercato nazionale, avere titolo dichiarato e, in caso di concimi complessi, avere un rapporto azoto - fosforo - potassio precisato. Dovranno, inoltre, essere consegnati negli involucri originali di fabbrica.
I fertilizzanti organici utilizzati devono contenere sostanze naturali (letami, residui cornei, e/o materiali minerali come sabbia silicea, materiali vulcanici, cabasite, ecc.) e materiali vegetali di recupero che non causano accertati rischi per animali domestici e potenziali rischi per la salute, dovranno inoltre essere forniti o raccolti solo presso fornitori o luoghi approvati dalla Direzione Lavori che si riserva comunque la facoltà di richiedere le opportune analisi, prima e durante la posa in opera.
Anche nel caso di fornitura di concimi organici industriali, questi dovranno essere consegnati negli involucri originali di fabbrica. La scelta e le condizioni d'impiego dei prodotti deve comunque essere approvata dalla Direzione Lavori.
Sono presunti conformi gli ammendanti muniti del marchio in corso di validità rilasciato dal Consorzio italiano compostatori CIC o di altri marchi equivalenti rispetto al criterio. In caso di offerte di prodotti non muniti di tali marchi, l'Appaltatore, deve condurre, a propria cura e spese, a mezzo di laboratori in possesso degli idonei accreditamenti, sulla base di quanto indicato nel regolamento (CE) n.

2003/2003 del Parlamento europeo e del Consiglio relativo ai concimi e successive modificazioni ed integrazioni (quale il regolamento n. 1020/2009) opportune prove a dimostrazione della idoneità dei prodotti proposti.

39.4 Criteri di accettazione dei prodotti fitosanitari

La scelta e le condizioni d'impiego dei prodotti fitosanitari sono subordinate alle disposizioni legislative vigenti in materia e all'approvazione della Direzione Lavori. Tutti i prodotti dovranno comunque essere consegnati negli involucri originali di fabbrica.
Nel comparto della lotta antiparassitaria, a fronte dei problemi ambientali connessi ad un largo uso, o abuso, di prodotti antiparassitari, sono da preferirsi quei metodi d'intervento che sono denominati "lotta guidata" o "vigilata".
Nel rispetto della normativa vigente, Dir. 128/2009 uso sostenibile pesticidi e D.Lgs. n. 150 del 14.08.12, i trattamenti dovranno essere effettuati da "utilizzatori professionali", nelle forme e con i principi attivi consentiti dalla legge.

39.4.1 Materiale vivaistico

Con il termine materiale vivaistico s'individua tutto il complesso delle piante (alberi, arbusti, tappezzanti, ecc.) e delle sementi occorrenti per le opere a verde, inclusa la siepe centrale spartitraffico, per interventi biotecnici anti-inquinamento acustico, ecc.
La fornitura del materiale vegetale dovrà rispettare i dettami del DM 63 del 10 marzo 2020 (Criteri Ambientali Minimi per il verde pubblico).
Le specie vegetali sono quelle previste in progetto e in generale appartengono preferibilmente alle liste delle specie della flora italiana riconosciute dalla comunità scientifica e sono coerenti con le caratteristiche ecologiche del sito d'impianto, garantendo la loro adattabilità alle condizioni e alle caratteristiche pedoclimatiche del luogo, con conseguenti vantaggi sia sul piano della riuscita dell'intervento (ecologica, paesaggistica, funzionale) che della sua gestione nel breve, medio e lungo periodo.
Il materiale da fornire dovrà rispondere per genere, specie compresa l'eventuale entità sottospecifica (varietà e/o cultivar), fenotipo, provenienza e dimensioni a quanto indicato nel Progetto, o nelle possibili prescrizioni degli Enti Competenti riportate negli atti approvativi emersi durante le procedure ambientali, che si sono eventualmente espletate ai sensi delle norme vigenti in materia. A tal proposito, per la scelta di detto materiale, prima del trasporto a piè d'opera, l'Appaltatore dovrà sottoporre alla Direzione Lavori campioni del materiale che intende utilizzare, ed eventualmente convocare la D.L. presso la struttura vivaistica fornitrice, al fine di visionare prima della spedizione i lotti di piante in ordine e redigere apposito verbale di idoneità del materiale predisposto. Restano in ogni modo a carico dell'Appaltatore le eventuali operazioni di sostituzione, nel caso che il materiale scelto non si dimostrasse conforme al Progetto e idoneo.
Il materiale vivaistico dovrà essere sempre fornito di dichiarazione, da effettuarsi su apposite Schede di Valutazione del Materiale Vivaistico, dalle quali risulti:

- vivaio di provenienza;
- genere, specie, eventuali entità sottospecifiche, varietà o *cultivar*;
- origine;
- identità clonale per il materiale da moltiplicazione vegetativa;
- regione di provenienza per il materiale di produzione sessuale;
- Certificato Fitosanitario solo per materiale eventualmente di provenienza da paesi extra UE che viene rilasciato sia in conformità agli artt. 49 e 50 del Decreto Ministeriale del 31 gennaio 1996 e successive modifiche ed integrazioni, sia in base alla convenzione internazionale (*International Plant Protection Convention IPPC*);

- luogo ed altitudine di provenienza per il materiale non proveniente dal materiale di base ammesso dalla normativa vigente;
- applicazione, nella fase di coltivazione in vivaio, di particolari tecniche d'allevamento che limitino e/o eliminino l'incidenza degli oneri manutentori.

Per il materiale di moltiplicazione o propagazione, in particolare, occorre considerare quello reperito nella regione di provenienza (ai sensi del D.Lgs. 386/2003 ed eventuali s.m.i. e delle leggi regionali vigenti in materia, laddove presenti), così da avere le massime garanzie possibili di adattabilità delle piante e quindi di riuscita degli interventi a verde. Fermo restando a quanto eventualmente precisato in Progetto, il materiale dovrà quindi provenire da zone limitrofe, o comunque assimilabili da un punto di vista fitoclimatico, a quelle di impianto, al fine di garantire la piena adattabilità del materiale alle caratteristiche pedo – climatiche del luogo di impiego. Nel caso siano offerte specie alloctone, queste ultime sono esclusivamente non invasive e, nel documento suddetto, è riportata la motivazione di tale scelta basata su principi di riduzione degli impatti ambientali e di efficacia della piantumazione. Infine, laddove previsto, in base alla tipologia di pianta, il passaporto delle piante che attesta l'assenza di organismi nocivi indicati negli allegati al decreto legislativo n. 214/2005.
Dette strutture vivaistiche devono essere dotate d'idonee organizzazioni di produzione, nonché di collaudati centri di ricerca e sperimentazione nel settore forestale e nell'arboricoltura e di un ampio patrimonio di conoscenze ed esperienze tecnico-scientifiche.
Ciò al fine di garantire:

- un'opportuna e mirata sperimentazione, per individuare, nell'ambito dei vari lavori, le caratteristiche genetiche (provenienza, varietà, cultivar, cloni brevettati, ecc.) ottimali, in funzione delle utilizzazioni specifiche;
- l'ottimizzazione delle tecniche di moltiplicazione e d'allevamento, finalizzate sempre al soddisfacimento degli scopi prefissi.

Le specie dovranno essere coltivate con tecniche di lotta integrata e utilizzando preferibilmente substrati contenenti sostanze come il compost di corteccia, fibre di cocco, fibre di legno, truciolato di legno, ecc.
Ogni pianta deve presentare caratteristiche qualitative tali da garantirne l'attecchimento (dimensioni e caratteristiche della zolla e dell'apparato epigeo, resistenza allo stress da trapianto, stabilità, ecc.) come:

- apici vegetativi ben conformati;
- apparato radicale ben formato e con capillizio ampio e integro;
- adeguato rapporto statura/diametro;
- essere sane ed esenti da fitofagi o patogeni che potrebbero inficiarne la sopravvivenza o renderne più difficoltosa la gestione post-trapianto. Inoltre è fornita precisa indicazione sull'origine delle piante e regolare documentazione fitosanitaria. Le piante in zolla non presentano rotture e subiscono l'opportuna preparazione al trapianto.

Tutto il materiale vivaistico dovrà essere esente da attacchi parassitari (in corso o passati) d'insetti, malattie crittogamiche, virus, altri patogeni, deformazioni e/o alterazioni di qualsiasi natura che possano compromettere il regolare sviluppo vegetativo e il portamento tipico della specie, varietà e cultivar.
L'apparato radicale di tutto il materiale vivaistico dovrà essere ricco di piccole ramificazioni e di radici capillari sane e, secondo quanto disposto nei documenti d'appalto, dovrà essere o a radice nuda, o racchiuso in contenitore (vaso, cassa, mastello di legno o in plastica) con relativa terra di coltura, o in zolla rivestita (paglia, plant plast, juta, rete metallica, fitocella).
L'apparato radicale dovrà comunque avere uno spiccato geotropismo positivo.
l'Appaltatore curerà altresì che i contenitori/ zolle e le radici delle piante che non possono essere immediatamente messe a dimora non subiscano ustioni o danneggiamenti e mantengano il tenore

di umidità adeguato alla loro buona conservazione. Le dimensioni dei contenitori e/o delle zolle, in particolare, dovranno essere proporzionate alle dimensioni delle singole piante.
Le piante devono essere singolarmente etichettate o etichettate per gruppi omogenei, ossia possedere cartellini di materiale resistente alle intemperie sui quali sia stata riportata, in modo leggibile e indelebile, la denominazione botanica (genere, specie, varietà, cultivar).

39.4.1.1 Alberi

Devono avere la parte aerea a portamento e forma regolari, simile agli esemplari cresciuti spontaneamente, sviluppo robusto, non filato e che non dimostri una crescita troppo rapida o stentata per eccessiva densità di coltivazione in vivaio, per terreno troppo irrigato, per sovrabbondante concimazione ecc.
Dovranno rispondere alle specifiche indicate nel Progetto e/o nei documenti d'appalto per quanto riguarda le seguenti caratteristiche:

- circonferenza del tronco misurata ad un metro da terra;
- altezza totale;
- altezza d'impalcatura misurata dal colletto al ramo più basso;
- diametro della chioma misurato in corrispondenza delle prime ramificazioni per le conifere, a due terzi dell'altezza per le latifoglie, in corrispondenza alla proiezione a terra della chioma per i cespugli.

Gli alberi dovranno essere trapiantati un numero di volte sufficiente secondo le buone regole vivaistiche, con l'ultima lavorazione delle radici risalente a non più di tre anni.
Le forniture in contenitore costituiranno comunque titolo preferenziale anche per quelle per le quali è espressamente richiesta una fornitura in zolla o a radice nuda.
Le dimensioni dei contenitori e/o delle zolle, nel caso in cui sia espressamente richiesta la fornitura in tale forma, dovranno essere proporzionate alle dimensioni delle singole piante.

39.4.1.2 Piante esemplari

Con il termine "esemplari" s'intende far riferimento ad alberi e arbusti di grandi dimensioni che somigliano, per forma e portamento, agli individui delle stesse specie cresciuti liberamente e quindi con particolare valore ornamentale.
Queste piante devono essere state opportunamente preparate per la messa a dimora; devono cioè essere state zollate secondo le necessità e l'ultimo trapianto o zollatura deve essere avvenuto da non più di due anni. La zolla deve essere stata imballata a perfetta regola d'arte (juta, rete metallica, doghe, casse, plant plast, ecc.) al fine di garantire un corretto e armonico sviluppo della pianta; tali involucri di protezione dovranno essere imprescindibilmente rinforzati, qualora le singole piante superino altezze di 3,50 m, con rete metallica, con pellicola di plastica porosa o altro materiale equivalente.
Le piante esemplari sono evidenziate a parte nel Progetto e/o nei documenti contrattuali.

39.4.1.3 Arbusti, tappezzanti, rampicanti

Devono avere una massa fogliare ben formata e regolare a densità costante a decorrere dalla base; devono possedere un minimo di tre fusti a partire dal colletto e rispondere alle specifiche indicate nel Progetto e/o nei documenti d'appalto per quanto riguarda altezza e/o diametro della chioma. Qualora in Progetto non siano espressamente indicate, le forniture sono da intendersi in vaso di dimensioni proporzionate a quelle delle singole piante.

39.4.1.4 Sementi

Devono essere conformi al genere e specie richiesti in Progetto e/o nei documenti d'appalto.
Devono essere forniti nelle confezioni originali, sigillate e munite di certificato d'identità ed autenticità CRA-SCS con l'indicazione del grado di purezza, di germinabilità e della data di scadenza stabilita dalle leggi vigenti sulla certificazione.
La mescolanza delle sementi di specie diverse da quelle indicate nei documenti d'appalto, qualora non disponibili in commercio, dovrà essere effettuata alla presenza della Direzione Lavori.

39.4.1.5 Contenitori ed imballaggi

I contenitori e gli imballaggi se in plastica devono avere un contenuto minimo di riciclato del 30%, devono essere riutilizzati, ovvero restituiti al fornitore a fine uso, e devono essere riciclabili.
Se realizzati in altri materiali, devono essere biodegradabili qualora destinati a permanere con la pianta nel terreno oppure compostabili ed avviati a processo di compostaggio a fine vita.

39.4.2 Pacciamatura

È la tecnica agronomica che consiste nel ricoprire la superficie del suolo con materiali di varia natura, in modo da impedire o limitare lo sviluppo della vegetazione infestante e ottenere altri vantaggi.
I materiali utilizzabili per mettere in atto questa tecnica possono essere:

- incoerenti degradabili: corteccia di piante arboree resinose uniformemente sfibrata e sminuzzata in spezzoni di dimensioni comprese fra 30x10 mm e 70x30 mm, con un tasso d'umidità inferiore al 20%, libera da insetti e preventivamente trattata con prodotti antimicotici;
- incoerenti non degradabili: materiale lapideo tipo argilla espansa con granuli di dimensioni da 4 mm a 10 mm, inerte sia chimicamente che fisicamente, in grado di creare un campo isolante che mantenga stabile la temperature e il tenore d'umidità del terreno;
- dischi pacciamanti in fibra naturale (cocco, juta) con grammatura non inferiore a 600 gr/m², biodegradabili al 100%, aventi diametro come da Progetto. Ogni disco dovrà:
    - ridurre notevolmente la germinazione e lo sviluppo delle infestanti nel substrato sottostante;
    - proteggere efficacemente dal gelo e dall'irraggiamento solare, mantenendo al tempo stesso il terreno soffice e ben aerato;
    - trattenere l'umidità, limitare l'evaporazione e, quindi, ridurre il consumo dell'acqua d'annaffiamento;
    - garantire una durata media minima di 3 anni.

La Direzione Lavori, su richiesta dell'Appaltatore, potrà autorizzare l'impiego di pacciame approvvigionato sfuso su autocarri, a condizione che i campioni prelevati e sottoposti ad analisi di laboratorio risultino idonei all'impiego specifico.

39.4.3 Torba

È proibito l'utilizzo di ammendanti non rinnovabili (torbe).

39.4.4 Acqua

L'acqua per l'irrigazione d'impianto e per tutti gli altri usi manutentori deve essere assolutamente esente da fattori inquinanti che possono derivare da attività industriali e/o da scarichi urbani o essere costituiti da acque salmastre che per la presenza di sali in concentrazione eccessiva (salinità), o per loro natura (alcalinità), possono provocare danni alla vegetazione.

L'Appaltatore deve dimostrare, nel caso non utilzzi acqua proveniente da aquedotto, l'idoneità all'utilizzo per irrigazione a mezzo di idonee prove e relativo certificato di laboratorio.

39.4.5 Tappeti erbosi in strisce e zolle

Nel caso in cui fosse necessario il rapido inerbimento delle superfici, l'Appaltatore dovrà fornire zolle e/o strisce erbose costituite con le specie prative richieste nei documenti d'appalto (es. cotico naturale, miscuglio di graminacee e leguminose, prato monospecifico, ecc.).
Prima del trasporto a piè d'opera l'Appaltatore dovrà sottoporre alla Direzione Lavori campioni del materiale che intende utilizzare; analogamente, nel caso che fosse richiesto del cotico naturale, l'Appaltatore dovrà prelevare le zolle soltanto in luoghi approvati dalla Direzione Lavori.
Le zolle erbose, a seconda delle esigenze, delle richieste e delle specie che costituiscono il prato, dovranno essere fornite in forme regolari rettangolari, quadrate o a strisce.
Al fine di non pregiudicarne la compattezza, le strisce dovranno essere consegnate arrotolate e le zolle in pallet; in ogni caso dovranno essere evitati danni dovuti alla fermentazione e alla mancata esposizione alla luce del materiale; in tal senso il materiale non dovrà essere lasciato accatastato o arrotolato.
Il materiale dovrà presentarsi completamente rivestito dalla popolazione vegetale e non dovrà presentare soluzioni di continuità. La larghezza del materiale dovrà essere di circa 50 cm con uno spessore di 2-4 cm per raccogliere la maggior parte dell'intrico di radici delle erbe che la costituiscono e poter trattenere tutta la terra vegetale.

39.4.6 Pali tutori e legature

Per fissare al suolo le piante arboree con altezza superiore o uguale ad 1 m l'Appaltatore dovrà fornire pali di sostegno (tutori) adeguati per numero, diametro ed altezza alle dimensioni delle piante.
I pali tutori devono essere di legno impregnato antimarcescente, diritti, scortecciati, appuntiti dalla parte dell'estremità di maggior diametro. La parte appuntita dovrà essere resa imputrescibile per un'altezza di 100 cm circa.
In alternativa, su autorizzazione della Direzione Lavori, si potrà fare uso di pali di legno industrialmente preimpregnati di sostanze imputrescibili. Analoghe caratteristiche d'imputrescibilità dovranno avere anche i picchetti di legno per l'eventuale bloccaggio a terra dei tutori. Le legature in filo di ferro nudo non possono essere utilizzate; dovranno invece essere impiegati speciali collari in adatto materiale elastico (cinture di gomma, nastri di plastica, ecc.), oppure corda di canapa.

39.4.7 Impianto di irrigazione

Fermo restando quanto specificato nel progetto e nel capitolato impianti, l'irrigazione del terreno su cui sono coltivate le piante è svolta utilizzando impianti dotati di adeguati sistemi di misurazione del fabbisogno idrico del terreno, di controllo dell'acqua erogata e di allarmi in caso di guasto.
L'impianto di irrigazione deve consentire di regolare il volume dell'acqua erogata nelle varie zone, deve essere dotato di temporizzatori regolabili, per programmare il periodo di irrigazione, di igrometri per misurare l'umidità del terreno o di pluviometri per misurare il livello di pioggia e bloccare automaticamente l'irrigazione quando l'umidità del terreno è sufficientemente elevata (ad esempio, dopo che è piovuto).
L'impianto deve essere integrato con un sistema di raccolta delle acque meteoriche e, ove possibile, di trattamento delle acque grigie per consentirne l'utilizzo.

39.5 Criteri di accettazione intervento antierosivo e di rinaturalizzazione con specie erbacee perenni a radicazione profonda, sottile e resistente

39.5.1 Generalità

L'Intervento antierosivo e di rinaturalizzazione con specie erbacee perenni a radicazione profonda, sottile e resistente consiste nel trattamento delle superfici in terra o in roccia (non integra e compatta) mediante semina di particolari specie vegetali erbacee perenni a radicazione profonda, sottile e persistente che, grazie all'azione combinata delle loro profonde radici e del rigoglioso fogliame, rinverdiscono la superficie, bloccano l'erosione del suolo e lo proteggono dagli eventi meteorici.

Questo intervento contrasta l'erosione e la desertificazione, ma non può stabilizzare i versanti soggetti a frane che devono, quindi, essere stabilizzati prima dell'intervento antierosivo e presentare un Fattore di sicurezza Fs>1, o comunque con Fs pari o superiore a quanto previsto dalle leggi e normative vigenti, prima della semina.

Si ricorda che l'erosione è la progressiva rimozione dalla superficie del suolo di strati di terreno, attraverso il distacco e il trasporto di singole particelle, ad opera di vari agenti fisici, quali acqua, vento, ghiaccio, ecc. Le frane in generale consistono, invece, nel movimento verso valle di porzioni di terreno o di roccia di varia forma e dimensioni, con diversi cinematismi, ad opera della gravità.

Nell'intervento s'intende compreso tutto quanto occorre per realizzare l'intervento antierosivo e di rinaturalizzazione a perfetta regola d'arte, con esclusione di tutte le opere necessarie per garantire la completa stabilità del versante (Fs>1, o comunque con Fs pari o superiore a quanto previsto dalle leggi e normative vigenti), la captazione e regimentazione di acque meteoriche e profonde ed eventuali lavori di preparazione del substrato precedenti la semina.

39.5.2 Tipologia e qualità dei materiali

L'intervento richiede un miscuglio di sementi (non inferiore a 50 g/mq) di almeno 10-15 essenze vegetali erbacee perenni di specie come previste in Progetto e, inoltre, rispettose sia delle eventuali prescrizioni degli Enti coinvolti nelle procedure di approvazione del Progetto, sia delle eventuali norme nazionali, regionali e locali su specie vegetali da queste vietate, in quantità e proporzioni da definire in base alle caratteristiche pedologiche e microclimatiche del sito oggetto d'intervento e aventi le seguenti caratteristiche:

- rusticità: sono, infatti, utilizzabili come piante pioniere in quanto capaci di vegetare anche in suoli poveri di sostanze organiche ed elementi nutritivi, contribuendo a ripristinare un substrato favorevole alla successiva rinaturalizzazione;
- non infestanti (si definiscono infestanti piante che si propagano in modo virulento e incontrollato e non sono di alcuna utilità);
- non modificate geneticamente (non OGM);
- costituiscono un ottimo foraggio;
- elevata capacità di ricaccio dopo gli incendi;
- adattabilità a condizioni pedoclimatiche anche estreme: temperature da – 40° a +60° C; reazione del terreno compresa da pH 4 a pH 11;
- adattabilità a sopportare sommersioni anche per periodi prolungati;
- capacità di resistere anche in zone estremamente siccitose;
- capacità di vegetare anche su suoli fortemente inquinati da cadmio, cobalto, cromo, rame, mercurio, nichel, piombo, antimonio, selenio, zinco, ecc.;
- non richiedono particolari manutenzioni;

- apparato radicale che presenti le seguenti caratteristiche verificate su campioni di piante che si sviluppano a partire da seme e coltivate in vivaio a livello del mare[21], seminate in contenitori contenenti terreno sciolto e irrigazione a goccia:
  - elevata velocità di accrescimento dell'apparato radicale, che deve raggiungere i 250 cm nel corso di 24 mesi di sviluppo vegetativo dopo la semina;
  - radici di diametro omogeneo lungo tutta la loro lunghezza (dal colletto all'apice radicale) inferiore a 3 mm, dopo 24 mesi dalla semina;
  - elevata densità radicale (>10 radici per centimetro quadrato) misurata a 50 cm sotto il colletto dopo 24 mesi dalla semina;
  - il valore medio aritmetico di sforzo medio a rottura, inteso come media aritmetica dei valori medi per le 10-15 specie che compongono la miscela, superiore a 200 MPa. Tali valori saranno certificati da Università, Enti, o Laboratori qualificati.

I tempi di germinazione e attecchimento, il numero e il tipo delle specie o varietà che si selezioneranno a partire dalle 10-15 seminate dipendono fortemente dalle condizioni climatiche (piovosità, umidità, temperature), dal periodo di semina, dal tipo di terreno (granulometria, struttura, scabrezza superficiale, coesione, densità, durezza, compattezza, saturazione, permeabilità, aerazione), dalla esposizione, pendenza, latitudine, altitudine, da eventuali lavorazioni superficiali del terreno, da eventuali irrigazioni di soccorso, ecc.

Si sottolinea, inoltre, come in fase di impianto si distribuisce generalmente una miscela di sementi di varie specie erbacee perenni, ma che saranno esclusivamente le condizioni pedoclimatiche del sito a consentire lo sviluppo di una o più specie del miscuglio di sementi utilizzato (e non necessariamente di tutte le specie seminate).
L'Appaltatore, qualora previsto in Progetto, dovrà integrare l'intervento mediante:
- sementi fiorifere di specie individuate in Progetto adatte a conferire all'impianto particolari colorazioni e fioriture in vari mesi dell'anno;
- sementi di arbusti ed alberi di specie individuate in Progetto, che è possibile introdurre già in fase di semina o idrosemina, per favorire la successiva rinaturalizzazione.

39.5.3 Norme di accettazione e certificazioni

Le sementi devono essere fornite come stabilito dalle leggi vigenti in materia.
La ditta esecutrice dei lavori dovrà dimostrare di avere a disposizione:
- almeno 1 campione di ognuna delle 10-15 specie come sopra riportato (quindi, in totale 10-15 campioni) con apparato radicale di lunghezza pari ad almeno 250 cm, con radici sottili, omogenee, di diametro inferiore a 3 mm, con densità radicale elevata maggiore di 10 radici per centimetro quadrato misurata a 50 cm sotto il colletto;
- di essere in possesso delle certificazioni delle Università, Enti, o Laboratori che comprovino la resistenza radicale come meglio descritto al precedente § 39.5;
- di possedere a magazzino le quantità delle 10-15 specie di sementi, come sopra descritto, necessarie per eseguire l'intero intervento.

Tali piante dovranno essere seminate (non trapiantate) nei tubi prova e da esse si dovranno originare, nei tempi e modi sopra descritti, radici di almeno 250 cm di lunghezza in non oltre 24 mesi dalla semina che dovranno avere le tassative caratteristiche descritte al precedente § 39.5.

[21] *è richiesto l'allevamento a livello del mare perché la temperatura atmosferica diminuisce con l'aumentare della quota. Alle nostre latitudini ad un aumento di quota di 150 m corrisponde una diminuzione di temperatura di circa 1°C. A parità di latitudine, quindi, una zona che si trova a 1.500 m s.l.m. ha una temperatura di circa 10° inferiore ad una che si trova al livello del mare. La riduzione delle temperature medie determina, quindi, un ritardo nei tempi di germinazione e di sviluppo delle piante.*

La ditta esecutrice dovrà garantire di avere, oltre ogni ragionevole dubbio, comprovata esperienza e che abbia realizzato con le specie erbacee perenni a radicazione profonda, sottile e resistente, almeno una decina di interventi in siti differenti perfettamente riusciti (anche in condizioni particolarmente difficili, ad es. su pendenze elevate e/o che abbiano resistito a prolungati periodi di siccità, o ripetute alluvioni), in cui sia stata utilizzata la tecnologia qui descritta.
Sarà compito della ditta esecutrice esibire alla D.L., al RUP, alla Stazione Appaltante, prima dell'inizio dei lavori, opportuna documentazione fotografica e tecnica di tale capacità, oltre che, ovviamente, le certificazioni di resistenza radicale.

39.6 Documenti di qualifica

L'Appaltatore deve trasmettere al Direttore dei Lavori per approvazione almeno 15 giorni prima dell'acquisto delle forniture e/o dell'inizio delle attività, la documentazione di seguito elencata.

- I certificati di laboratorio dei campionamenti del terreno vegetale sia di fornitura interna al cantiere che esterna
- Le certificazioni, le schede tecniche e quant'altro necessario compresa la marcatura CE e DoP ove applicabili, a dimostrazioni delle proprietà e dei requisiti dei prodotti delle opere a verde indicati nei § 39.3.4, 39,4 e 39.5;
- Una relazione tecnica contenente i metodi di coltivazione e i materiali rinnovabili e sostenibili utilizzati e la rispondenza delle forniture al principio di autoctonia e agli standard di qualità previsti dai riferimenti tecnici contenuti in studi, database o guide tecniche riconosciuti a livello nazionale come il rapporto «Norme di qualità delle produzioni florovivaistiche», elaborato da ISMEA per conto del Ministero delle politiche agricole alimentari e forestali o come le schede varietali che definiscono le caratteristiche delle specie realizzate nell'ambito del progetto Qualiviva (http://www.vivaistiitaliani.it/qualiviva/consultazione-shede-tecniche)
- Il curriculum vitae di un tecnico - professionale esperto di botanica e agronomia, per l'assistenza continua durante la realizzazione delle opere a verde in Progetto
- Per l'impianto di irrigazione un documento tecnico contenente il tipo e la marca degli impianti accompagnato dalle schede tecniche e una relazione tecnica sul sistema di raccolta e di utilizzo delle acque elaborata sulla base delle risorse idriche disponibili in relazione al clima locale, alle caratteristiche del territorio in cui è ubicato l'impianto di irrigazione e alle informazioni fornite nel progetto che dimostrino il soddisfacimento dei requisiti di cui al § 39.4.7.

La mancata presentazione della documentazione preliminare comporta la non autorizzazione all'inizio dell'esecuzione dei lavori, né saranno accettate eventuali lavorazioni svolte prima dell'approvazione delle modalità esecutive.
I requisiti d'accettazione potranno inoltre essere accertati con ulteriori prove a cura della Direzione Lavori sia in fase di prequalifica presso il fornitore (controllo non vincolante per l'autorizzazione), sia in corso d'opera, prelevando il materiale in sito o ancora presso il fornitore, prima e dopo avere effettuato le lavorazioni.

39.7 Modalità esecutive

39.7.1 Prescrizioni generali

Tutti i lavori dovranno essere eseguiti a perfetta regola d'arte secondo il miglior magistero.
Tutte le opere non eseguite a perfetta regola d'arte secondo le prescrizioni impartite, dovranno essere demolite e ricostruite a cura e spese dell'Appaltatore.

Le opere di mitigazione vegetale dovranno essere realizzate il più possibile in contemporanea con il procedere dei lavori, al fine di giungere al termine degli stessi con uno stato vegetativo il più avanzato possibile e vicino a quello previsto a regime dal Progetto.
Dal punto di vista tecnico - professionale, durante la realizzazione delle opere a verde in Progetto la ditta esecutrice dovrà fornire a sua cura e spese l'assistenza continua di esperti botanici e agronomi il cui curriculum dovrà essere approvato dal Direttore dei Lavori in fase di qualifica di cui al § 39.6.
Di qualsiasi operazione si tratti, ogni residuo prodotto deve essere debitamente smaltito all'esterno delle pertinenze autostradali in aree autorizzate, fatte salve le vigenti Norme di Legge, a meno di diverse disposizioni contrattuali o di un diverso impiego in loco dei soli residui vegetali (interramento, pacciamatura), privo di controindicazioni e comunque autorizzato dalla Direzione Lavori.
È fatto assoluto divieto di bruciare i residui delle lavorazioni in conformità alle Leggi e ai Regolamenti vigenti in materia.
In ogni caso al termine di qualsiasi operazione il piano viabile e la segnaletica orizzontale devono risultare ripuliti da ogni residuo vegetale o di terra.
Nell'esecuzione dei lavori l'Appaltatore dovrà:

- rispettare tutti i picchetti posti in opera, compresi quelli che sono serviti da capisaldi nella costruzione del corpo autostradale; curarne la conservazione ricollocando quelli che eventualmente possano essere manomessi durante il corso dei lavori previsti;
- provvedere ad eseguire tutti gli interventi necessari per il regolare smaltimento delle acque di pioggia e/o d'irrigazione onde evitare erosioni superficiali e/o ristagni che possano danneggiare gli impianti.

All'atto della consegna dei lavori ed in conformità a quanto previsto dai documenti d'appalto sarà effettuata la delimitazione delle aree da sistemare a verde e dell'aiuola centrale spartitraffico da impiantare, prendendo come riferimento le progressive chilometriche dell'autostrada.

39.7.2 Movimentazione e conservazione del terreno vegetale proveniente dalle aree di cantiere

Ogni movimentazione del terreno vegetale proveniente dalle aree di cantiere verso il sito finale o di stoccaggio provvisorio, andrà autorizzata dalla Direzione Lavori, che poi ne eseguira il controllo tecnico dell'avvenuto nuovo stoccaggio, o messa in opera finale.
Nel caso in cui il terreno vegetale sia stoccato temporaneamente le operazioni dovranno essere eseguite in modo tale da mantenerne il più possibile le caratteristiche chimiche, fisiche e biologiche secondo quanto eventualmente previsto in progetto. In ogni caso, nell'ambito delle aree disponibili per la realizzazione dell'infrastruttura, l'accantonamento del terreno vegetale deve avvenire su una superficie con buona permeabilità non sensibile al costipamento e in un'area marginale, o meglio separata, dalle aree di lavorazione, non circolandovi con i mezzi ed evitando la contaminazione con materiali estranei o con terreni di composizione differente; l'accantonamento deve essere compiuta a ritroso, ossia senza ripassare sullo strato depositato e, inoltre, occorre provvedere a un inerbimento del terreno accantonato mediante un miscuglio di specie a profonda radicazione (leguminose); l'altezza dei cumuli non dovrebbe di regola superare 1,5-2,5 m in relazione alla granulometria del suolo e al suo rischio di compattamento. A causa del peso proprio, infatti, gli strati inferiori del terreno accantonato vengono compressi. Ciò comporta prima di tutto il degrado delle caratteristiche fisico - idrologiche del suolo. Mediante la formazione in mucchi a forma trapezoidale, in particolare, e limitandone l'altezza, è possibile ridurre al minimo o evitare la formazione di un nucleo centrale anaerobico dello stoccaggio. Occorre anche evitare di avere sia fenomeni di ristagno, sia di erosione (pendenze troppo accentuate).

39.7.3 Preparazione delle zone d'impianto

Prima di effettuare gli impianti l'Appaltatore è tenuto ad eseguire le operazioni preliminari di seguito specificate.
Solo per gli impianti di cui ai successivi §. 39.7.5 e 39.7.6 le operazioni necessarie alla preparazione delle zone d'impianto appresso indicate sono comunque a carico dell'Appaltatore.

39.7.3.1 Pulizia generale del terreno

Qualora nell'area oggetto dell'intervento sia presente della vegetazione indesiderata e/o materiali di risulta (laterizi, pietre, calcinacci, ferri, materiali estranei, ecc.) l'Appaltatore provvederà ad eliminare completamente tali elementi di disturbo alle operazioni d'impianto.
In particolare, gli interventi sulla eventuale vegetazione indesiderata, sia essa arborea, o arbustiva, saranno eseguiti nel rispetto delle "Prescrizioni di Massima e di Polizia Forestale" territorialmente competente e le norme regionali forestali e i regolamenti del verde comunali vigenti in materia e lasciando sul posto, salvagardandoli dalle lavorazioni, eventuali esemplari indicati in progetto, nei documenti d'appalto, o dalla Direzione Lavori.
Nello specifico, per il taglio delle sole piante arboree latifoglie, è richiesto anche la rimozione della ceppaia. Questa avverrà con impiego di trivella trituratrice avente diametro minimo di 0,50 m, per una profondità di 0,70 m, allo scopo di evitare l'assoluto ricaccio di polloni; l'Appaltatore dovrà provvedere, successivamente, al ripristino del profilo naturale del terreno.
In tal caso, contemporaneamente allo sgombero del materiale legnoso di risulta, si dovrà effettuare anche lo sgombero delle ramaglie, delle frasche e del materiale estraneo presente.
L'Appaltatore, per il trasporto e il successivo conferimento a discarica, dovrà attenersi a quanto disposto dalle norme vigenti in materia di Smaltimento dei Rifiuti (D.Lgs. 152/2006 e s.m.i.).

39.7.3.2 Messa in posto e lavorazione del terreno

Prima di procedere alla messa in posto e alla lavorazione del terreno vegetale (e degli eventuali ulteriori strati sottostanti asportati durante le fasi di scotico e bonifica) per le opere a verde occorre avere predisposto la morfologia dei luoghi cui dovrà accompagnarsi il suolo e verificare la necessità di un adeguato drenaggio dell'area.
Fermo restando il mantenimento della stabilità dei terreni, lo strato "di contatto", sul quale il nuovo suolo viene riportato, viene adeguatamente preparato (ad esempio, tramite ripuntatura, fresatura, ecc.). Spesso, infatti, succede che si presenta estremamente compattato dalle attività di cantiere: se lasciato inalterato, potrebbe costituire uno strato impermeabile e peggiorare il drenaggio del nuovo suolo, oltre che costituire un impedimento all'approfondimento radicale.
Nel caso di miscelazione di diversi materiali terrosi, incorporazione di ammendanti e concimazione di fondo, queste avverranno prima della messa in posto del terreno vegetale.
Il terreno vegetale su cui eseguire le opere a verde andrà finito secondo gli spessori previsti e indicati nel Progetto. Se in quest'ultimo non sono esplicitati, vanno in genere previsti gli spessori minimi di 0,30 m sulle scarpate (0,20 m, in particolare, per i "Rilevati": Art.3 di questo capitolato speciale) e di 0,50 m sulle aree in piano. Inoltre, in corrispondenza delle buche d'impianto di alberi andrà previsto uno spessore maggiore nella realizzazione della buca d'impianto, laddove le dimensioni all'impianto delle specie previste in progetto lo necessitino. Il terreno vegetale andrà steso a cordoli orizzontali, opportunamente costipati, ricavando, se necessario, gradoni di ancoraggio.
Nel caso durante le fasi di scotico e bonifica si sia operata anche l'asportazione di ulteriori strati sottostanti il terreno vegetale, all'atto della messa in posto i diversi strati che sono stati accantonati devono essere messi in posto senza essere mescolati e rispettandone l'ordine originario.
La messa in posto deve essere effettuata con macchine adatte (le macchine più adatte sono quelle leggere e con buona ripartizione del peso) e in condizioni di umidità idonee, ossia di "suoli non

bagnati". L'umidità di suolo tollerabile dipende da vari fattori, quali: tessitura, stabilità strutturale, tipo di macchine impiegate, ecc. Come grandezza di misurazione dell'umidità può essere utilizzato il potenziale dell'acqua nel suolo (parametro differenziale che misura l'energia potenziale che ha l'acqua presente nel suolo, generalmente questo parametro è impiegato per quantificare il lavoro che le piante devono spendere per l'assorbimento radicale). Per le misurazioni possono essere utilizzati tensiometri. Le misure forniscono le indicazioni circa le classi dei pori ancora piene di acqua. In termini generali, a pF < di 1,8 -2 non si dovrebbe intervenire sui suoli (pF unità di misura spesso ancora in uso che corrisponde al logaritmo in base 10 della tensione espressa in cm d'acqua), per non correre il rischio di degradare la struttura del suolo e quindi alterarne, in senso negativo, il comportamento idrologico (infiltrazione, permeabilità) e altre caratteristiche fisiche con la creazione di strati induriti e compatti inidonei allo sviluppo degli apparati radicali.
Nella messa in posto del terreno deve essere evitato l'eccessivo passaggio con macchine pesanti, o comunque non adatte, prendendo tutte le accortezze tecniche per evitare compattamenti o comunque introdurre limitazioni fisiche all'approfondimento radicale o alle caratteristiche idrologiche del suolo.
Qualora le condizioni dell'area e/o la valenza ed il tipo d'impianto lo richiedano, il Progetto prevederà quindi interventi di preparazione agraria del terreno dove andranno eseguite le opere a verde.
In generale, la lavorazione del terreno avviene fino a una profondità massima corrispondente allo spessore di terreno vegetale riportato e comunque non superiore 50 cm. La lavorazione dovrà di norma essere eseguita con mezzi meccanici e potrà essere una semplice erpicatura, una fresatura, o un intervento d'areazione o decompattamento (ripuntatura).
Nel corso di quest'operazione l'Appaltatore dovrà rimuovere gli eventuali ostacoli sotterranei (sassi, pietre, radici, ecc.) che potrebbero impedire la corretta esecuzione dei lavori, provvedendo anche ad accantonare e conservare, su ordine della Direzione Lavori, eventuali preesistenze naturali con particolare valore estetico (rocce, massi, ecc.) e tutti gli altri materiali che possano essere utilizzati nella sistemazione.
L'esecuzione delle lavorazioni avverrà in periodo d'andamento climatico favorevole, in funzione anche della natura del terreno il quale si deve trovare in tempera (40-50% della capacità totale per l'acqua).

39.7.3.3 Correzione, ammendamento, concimazione di fondo e impiego di fitofarmaci

Laddove previsto nel Progetto e comunque nel caso in cui lo necessiti il terreno vegetale da riportare, per risultare idoneo, l'Appaltatore in occasione della lavorazione (prima della messa in posto del terreno vegetale) dovrà incorporare nel terreno, a mezzo d'interventi leggeri (30-50 cm di profondità), le sostanze (correttivi, ammendanti, concimi per concimazioni di fondo, fitofarmaci) necessarie.
Le sostanze usate dovranno essere trasportate in cantiere nella confezione originale della fabbrica e risultare comunque a titolo o principio attivo ben definito e in caso di concimi complessi, avere il rapporto azoto-fosforo-potassio chiaramente indicato.
Prima dell'esecuzione degli interventi l'Appaltatore è tenuto a darne tempestivo avviso alla Direzione dei Lavori, affinché questa possa disporre per eventuali controlli in merito ai prodotti e alle modalità di lavoro.

39.7.4 Tracciamenti

Dopo aver eseguito le operazioni di preparazione e comunque prima della messa a dimora delle piante, l'Appaltatore sulla scorta dei disegni di Progetto, predisporrà, a sua cura e spese, la picchettatura delle aree d'impianto segnando con picchetti la posizione nella quale dovranno essere eseguite le piantagioni singole quali alberi, arbusti ed altre piante e tracciando sul terreno il perimetro delle piantagioni omogenee (tappezzanti, siepi, macchie d'arbusti rimboschimenti, ecc.).

Prima di procedere alle operazioni di piantagione, dovrà comunque ottenere il benestare della Direzione dei Lavori.

39.7.5 Esecuzione degli impianti

39.7.5.1 Trasporto del materiale vivaistico

Il trasporto del materiale vivaistico deve essere effettuato con tutte le precauzioni necessarie, affinché giunga sul luogo d'impiego nelle migliori condizioni.
Il tempo intercorrente fra il prelievo in vivaio e la messa a dimora deve essere il più breve possibile e anche in questo caso devono comunque essere prese tutte le precauzioni necessarie per la conservazione delle piante e per evitare traumi o disseccamenti, nonché danni da gelo.

39.7.5.2 Preparazione del materiale vivaistico prima della messa a dimora

Prima della messa a dimora le eventuali piccole e limitate lesioni del tronco dovranno essere curate nei modi più opportuni.
Per il materiale da fornirsi a radice nuda occorre sottoporre le radici ad una moderata potatura, in modo tale da eliminare quelle lesionate, disseccate, morte o contorte, rinnovare e migliorare i tagli eseguiti in vivaio e asportare il fittone (se presente) eseguendo in tutti i casi tagli netti su tessuti sani.
Nel caso che il materiale sia fornito in contenitori o in zolla, è necessario rimuovere i contenitori o gli eventuali involucri della zolla, eliminare le radici danneggiate o malformate e rimuovere parte del suolo periferico del pane di terra per consentire un miglior contatto fra lo stesso ed il terreno di riempimento della buca.

39.7.5.3 Messa a dimora del materiale vivaistico

Le piante per le quali sia evetualmente prevista la fornitura a radice nuda, o in zolla, andranno messe a dimora unicamente nel periodo di riposo vegetativo.
Le buche per l'impianto del materiale vivaistico devono essere predisposte prima dell'arrivo del materiale stesso ed avere le dimensioni indicate nel Progetto.
Nelle buche predisposte per la messa a dimora di piante arboree con altezza superiore o uguale a 1,00 m, e prima del loro posizionamento, andranno collocati i tutori conformi alle specifiche di cui al § 39.4.6.
Il tutore deve affondare di almeno 0,30 m oltre il fondo della buca.
In rapporto alla pianta il tutore deve essere posto in direzione opposta al vento dominante.
Per piante arboree con altezza superiore o uguale a 3,00 m, in funzione del volume della chioma, può rendersi necessaria un'armatura formata da più paletti, opportunamente controventati alla base con ulteriori paletti infissi saldamente nel terreno e sporgenti circa 0,20 m dal livello del terreno.
Qualora si dovessero presentare problemi di natura particolare (mancanza di spazio, esigenze estetiche, ecc.) i pali di sostegno, su autorizzazione della Direzione Lavori, potranno essere sostituiti con ancoraggi in corda d'acciaio muniti di tendifilo.
Sul fondo della buca aperta per la messa a dimora di ciascuna delle categorie di cui si compone il materiale vivaistico (misura minima una volta e mezzo le dimensioni della zolla), dovrà quindi essere posto del terreno vegetale, con l'esclusione di ciottoli e/o di materiali comunque impropri per la vegetazione, sul quale sarà sistemato l'apparato vegetale.
Tutte le categorie di materiale vivaistico devono essere collocate nella buca in modo tale che il colletto si trovi a livello del fondo della conca d'irrigazione.
Il terreno da utilizzare per il definitivo riempimento della buca dovrà essere mescolato con un adeguato quantitativo di concimi minerali complessi, del tipo azotati a lenta cessione o ritardati e concime organico, o torba nei quantitativi necessari.

La compattazione del terreno di riempimento dovrà essere eseguita con cura e per strati successivi in modo da non danneggiare le radici, non squilibrare la pianta, che deve restare dritta e non creare sacche d'aria.
La terra al piede della pianta va, inoltre, sistemata in modo tale da formare intorno al colletto una piccola conca (formella) d'irrigazione.
Per favorire il compattamento del terreno di riempimento ed il perfetto assestamento dello stesso attorno alle radici, si dovrà irrigare abbondantemente la pianta messa a dimora attraverso l'apposita conca (annaffiatura di assestamento). Come indicazioni di massima, la quantità d'acqua necessaria alle diverse categorie di soggetti vegetali, per questo tipo d'irrigazione, sono le seguenti:

Tipologia vegetale	*altezza del materiale*	*volume di acqua / individuo*
alberi	oltre i 3,00 m	35 - 50 l
alberi	fino a 3,00 m	10 - 15 l
piantine forestali, arbusti	-	5 - 8 l

Le legature fra la pianta arborea e il tutore dovranno essere disposte in modo che attraverso la loro azione, il tutore serva d'appoggio alle piante. La legatura più alta va quindi disposta di norma a circa 0,20 m al di sotto delle prime ramificazioni, la più bassa ad un metro dal suolo.
Per evitare danni alla corteccia è indispensabile interporre, fra tutore e fusto, un idoneo cuscinetto antifrizione in materiale adatto. A livello della chioma dovranno essere eliminati i rametti danneggiati, troppo deboli, molto vicini, avendo cura di stabilire un equilibrio tra la porzione aerea e quella radicale ed eseguendo un taglio di formazione della chioma, in modo da conferire la forma desiderata rispettando l'habitus naturale della specie (potatura di trapianto). Dopo il trapianto, la pianta deve risultare ben ferma così da poter radicare regolarmente senza il pericolo di rottura delle radici sottili di nuova formazione.
Ogni intervento di messa a dimora deve essere comprensivo oltre a tutto quanto indicato sopra, anche carico, trasporto e smaltimento dei materiali di risulta, con asportazione e smaltimento/avvio a recupero di un quantitativo di terreno vecchio dalla buca pari al volume della zolla e degli ammendanti al fine di non superare con la formella di terra la quota di campagna preesistente. L'intervento dovrà comprendere inoltre l'impianto di irrigazione (qualora previsto a progetto) e la fornitura di collare protettivo in materiale idoneo di diametro regolabile dell'altezza di cm 20 come protezione antidecespugliatore.

39.7.6 Impianto di tappeti erbosi e/o zolle

Prima della messa a dimora dei tappeti erbosi l'Appaltatore deve preparare un adeguato letto di posa per il tappeto stesso.
Il terreno dovrà essere lavorato per una profondità di almeno 15 cm, debitamente liberato da qualsiasi materiale di rifiuto (pietrame, cocci, radici, ecc.) e dovrà risultare finemente sminuzzato ed opportunamente livellato.
Contemporaneamente a tali lavorazioni l'Appaltatore dovrà effettuare la somministrazione di almeno 5 q/ha di concime ternario (N - P - K) a titolo 10 - 10 - 15.
Il materiale, sia esso in strisce che in zolle, dovrà essere disposto a file, con giunti sfalsati tra fila e fila, in modo da non presentare soluzioni di continuità fra striscia e striscia o fra zolla e zolla; in tal senso l'Appaltatore dovrà provvedere allo spandimento di un'opportuna quantità di terriccio (composto con terra di coltivo, sabbia e torba) al fine di sigillare il tappeto erboso nei punti di giunzione, compattando il tutto con battitura o rullatura così da risultare perfettamente assestato.

Inoltre l'Appaltatore, a seconda dell'epoca d'impianto e a prescindere dall'andamento stagionale, dovrà provvedere ad un'abbondante irrigazione d'impianto, assicurando un minimo di 20-25 l/m² così da ottenere un completo assestamento del tappeto posto in opera.

39.7.7 Semine di prati

La realizzazione del manto erboso potrà essere eseguita con metodo secco (semina manuale o meccanica) o con metodo umido (idrosemina con attrezzature a pressione). Il periodo utile per le semine è generalmente individuato nell'autunno e nella primavera.

- *Metodo secco*: l'Appaltatore è tenuto a provvedere alla preparazione del terreno su cui sarà eseguita la semina; questo dovrà risultare debitamente liberato da qualsiasi materiale di rifiuto (pietrame, cocci, radici, ecc.) e finemente sminuzzato.

Contemporaneamente a tali lavorazioni l'Appaltatore dovrà somministrare almeno 5 q/ha di concime binario (P - K) a titolo 18-20 e procedere alla semina del miscuglio, opportunamente mescolato, nel quantitativo e nelle specie previste dai documenti contrattuali. Successivamente il terreno dovrà essere sottoposto a leggera rastrellatura manuale o meccanica per favorire l'interramento del concime e del miscuglio, seguita da un'opportuna rullatura per la perfetta adesione dei materiali con il terreno.

Su pendii leggeri o superfici pianeggianti si può ricorrere alla semina meccanizzata. A germinazione avvenuta, l'Appaltatore è tenuto a somministrare almeno 2 q/ha di concime azotato con titolo 15/16.

L'Appaltatore è tenuto a dare tempestivo avviso alla Direzione dei Lavori, affinché questa possa effettuare l'eventuale prelevamento di campioni e possa verificare la qualità e la quantità prescritta, restando comunque a suo carico le eventuali operazioni di risemina, nel caso che la germinazione non avvenisse in modo regolare ed uniforme.

- *Metodo umido o idrosemina*: in tutte le situazioni che per giacitura, per le insufficienti caratteristiche fisico-chimiche dei terreni e per la scarsa accessibilità, nelle quali è difficoltoso o sconsigliabile l'impiego del metodo secco, i documenti contrattuali prescriveranno l'idrosemina.

L'Appaltatore procederà al rivestimento di tali superfici mediante lo spargimento meccanico a mezzo d'idroseminatrice a pressione, in grado di effettuare l'irrorazione a distanza, con diametro degli ugelli tale da non lesionare i semi e consentire lo spargimento omogeneo dei materiali.

Fermo restando quanto previsto in Progetto, con l'idrosemina s'irrora una miscela in soluzione acquosa costituita da:

- miscela di sementi idonea alle condizioni locali;
- collante in quantità idonea al fissaggio dei semi e alla creazione di una pellicola antierosiva sulla superficie del terreno, senza inibire la crescita e favorendo il trattenimento dell'acqua nel terreno nelle fasi iniziali di sviluppo; la quantità varia a seconda del tipo di collante, per collanti di buona qualità sono sufficienti piccole quantità pari a circa 10 g/m^2;
- acqua in quantità idonea alla diluizione della miscela, per fungere da veicolo alla irrorazione (2-7 l/mq), nel rispetto di quanto riportato in 39.4.4;
- concime organico e/o inorganico in genere in quantità tali da evitare l'effetto "pompaggio" iniziale e successivo deficit delle piante;
- altri ammendanti, fertilizzanti e inoculi.

La miscelazione dei componenti dovrà avvenire in loco, onde evitare fenomeni di stratificazione gravitativa dei semi all'interno della cisterna, alla presenza della Direzione Lavori.

Anche per questo metodo, l'Appaltatore è tenuto a dare tempestivo avviso alla Direzione dei Lavori, affinché questa possa effettuare il prelevamento di campioni e possa verificarne la qualità e la quantità prescritta, restando in ogni modo a suo carico le eventuali operazioni di risemina, nel caso che la germinazione non avvenisse in modo regolare ed uniforme.

39.7.8 Rimboschimento con semenzali e impianto di talee

Sulle superfici preparate e concimate come ai precedenti punti, l'Appaltatore procederà all'impianto di semenzali o talee, secondo le previsioni di Progetto e/o le prescrizioni della Direzione Lavori.
L'Appaltatore dovrà effettuare l'impianto nelle stagioni previste in Progetto, oppure, se in questo non precisato, in quelle idonee alla riuscita dell'intervento (relative al periodo di riposo vegetativo, eventualmente anche all'inizio della primavera in marzo-aprile qualora le piante siano fornite in vaso, in ogni caso non nel periodo estivo e non in presenza di pioggia, vento, o gelo), tenuto conto naturalmente del tempo previsto per l'ultimazione dei lavori, restando comunque a suo carico l'onere della sostituzione delle fallanze.
L'impianto potrà essere fatto a mano od a macchina, comunque in modo tale da poter garantire l'attecchimento ed il successivo sviluppo regolare e rapido.
Prima della messa a dimora delle piantine a radice nuda, l'Appaltatore avrà cura di regolare l'apparato radicale, rinfrescando il taglio delle radici ed eliminando le ramificazioni che si presentassero appassite, perite o eccessivamente sviluppate, impiegando forbici a doppio taglio ben affilate.
Sarà inoltre cura dell'Appaltatore trattare l'apparato radicale con una miscela di terra argillosa e letame bovino diluita in acqua.
L'Appaltatore avrà cura di approntare a piè d'opera il materiale vivaistico perfettamente imballato, in maniera da evitare fermentazioni e disseccamenti durante il trasporto.
Le piantine o talee dovranno presentarsi in stato di completa freschezza e con vitalità necessarie al buon attecchimento.
Negli impianti di talee, queste dovranno risultare del diametro minimo di 1,5 cm, di taglio fresco ed allo stato verde e tale da garantire il ripollonamento.
Qualora i materiali non rispondessero alle caratteristiche di cui sopra la Direzione Lavori ordinerà l'allontanamento dal cantiere.

39.7.9 Protezione scarpate in trincea con stuoie biodegradabili paglia e fibre vegetali

Su scarpate in trincea, precedentemente preparate (asportazione di pietre, radici e vegetazione infestante, regolarizzazione del terreno) e seminate, l'Appaltatore stenderà le stuoie, srotolandole lungo le linee di massima pendenza, sovrapponendole sui bordi longitudinali per almeno 10-15 cm ed interrandole sui bordi superiore ed inferiore in trincee della profondità di almeno 20 cm.
Le stuoie, costituite da una stuoia di paglia e fibre vegetali contenuta fra due reti di polipropilene del peso di 1,00 kg per metro quadrato, dovranno essere ancorate al terreno mediante picchetti in ferro tondo Ø 8 mm, sagomati ad U, della lunghezza di 50 cm, disposti lungo le linee di sovrapposizioni delle stuoie, in ragione di due picchetti per metro quadrato.

39.7.10 Protezione di scarpate in trincea mediante stuoie in materiale termoplastico

Preliminarmente l'Appaltatore dovrà regolarizzare le scarpate asportando pietre, radici e vegetazione infestante, colmando le buche e spianando i rilievi.
Procederà quindi alla stesa della stuoia costituita da monofilamenti in poliammide resistente ai raggi UV, aggrovigliati e termosaldati.
La stuoia è strutturata in due strati tra loro termosaldati nei punti di contatto: lo strato superiore a maglia tridimensionale e quello inferiore a maglia piatta, per uno spessore complessivo non inferiore a 18 mm e peso a metro quadrato di 0,40-0,45 kg.
Le stuoie dovranno essere srotolate lungo le linee di massima pendenza, sovrapponendole sui bordi longitudinali per almeno 10 - 15 cm ed interrandole sui bordi superiore ed inferiore in trincee della profondità di almeno 20 cm.

Dovranno aderire perfettamente al terreno di posa ed esservi ancorate con picchetti in ferro tondo del diametro di 8 mm, sagomati ad U, della lunghezza di 50 cm, disposti lungo le linee di sovrapposizione delle stuoie, in ragione di due picchetti per metro quadrato.
Completata la posa in opera, le stuoie dovranno essere interrate con uno strato di terra vegetale dello spessore medio di 5 cm che dovrà intasare completamente gli alveoli della struttura.

39.7.11 Intervento antierosivo e di rinaturalizzazione con sementi di specie erbacee perenni a radicazione profonda, sottile e resistente

39.7.11.1 Modalità di esecuzione dell'intervento

L'intervento antierosivo e di rinaturalizzazione con specie erbacee perenni a radicazione profonda, sottile e resistente potrà essere eseguito con metodo secco (semina manuale o meccanica), o con metodo umido (idrosemina con attrezzature meccaniche a pressione).

- Condizioni preliminari del sito oggetto d'intervento:
  - il sito dovrà essere perfettamente stabile da un punto di vista geotecnico, con una Fattore di Sicurezza Fs>1 o comunque con Fs pari o superiore a quanto previsto dalle leggi e normative vigenti, aventi pendenze non superiori a 60°;
  - le acque meteoriche e profonde dovranno essere perfettamente regimentate e captate mediante la realizzazione di opportune canalette e/o drenaggi necessari, eseguiti a regola d'arte;
  - la superficie (in terra o roccia non integra e compatta) dovrà essere scabra o grossolana per favorire l'aggrappamento dei semi alla superficie e la successiva germinazione delle sementi;
  - sulla superficie oggetto di intervento dovrà essere eliminata l'eventuale vegetazione infestante (specie indesiderate che possono contrastare l'effetto di quelle previste con l'intervento) prima di eseguire la semina, in modo da garantire che non vi sia riemergenza delle infestanti erbacee, arbustive e arboree dopo l'intervento antierosivo.

39.7.11.2 Esecuzione dell'intervento

L'Appaltatore a sua cura e spese dovrà, in particolare, assicurare le seguenti strutture di supporto, o strutture parimenti idonee, ubicate il più possibile in vicinanza del sito da trattare:

- Magazzino Principale
  Area coperta di circa 100 m^2 che servirà anche come ricovero di tutte le attrezzature e dei macchinari necessari (idroseminatrice, autocisterna, autocarro con braccio gru, transpallet, ecc.)
- Magazzino Sementi
  Deve avere una superficie pari a circa 50 m^2 ed essere provvisto di sistemi antiintrusione e chiusure di sicurezza, essendo riservato al solo stoccaggio delle sementi. In ragione del valore (costituiscono oltre il 90% del valore dell'intero intervento) e dell'importanza strategica delle sementi, questo magazzino dovrà essere chiuso, asciutto e protetto e dovrà essere inaccessibile a topi, serpenti, formiche, ecc. Dovrà, inoltre, essere provvisto di acqua corrente e luce elettrica e di un mezzo per movimentare materiali, predisposti su bancali e pallet di peso orientativo pari a circa 1500-2000 kg e volume circa 2-3 m^3 cadauno. Al fine di ottimizzare la logistica, idealmente questo secondo magazzino dovrebbe essere contiguo a quello Principale, o addirittura essere realizzato al suo interno, pur mantenendone l'indipendenza e tutte le peculiari caratteristiche sopra richieste. Nel magazzino sementi dovranno essere collocate alcune (5-10) vasche in materiale plastico con capienza di circa 1-2 m^3 cadauna, necessarie per effettuare la pregerminazione di parte delle sementi nel seguito descritta.

L'esecuzione dell'intervento prevede la predisposizione della semina mediante alcune attività preliminari sulle sementi e in particolare:

- la miscelazione delle varie tipologie di sementi nelle proporzioni previste (si predisporranno in tal modo sacchi, normalmente da 10-20 kg, di prodotto facilmente maneggiabili ed immediatamente scaricabili nell'idroseminatrice);
- la pregerminazione in acqua di parte dei sacchi suddetti in vasche predisposte in un magazzino sementi, o in luogo parimenti idoneo. Questo processo dura almeno 24-72 ore (in funzione del tipo di sementi da utilizzare e delle condizioni climatiche del luogo, soprattutto con riferimento alla temperatura ambiente).

La miscelazione dei componenti dovrà avvenire alla presenza della Direzione Lavori.
La realizzazione dell'intervento con metodo secco consiste nella semina a spaglio (manuale o meccanica) delle superfici oggetto di intervento.
La realizzazione dell'intervento con metodo umido consiste nell'idrosemina con attrezzature meccaniche a pressione delle superfici oggetto di intervento. La miscela da irrorare viene preparata versando nell'idroseminatrice, già parzialmente riempita d'acqua, le quantità previste di materiali per l'idrosemina da distribuire sulle scarpate (cfr. 39.7.7).
E' importante che l'autocisterna dedicata all'approvvigionamento dell'acqua sia sempre a disposizione per il carico rapido dell'idroseminatrice, sia per ottimizzare i tempi, sia per evitare rischi di intasamento quando si dovrà procedere alle operazioni di lavaggio e pulizia. Questo consentirà di scegliere di operare in continua o a batch, in base a considerazioni anche tecniche che verranno definite direttamente sul cantiere.
Per evitare depositi e formazione di grumi, i prodotti versati nella cisterna vengono miscelati sia meccanicamente (tramite girante a pale), sia grazie ad un ricircolo idraulico, di cui le normali idroseminatrici sono dotate.
I tecnici specializzati organizzeranno e supervisioneranno le attività della squadra di idrosemina, in modo che vengano preparati e utilizzati i corretti quantitativi di materiali e venga realizzato il lavoro a regola d'arte.
L'idrosemina consisterà nella distribuzione, sulle superfici da trattare della miscela precedentemente preparata ed in continuo rimescolamento nell'idroseminatrice.
Se la scarpata da trattare presenta una ridotta altezza (inferiore a circa 20 m) e distanza massima dalla macchina idroseminatrice inferiore a circa 30 m, sull'idroseminatrice sarà montata una semplice lancia a presa diretta ("cannoncino") con gittata massima di 20-30 m per l'aspersione diretta della miscela. L'autocarro con l'idroseminatrice (o il traino della medesima) dovrà in tal caso spostarsi con traiettoria parallela alla superficie con una velocità costante compresa tra circa 5 e 10 km/h.
Se la scarpata da trattare presenta, invece, una maggiore altezza (superiore a circa 20 m) e/o quando la distanza massima dalla macchina idroseminatrice è maggiore di 30 m, bisognerà collegare all'idroseminatrice delle manichette (lunghezza complessiva fino a 200 m), che consentano l'aspersione della miscela a distanze superiori. In tal caso, l'idroseminatrice rimarrà ferma durante tutta la fase di idrosemina.
In superfici impervie e/o ritenute rischiose per l'equilibrio dell'operatore addetto alla distribuzione della miscela, questo verrà dotato di imbracatura da rocciatore, che sarà opportunamente legata a supporti stabili di sicurezza, mentre altri addetti lo assisteranno e aiuteranno nello spostamento della manichetta.
Le operazioni di carica dell'idroseminatrice e di aspersione della miscela verranno ripetute ciclicamente fino al completamento della superficie da trattare o della giornata lavorativa, dopo di

che tutti i mezzi e le attrezzature saranno lavati e puliti prima di essere ricoverati in magazzino, o in luogo parimenti idoneo, insieme ai materiali eventualmente inutilizzati.
L'Appaltatore è tenuto a dare tempestivo avviso alla Direzione dei Lavori dell'intervento, affinché questa possa effettuare l'eventuale prelevamento di campioni e possa verificare i materiali, la qualità e la quantità prescritte.
La verifica prestazionale della riuscita dell'intervento antierosivo sul sito - da verificare non prima di 12-24 mesi dalla semina – prevede quanto segue:

- Una fitta copertura vegetale su almeno l'80% della superficie inerbibile (esclusi, quindi, massi, sassi, opere in cemento, superfici in roccia compatta, ecc.);
- Blocco dell'erosione: le strutture a valle delle zone trattate, quali canalette, fossi di guardia, ecc., non dovranno essere intasate da materiale eroso;
- Un perfetto attecchimento e una radicazione profonda, sottile e resistente tale da impedire l'eradicazione della pianta dal terreno esercitando una forza di almeno 300 N, se la pianta è radicata su terre, operazione che avverrà frapponendo fra la mano dell'operatore e la parte epigea della pianta un dinamometro a molla; la pianta su cui vincolare il dinamometro dovrà avere un colletto di almeno 20 cm di diametro e un apparato fogliare di almeno 50 cm di altezza. Per eseguire la prova la parte epigea della pianta dovrà essere avvoltolata più volte sul gancio del dinamometro onde evitare lo sfilamento e la rottura delle foglie; le prove saranno ripetute in varie zone del sito su almeno 20 piante aventi le caratteristiche di cui sopra e si dovrà calcolare il valore medio ottenuto dalle 20 prove.
- Una ottimale crescita anche su terreni sterili, quali, ad esempio, argille, ghiaie, sabbie, calcareniti, flysch, terreni inquinati o additivati con calce, ecc., senza alcun apporto di terreno vegetale, biostuoie, materiali e manufatti plastici, georeti plastiche, geostuoie, geocelle, mulch, matrici di fibre di legno, ecc. senza impianto di irrigazione.

Generalmente, occorrono dai 12 ai 24 mesi per ottenere un inerbimento almeno pari all'80% della superficie inerbibile (esclusi affioramenti rocciosi, muri, superfici asfaltate, ecc.) e il contrasto dell'erosione. La verifica prestazionale dovrà, pertanto, rispettare la naturale tempistica di germinazione e attecchimento: una verifica che avvenga in tempi troppo ravvicinati, prima che l'impianto sia a regime (generalmente, ciò avviene fra i 12 e i 24 mesi dalla data della semina), potrebbe, infatti, evidenziare uno stato di scarso inerbimento, o di non completo sviluppo vegetazionale, dovuto alla normale evoluzione fisiologica delle specie vegetali utilizzate e non alla cattiva riuscita dell'impianto stesso. La verifica dovrà, quindi, avvenire non prima che l'impianto sia a regime, ossia generalmente non prima di 12-24 mesi. Nel caso in cui le condizioni pedoclimatiche del sito consentano di avere in tempi più brevi un'emergenza delle specie erbacee a radicazione profonda, sottile e resistente su almeno l'80% della superficie trattata, la verifica potrà essere effettuato anche prima dei 12-24 mesi previsti in accordo con la D.L.

39.7.11.3 Manutenzione dell'intervento

Deve essere garantito un inerbimento almeno pari all'80% della superficie inerbibile (esclusi affioramenti rocciosi, muri, superfici asfaltate, ecc.) e il contrasto dell'erosione.
I tempi di germinazione e attecchimento, il numero e il tipo delle specie o varietà che si selezioneranno a partire dalle 10-15 specie seminate dipendono fortemente dalle condizioni climatiche (piovosità, umidità, temperature), dal periodo di semina, dal tipo e finitura superficiale del terreno (granulometria, struttura, scabrezza superficiale, coesione, densità, durezza, compattezza, saturazione, permeabilità, aerazione), dall'esposizione, pendenza, latitudine, altitudine, da eventuali lavorazioni superficiali del terreno, da eventuali irrigazioni di soccorso, ecc. Generalmente, per

ottenere un inerbimento almeno pari all'80% della superficie inerbibile e il contrasto dell'erosione, occorrono dai 12 ai 24 mesi.

In tale periodo si provvederà ad eventuali risemine, concimazioni, annaffiature di soccorso, controllo delle infestanti (specie indesiderate che possono contrastare l'effetto di quelle seminate) e a quant'altro necessario per garantire la riuscita dell'intervento. Le eventuali necessarie risemine e concimazioni saranno effettuate comunque non prima di un intero ciclo vegetativo (almeno 12 mesi) e in periodi idonei dal punto di vista agronomico, nel caso in cui la germinazione, dopo un intero ciclo vegetativo, risulti inferiore all'80%.

39.7.12 Potature e spollonature

Oltre alle normali potature da effettuarsi al momento dell'impianto per equilibrare la parte aerea con quella radicale, l'Appaltatore avrà cura di effettuare nei momenti opportuni gli interventi di potatura di formazione, di taglio di rami secchi e rimonda di parti ammalate e di spollonatura dei succhioni, il tutto al fine di equilibrare lo sviluppo delle piante.

39.7.12.1 Scerbature e sarchiature

Il terreno attorno alle piante poste a dimora dovrà risultare costantemente libero da erbe infestanti per una superficie media di 1 m² per ogni pianta arbustiva, tappezzante e rampicante e di 2 m² per ognuna di quelle a portamento arboreo.
Per le sole piante poste a dimora a semplice o doppio filare nell'aiuola centrale spartitraffico, la fascia di terreno sgombra da erbe infestanti non dovrà mai risultare inferiore a 1 m² per metro lineare di siepe.

a) Le operazioni saranno di scerbatura nel caso d'impianti di siepe spartitraffico allestita in doppio New Jersey e comunque d'impianti arborei e/o arbustivi. Le scerbature dovranno essere eseguite ogni volta che sarà necessario per mantenere le zone sopracitate prive d'erbe infestanti.
b) Le operazioni saranno di sarchiatura in tutti gli impianti diversi da quelli citati al precedente punto a). Le sarchiature dovranno essere eseguite ogni qualvolta il terreno di coltura si presenta costipato, riarso, poco aerato e/o coperto di vegetazione infestante.

39.7.12.2 Taglio delle erbe nelle zone seminate e tosatura dei tappeti erbosi

L'Appaltatore è obbligato ad effettuare:
- lo sfalcio nelle zone in cui è stata eseguita la semina dei prati;
- la tosatura nelle zone in cui è stato impiantato un tappeto erboso in strisce e/o zolle.

Le operazioni di sfalcio delle zone in cui è stata effettuata la semina dei prati dovranno essere eseguite per mantenere l'erba ad un'altezza media non superiore a 25 cm. Il taglio deve essere eseguito a raso del terreno, ossia a pochi centimetri sopra il colletto delle piante.
Per l'esecuzione degli sfalci, l'Appaltatore dovrà impiegare attrezzature con testate a martelletti che triturino l'erba in spezzoni della lunghezza massima di 50 mm e la distribuiscano uniformemente sulla superficie d'intervento. Il materiale di risulta dovrà essere in ogni caso allontanato dalla vicinanza degli scivoli, delle canalette e dei pozzetti per la raccolta delle acque piovane, onde evitare intasamenti degli scivoli, delle canalette e delle condotte di raccolta delle acque stesse, e portato a rifiuto e smaltito secondo le normative vigenti, così pure per i residui di sfalcio che si dovessero depositare sulle corsie.

Il tappeto erboso dovrà essere mantenuto costantemente libero da erbe infestanti e l'altezza dell'erba mantenuta entro un minimo di 5 cm e un massimo di 10 cm con le opportune tosature.

Subito dopo ciascuna tosatura l'Appaltatore avrà cura di effettuare una passata di rullo leggero da prato.
Almeno per ogni tre tosature o con maggior frequenza, se necessario, l'Appaltatore dovrà altresì effettuare spandimenti di concime minerale ternario complesso nel quantitativo di almeno 0,50 q/ha.
Sia nel caso di sfalci che di tosature la Direzione dei Lavori potrà prescrivere all'Appaltatore di effettuare gli interventi, atti a mantenere gli standard fissati, anche a tratti discontinui senza che questo possa costituire motivo di richiesta d'indennizzi particolari da parte dell'Appaltatore stesso.

39.7.12.3 Rinnovo parti difettose prati seminati e dei tappeti erbosi

Le superfici seminate o impiantate con tappeto erboso che per qualsiasi ragione presentino delle fallanze, una crescita irregolare, difettosa o comunque insufficiente, dovranno essere riseminate o impiantate di nuovo dall'Appaltatore, nel periodo e nelle condizioni climatiche più opportune.

39.7.12.4 Concimazioni chimiche

Oltre alle concimazioni minerali ed organiche previste negli articoli inerenti la concimazione di fondo e messa a dimora del materiale vivaistico, l'Appaltatore avrà cura di somministrare concimi a pronto effetto, preferibilmente ad assorbimento fogliare, qualora lo stato vegetativo delle piante messe a dimora possa pregiudicare l'attecchimento delle singole piante e comunque la riuscita dell'impianto.

39.7.12.5 Trattamenti anticrittogamici ed insetticidi

L'Appaltatore è tenuto ad eseguire con tempestività i trattamenti anticrittogamici ed insetticidi, sia profilattici che terapeutici, non appena ci siano i sintomi di una qualsiasi patologia e/o di danni dovuti ad insetti. Qualora se ne presenti la necessità l'Appaltatore dovrà inoltre provvedere alla disinfestazione ed all'allontanamento d'insetti ed animali anche rifugiati nel terreno.
Le attrezzature impiegate per queste operazioni dovranno essere del tutto compatibili con la sicurezza della viabilità autostradale e conformi alle Leggi vigenti in materia.
L'Appaltatore assume ogni responsabilità per il mancato intervento, per l'adozione di fitofarmaci non adatti, per il cattivo uso dei prodotti dovuto alla negligenza degli operatori o comunque per l'impiego di fitofarmaci senza una giustificazione tecnica profilattica.

39.7.12.6 Adacquamenti

Anche se le piante previste sono state scelte per la particolare zona fitoclimatica attraversata dall'autostrada, quindi adatte all'ambiente e da allevare senza particolari artifici, non è escluso che, specialmente nelle prime fasi d'impianto, sia necessario ricorrere ad adacquamenti di soccorso. Questi saranno fatti nel modo più tempestivo, in abbondanza e senza che la Direzione dei Lavori sia costretta ad emanare particolari disposizioni al riguardo. Sarà a carico dell'Appaltatore il reperimento, il trasporto dell'acqua d'irrigazione e tutto quanto occorre per la somministrazione e distribuzione.

39.7.12.7 Assolcature e Ripristino danni causati da erosione

Affinché le acque piovane o d'irrigazione possano agevolmente defluire o penetrare nel terreno uniformemente senza provocare danni per erosioni, ruscellamenti, smottamenti ecc., l'Appaltatore è tenuto ad eseguire delle opportune assolcature. L'Appaltatore è comunque tenuto a ripristinare e conguagliare le aree oggetto di sistemazione a verde nel caso in cui si verifichino danni per erosioni, ruscellamenti, smottamenti ecc.

39.8 Prove e controlli

39.8.1 Prove a carico dell'Appaltatore

L'Appaltatore è tenuto ad eseguire i seguenti controlli da trasmettere in apposito report alla Direzione Lavori al termine dell'esecuzione di ogni wbs:

- Copia del Documento di trasporto DDT
- Rispondenza delle forniture al DDT, alle specifiche di progetto e di qualifica approvate dal Direttore dei Lavori e nello specifico:
    - Verifica della presenza della etichettaura sulla pianta o gruppo omogeneo di piante e conformità al progetto
    - al momento della consegna della merce l'Appaltatore deve effettuare dei controlli in contraddittorio con la Direzione Lavori sullo stato di salute delle piante (ad esempio piante sane esenti da attacchi d'insetti, malattie crittogamiche, virus, altri patogeni, deformazioni, ferite e alterazioni di qualsiasi natura che possano compromettere il regolare sviluppo vegetativo e il portamento tipico della specie);
    - verifica della rispondenza delle principali caratteristiche fisiche delle specie come la forma, il portamento e le dimensioni tipici della specie agli standard di qualità previsti dai riferimenti tecnici contenuti in studi database o guide tecniche riconosciuti a livello nazionale;
    - verifica che le sementi impiegate nella esecuzione di manti erbosi siano fornite in contenitori sigillati accompagnati dalle certificazioni CRA-SCS;
    - verifica laddove previsto, in base alla tipologia di pianta, della presenza del passaporto delle piante che attesta l'assenza di organismi nocivi indicati negli allegati al decreto legislativo n. 214/2005;
    - per gli ammendanti la verifica del marchio in corso di validità rilasciato dal Consorzio italiano compostatori CIC o di altri marchi equivalenti rispetto al criterio;
    - per l'impianto di irrigazione la rispondenza ai requisiti di progetto e di qualfica.
- Verifica del rispetto del periodo di messa a dimora delle specie vegetative rispetto alle specifiche di progetto e di qualifica approvate dal Direttore dei Lavori
- Verifica dei requisiti del terreno vegetale prima della posa
- Verifica della preparazione della zona di impianto prima della posa delle specie vegetative
- Verifica della corretta installazione delle specie vegativie in merito a tipologia di piante, numero e posizione rispetto alle previsioni progettuali
- Verifica del corretto funzionamento dell'impianto di irrigazione
- Verifica dell'esecuzione delle operazioni di manutenzione, delle cure culturali e sostituzione delle fallanze che non hanno attecchito nelle modalità e nei tempi stabiliti al § 39.9.

39.8.2 Prove in capo alla Direzione Lavori

I prelievi per i seguenti controlli di accettazione in cantiere devono essere eseguiti, in contraddittorio e con l'assistenza dell'Appaltatore:

- N. 1 prelievo ogni 10.000 mc di terreno vegetale prima della stesa nella posizione definitiva, di sia proveniente dal cantiere che da fornitori esterni per la verifica dei requisiti di cui al § 39.3.2

39.9 Manutenzione degli impianti (cure colturali)

Dopo aver eseguito i lavori previsti nei documenti d'appalto, l'Appaltatore dovrà eseguire, a sua cura e spese, tutta una serie di lavori di manutenzione e di pratiche colturali atte a garantire l'attecchimento e la piena efficienza degli impianti per un periodo avente termine alla fine del numero di stagioni vegetative, dopo la messa a dimora, previsto nel Progetto o nei documenti contrattuali, comprensivi anche degli oneri per la sostituzione delle eventuali fallanze (per l'intervento antierosivo, in particolare, occorre riferirsi a quanto riportato nel relativo paragrafo). Le essenze trovate seccate alla verifica di cui sopra saranno sostituite con altre di uguale specie con successivo obbligo di verifica triennale.
L'attecchimento si intende avvenuto quando, al termine di detto periodo, le piante si presentino sane, in buono stato vegetativo con chiome prive di disseccamenti e abbiano, o meglio incrementato, il vigore e il valore ornamentale ed estetico che avevano al momento dell'impianto.
In particolare, si precisa che le specie prescelte per la sistemazione in argomento sono adatte alla specifica zona fitoclimatica attraversata dal tronco autostradale e, pertanto, dovranno essere allevate e governate rispettando la forma naturale delle specie stesse, senza ricorrere a particolari forme di potatura ed allevamento, a meno che non sia stato espressamente richiesto nei documenti d'appalto.
Durante il periodo di manutenzione l'Appaltatore dovrà offrire tutta la propria esperienza professionale, al fine di ottenere un impianto per quanto possibile perfetto, effettuando tutte le cure colturali e di manutenzione, senza che la Direzione dei Lavori debba sollecitare di volta in volta i diversi interventi che si rendessero necessari.
Per questo motivo l'Appaltatore dovrà attenersi, nel modo più scrupoloso, alla migliore tecnica che consenta di garantire appieno l'attecchimento ed il rapido sviluppo delle piante collocate a dimora e la buona riuscita di tutti i lavori eseguiti.
Le pratiche colturali che dovranno essere eseguite dall'Appaltatore, con la tecnica più razionale e con la più sollecita tempestività, sono le seguenti:

A - per la manutenzione di piante arboree, arbustive, rampicanti, tappezzanti e degli "esemplari":
  1 - Sostituzione fallanze;
  2 - Ripristino conche d'irrigazione, rincalzi delle piante e ripristino tutorazioni e ancoraggi;
  3 - Potature e spollonature;
  4 - Scerbature e sarchiature.

B - per la manutenzione dei prati seminati e dei tappeti erbosi a strisce e/o zolle:
  5 - Taglio delle erbe nelle zone seminate e tosatura dei tappeti erbosi;
  6 - Rinnovo parti difettose nelle zone seminate e nei tappeti erbosi.

C - per la manutenzione sia delle piante arboree, arbustive, rampicanti, tappezzanti e degli "esemplari" sia dei prati seminati dei tappeti erbosi a strisce e/o zolle e delle relative zone d'impianto:
  7 - Concimazioni chimiche;
  8 - Trattamenti anticrittogamici e insetticidi;
  9 - Adacquamenti come indicato negli elaborati di progetto;
  10 - Assolcature e ripristino danni causati da erosione.

39.9.1 Sostituzione delle fallanze

Le piante che per qualsiasi ragione non avessero attecchito dovranno essere sostituite, a cura e spese dell'Appaltatore, con soggetti della stessa specie e/o entità sottospecifica. Le essenze trovate seccate alla verifica di cui sopra saranno sostituite con altre di uguale specie con successivo obbligo di verifica attecchimento della durata prevista a progetto.
Le dimensioni delle piante impiegate per le sostituzioni delle fallanze dovranno essere uguali o superiori a quelle previste in Progetto e poste in opera al momento dell'impianto e comunque tali da

ottenere, con le piante non fallite e aventi un diverso sviluppo di quello che avevano inizialmente, un insieme omogeneo, identico come struttura, a quello previsto in Progetto. La sostituzione delle fallanze dovrà avvenire alla prima stagione favorevole all'impianto, dopo che si saranno verificate le fallanze stesse.
A tale fine la Direzione dei Lavori, prima del riposo invernale, provvederà in contraddittorio con l'Appaltatore all'accertamento delle piante morte e alla definizione delle altezze d'impiego. L'Appaltatore stesso avrà cura di effettuare immediatamente lo sgombero delle piante fallite per evitare dubbi sulle sostituzioni da eseguire.

39.9.2 Ripristino conche d'irrigazione, rincalzi e ripristino tutorazioni e ancoraggi

Le conche d'irrigazione, realizzate al piede delle piante all'atto della messa a dimora, devono essere tenute costantemente efficienti e pulite e se necessario ripristinate.
Anche i tutori, che per qualsiasi ragione venissero ad essere manomessi o resi inservibili, dovranno essere sostituiti. Parimenti dovranno essere controllati i sistemi di legatura agli ancoraggi, garantendo la costante efficienza dei pali tutori e l'incolumità delle piante dal rischio di ferite e sgraffiature. L'Appaltatore deve inoltre provvedere al rincalzo delle piante e al ripristino della loro verticalità.

Art. 40 Murature

40.1 Norme generali

I tipi e gli spessori delle murature sono quelli indicati in Progetto.
I laterizi, il pietrame ed i blocchetti in calcestruzzo dovranno essere bagnati all'atto dell'impiego fino a sufficiente saturazione. Dovranno essere messi in opera in corsi regolari con commessure ben riempite di malta.
Prima di dare inizio alla esecuzione delle murature dovrà essere richiesto il benestare della Direzione Lavori sulla idoneità del piano d'appoggio.
Murature nelle quali dovesse riscontrarsi l'impiego di materiali scadenti o difetti d'esecuzione saranno rifiutate, restando a carico dell'Appaltatore l'onere per la demolizione e il successivo rifacimento.
Dovrà essere curato in ogni particolare l'esecuzione di spigoli, sguinci, spalle, mazzette, strombature, incassature, immorsature, canne, piattabande, pilastri, pilastrini, lesene, ecc..
Dovranno essere lasciati i necessari fori, tracce, incavi, canalizzazioni per il passaggio e l'installazione d'impianti d'ogni tipo e degli scarichi, per la posa in opera dei controtelai di norma in legno d'abete e degli infissi, per gli ancoraggi di strutture, per i rivestimenti e per quant'altro sia posto in opera dopo l'esecuzione delle murature.
Quanto sopra allo scopo di evitare lo scalpellamento o la demolizione anche parziale della muratura, il cui onere in ogni caso deve ritenersi a totale carico dell'Appaltatore.
L'Appaltatore dovrà adottare i provvedimenti ritenuti più opportuni per proteggere le murature dal gelo nel periodo invernale.
Le dosature dei materiali componenti le malte dovranno essere eseguite con mezzi capaci d'esatta misurazione che l'Appaltatore dovrà fornire e mantenere efficienti a sua cura e spese.
L'impasto dei materiali dovrà essere ottenuto con idonei mescolatori meccanici.
Gli impasti dovranno essere preparati solamente nelle quantità necessarie per l'impiego immediato.
I residui impasti che non avessero, per qualsiasi ragione, immediato impiego, dovranno essere portati a rifiuto.

40.2 Murature di mattoni

I mattoni, all'atto dell'impiego dovranno essere abbondantemente bagnati per immersione sino a sufficiente saturazione.
Essi dovranno essere messi in opera a regola d'arte, con le commessure alternate in corsi regolari; saranno posati sopra uno strato di malta e premuti sopra di esso in modo che la malta rimonti all'ingiro e riempia tutte le commessure.
La larghezza delle commessure non dovrà essere maggiore di 1 cm, né minore di 0,5 cm. Si dovrà iniziare e proseguire la costruzione in modo uniforme, onde assicurare collegamenti perfettamente addentellati e solide immorsature tra le varie parti, evitando la formazione di eccessive sporgenze.
La malta di allettamento avrà classe di resistenza a 28 d > 28/35 MPa e sarà dosata con minimo 400 kg di cemento normale (32,5 o 32,5R di tipo III o di tipo IV) per metro cubo di sabbia ed avrà rapporto acqua cemento < a 0,5 che l'Appaltatore dovrà garantire anche attraverso l'uso di additivi superfluidificanti non aeranti.
In presenza di climi freddi ovvero con temperature inferiori ai 278 K, l'Appaltatore farà costantemente uso di additivi antigelo ed acceleranti di presa esenti da cloruri del tipo approvato dalla Direzione Lavori, conformi a quanto previsto dalle norme UNI 7109 e UNI EN 934-2, dosati secondo i risultati delle prove e comunque non inferiori al 2% sul peso del legante.
La frequenza dei prelievi di malta sarà pari ad una serie di provini cubici di 10 cm di lato, per ogni giorno di produzione.

Per la muratura da eseguirsi a paramento a vista, si dovrà aver cura di scegliere, per le facce esterne, i mattoni di migliore cottura, a spigoli vivi, meglio formati, di colore uniforme, da disporre con perfetta regolarità di piani a ricorrenze ed alternando con precisione i giunti verticali. I laterizi dovranno essere conformi a quanto previsto nell'art. 40.2 delle presenti Norme.

40.2.1 Murature di laterizi pieni e forati, per fabbricati

I laterizi dovranno essere messi in opera a regola d'arte, legati con malta bastarda composta da 200 kg di calce idraulica, 200 kg di cemento normale e 1 m³ di sabbia, resistenza media a compressione > 5 MPa, in corsi regolari con commessure di larghezza non superiore a 1 cm né inferiore a 0,5 cm. Si dovrà iniziare e proseguire la costruzione in modo uniforme, onde assicurare collegamenti perfettamente addentellati e solide immorsature tra le varie parti, evitando la formazione di eccessive sporgenze.
Nel caso delle murature in laterizi forati, dovranno essere impiegati mattoni pieni per l'esecuzione di mazzette, sguinci, angoli.

40.2.2 Murature a faccia-vista, per fabbricati

Le murature da eseguire a «faccia vista» dovranno iniziare almeno 20 cm al di sotto del piano finito del marciapiede o della pavimentazione esterna.
Dovranno usarsi mattoni stampati (pressati) con facce a vista sabbiate, di prima scelta, integri, con tagli e spigoli netti, di colore uniforme.
Le commessure, perfettamente orizzontali, dovranno essere eseguite inserendo in corso d'opera un tondino ø=8 mm, da togliere una volta eseguito il ricorso.
Tutti i giunti saranno stilati con malta di cemento.
Si dovrà porre la massima cura nella suddivisione dei ricorsi in modo tale che l'ultimo vada a combaciare esattamente contro le travi o i cordoli superiori e che i giunti verticali, perfettamente allineati secondo disegni, risultino con mezza bugna alternata in corrispondenza di angoli e di mazzette.
Quando previsto in Progetto, le piattabande di porte e finestre dovranno essere eseguite con mattoni posti a coltello.

40.2.3 Murature ad intercapedine, per fabbricati

Saranno costituite come segue:
- in laterizi: parete esterna dello spessore di una testa; parete interna in foglio;
- in blocchetti forati di conglomerato di argilla espansa: dosati a 200 kg di cemento tipo 42,5, parete esterna dello spessore di 12 cm; parete interna di 8 cm;

legate con malta bastarda, composta da 200 kg di calce idraulica, 200 kg di cemento normale e 1 m³ di sabbia, resistenza media a compressione > 5 MPa.
La tipologia dei materiali impiegati e la larghezza dell'intercapedine tra le pareti esterne ed interne sono quelli indicati in Progetto.
In corrispondenza degli angoli, delle spalle di porte e finestre, degli incroci con strutture di spina, la muratura dovrà essere piena per una lunghezza minima pari ad una volta e mezzo gli spessori.
Detto provvedimento, con muratura piena, dovrà inoltre essere adottato come collegamento tra il tamponamento esterno e quello interno, ogni qualvolta la lunghezza della intercapedine dovesse superare 2 m e dove indicato nei disegni esecutivi.

40.2.4 Murature in blocchetti forati prefabbricati, per fabbricati

a - Blocchetti in calcestruzzo di cemento vibrocompresso legati con malta bastarda, composta da 200 kg di calce idraulica, 200 kg di cemento normale e 1 m³ di sabbia, resistenza media a compressione > 5 MPa:

- di tipo normale, da ricoprire con intonaco;
- di tipo impermeabilizzato mediante additivazione del calcestruzzo, da lasciare a faccia vista con giunti stuccati e stilati a cemento, con anche la malta legante additivata con idrorepellente.

b - Blocchetti in conglomerato di argilla espansa, del tipo strutturale di densità 600÷650 kg/m³, dosato a 200 kg di cemento tipo 42,5 per metro cubo di impasto, legati con malta bastarda, composta da 200 kg di calce idraulica, 200 kg di cemento normale e 1 m³ di sabbia, resistenza media a compressione > 5 MPa: di tipo normale o impermeabilizzati, come descritto al precedente punto a).
Quando previsto in Progetto, i fori verticali dei blocchetti dovranno essere intasati con calcestruzzo di tipo II con classe di resistenza > 20/25 MPa ed eventualmente armati con ferri tondi; la muratura sarà provvista di armatura orizzontale mediante l'inserimento, a ricorsi alterni, di scalette in acciaio costituite da ferri longitudinali e ferri trasversali intervallati tra loro.
Le murature da eseguire a «faccia vista» dovranno iniziare almeno 20 cm al di sotto del piano finito del marciapiede o della pavimentazione esterna.
Le commessure, perfettamente orizzontali, dovranno essere eseguite inserendo in corso d'opera un tondino ø=8 mm, da togliere una volta eseguito il ricorso.
Tutti i giunti saranno stilati con malta di cemento.
Si dovrà porre la massima cura nella suddivisione dei ricorsi in modo tale che l'ultimo vada a combaciare esattamente contro le travi o i cordoli superiori e che i giunti verticali, perfettamente allineati secondo disegni, risultino con mezza bugna alternata in corrispondenza di angoli e di mazzette.
Quando previsto in Progetto, le piattabande di porte e finestre dovranno essere eseguite con mattoni posti a coltello.

40.3 Murature di pietrame a secco

La muratura di pietrame a secco dovrà essere eseguita con pietre ridotte col martello alla forma il più possibile regolare, restando assolutamente escluse quelle di forma rotonda.
Le pietre saranno collocate in opera in modo che si colleghino perfettamente fra loro, scegliendo per i paramenti quelle di maggiori dimensioni, non inferiori a 20 cm di lato e le più adatte per il migliore combaciamento.
Si eviterà sempre la ricorrenza delle commessure verticali.
Nell'interno della muratura si farà uso delle scaglie soltanto per appianare i corsi e riempire gli interstizi fra pietra e pietra.
Per i cantonali si useranno le pietre di maggiori dimensioni e meglio rispondenti allo scopo. La rientranza delle pietre del paramento non dovrà mai essere inferiore all'altezza del corso. Inoltre si disporranno frequentemente pietre di lunghezza tale da penetrare nello spessore della muratura.
A richiesta della Direzione Lavori l'Appaltatore dovrà lasciare opportune feritoie regolari e regolarmente disposte, anche in più ordini, per lo scolo delle acque.

40.4 Murature di pietrame e malta

La muratura di pietrame con malta cementizia dovrà essere eseguita con elementi di pietrame delle maggiori dimensioni possibili e, ad ogni modo, non inferiori a 25 cm in senso orizzontale, 20 cm in senso verticale e 30 cm di profondità.
Per i muri di spessore 40 cm si potranno avere alternanze di pietre minori.

Le pietre, prima del collocamento in opera dovranno essere diligentemente pulite e ove occorra, a giudizio della Direzione Lavori, lavate.
Nella costruzione della muratura le pietre dovranno essere battute col martello e rinzeppate diligentemente con scaglie e con abbondante malta così che ogni pietra resti avvolta dalla malta stessa e non rimanga alcun vano od interstizio.
La malta avrà classe di resistenza a 28 d > 25/30 MPa e sarà dosata con minimo 350 kg di cemento normale (32,5 o 32,5R di tipo III o di tipo IV) per metro cubo di sabbia ed avrà rapporto acqua cemento < a 0,5 che l'Appaltatore dovrà garantire anche attraverso l'uso di additivi superfluidificanti non aeranti.
In presenza di climi freddi ovvero con temperature inferiori ai 278 K, l'Appaltatore farà costantemente uso di additivi antigelo ed acceleranti di presa esenti da cloruri del tipo approvato dalla Direzione Lavori, conformi a quanto previsto dalle norme UNI 7109 e UNI EN 934-2, dosati secondo i risultati delle prove e comunque non inferiori al 2% sul peso del legante.
La frequenza dei prelievi di malta sarà pari ad una serie di provini cubici di 10 cm di lato, per ogni giorno di produzione.
Nel paramento ad opera incerta, il pietrame dovrà essere scelto diligentemente e la sua faccia vista dovrà essere ridotta col martello a superficie approssimativamente piana.
Le facce di posa e combaciamento delle pietre dovranno essere spianate e adattate col martello, in modo che il contatto dei pezzi avvenga in tutti i giunti per una rientranza non minore di 8 cm.
Nel paramento a mosaico greggio, le facce viste dei singoli pezzi dovranno essere ridotte, col martello a punta grossa, a superficie piana poligonale; i singoli pezzi dovranno combaciare fra loro regolarmente, restando vietato l'uso delle scaglie.
La muratura a corsi regolari dovrà progredire a strati orizzontali da 20 a 30 cm di altezza con pietre disposte in modo da evitare la corrispondenza delle commessure verticali fra due corsi immediatamente sovrastanti. In tutte le specie di paramento, la sigillatura dei giunti dovrà essere fatta raschiando preventivamente le connessure fino a conveniente profondità per purgarle della malta e delle materie estranee, lavandole a grande acqua e riempiendo poi le commessure stesse con nuova malta, curando che questa penetri bene comprimendola e lisciandola con apposito ferro, in modo che il contorno dei corsi sui fronti del paramento, a lavoro finito, si disegni nettamente e senza sbavature.
Nelle facce viste saranno impiegate pietre lavorate secondo il tipo di paramento prescritto e nelle facce contro terra saranno impiegate pietre sufficientemente piane e rabboccate con malta in modo da evitare cavità.
Nelle murature contro terra saranno lasciate apposite feritoie secondo le prescrizioni della Direzione Lavori.

40.5 Muratura in pietra da taglio

Prima di cominciare i lavori l'Appaltatore dovrà preparare i campioni dei vari generi di lavorazione della pietra da taglio e sottoporli, per l'approvazione, alla Direzione Lavori.
Qualunque sia il genere di lavorazione delle facce viste, i letti di posa e le facce di combaciamento dovranno essere ridotti a perfetto piano e lavorati a grana fine. Non saranno tollerate né smussature a spigoli, né cavità nelle facce, né masticature o rattoppi.
La pietra da taglio che presentasse tali difetti sarà rifiutata e l'Appaltatore sarà in obbligo di farne l'immediata sostituzione, sia che le scheggiature od ammanchi si verifichino al momento della posa in opera, sia dopo e sino al collaudo. Le forme e dimensioni di ciascun concio in pietra da taglio dovranno essere perfettamente conformi ai disegni dei particolari di Progetto ed alle istruzioni che, all'atto della esecuzione, fossero eventualmente date dalla Direzione Lavori.

Inoltre, ogni concio dovrà essere lavorato in modo da potersi collocare in opera secondo gli originali letti di cava.
Per la posa si potrà fare uso di zeppe da togliere immediatamente quando la malta rifluisca nel contorno della pietra battuta a mazzuolo sino a prendere la posizione voluta.
La malta di allettamento avrà classe di resistenza a 28 d > 28/35 MPa e sarà dosata con minimo 400 kg di cemento normale (32,5 o 32,5R di tipo III o di tipo IV) per metro cubo di sabbia ed avrà rapporto acqua cemento < a 0,5 che l'Appaltatore dovrà garantire anche attraverso l'uso di additivi superfluidificanti non aeranti.
In presenza di climi freddi ovvero con temperature inferiori ai 278 K, l'Appaltatore farà costantemente uso di additivi antigelo ed acceleranti di presa esenti da cloruri del tipo approvato dalla Direzione Lavori, conformi a quanto previsto dalle norme UNI 7109 e UNI EN 934-2, dosati secondo i risultati delle prove e comunque non inferiori al 2% sul peso del legante.
La frequenza dei prelievi di malta sarà pari ad una serie di provini cubici di 10 cm di lato, per ogni giorno di produzione.
Occorrendo, i diversi conci dovranno essere collegati con grappe ed arpioni di bronzo saldamente suggellati entro apposite incassature praticate nei conci medesimi.
Le commessure delle facce viste dovranno essere profilate con cemento a lenta presa, diligentemente compresso e lisciato mediante apposito ferro.

40.6 Muratura in pietrame e conglomerato cementizio

La muratura di conglomerato cementizio con paramento esterno in pietrame sarà realizzata con conglomerato cementizio di tipo II, avente classe di resistenza > 28/35 MPa per quanto concerne il paramento interno, mentre il paramento esterno realizzato in pietrame dello spessore medio di 30 cm, ben ammorsato nel conglomerato cementizio retrostante, sarà eseguito con caratteristiche riportate negli art. 40.3 o 40.4 in relazione alle disposizioni progettuali.

Art. 41 Intonaci

Gli intonaci possono essere del tipo:
- Intonaco rustico tirato in piano a fratazzo fino, su murature di qualsiasi forma e tipo e su soffitti, eseguito con due strati di malta dosata a 400 kg di calce idraulica per metro cubo di sabbia;
- Intonaco civile interno su superfici verticali ed orizzontali, anche curve, eseguito in due strati; con malta dosata a 400 kg di calce idraulica per metro cubo di sabbia e rifinito con malta di calce fina (grassello) o con malta dosata a 400 kg di cemento per metro cubo di sabbia, rifinito a fratazzo fino;
- Intonaco civile interno su superfici verticali ed orizzontali, anche curve, dello spessore non inferiore a 7 mm, eseguito a mano e o a macchina con malta premiscelata composta da calce, gesso, perlite ed additivi;
- Intonaco civile esterno su superfici verticali ed orizzontali, anche curve, eseguito in due strati: con malta bastarda dosata a 250 kg di calce idraulica e 250 kg di cemento per metro cubo di sabbia e rifinito a fratazzo fino, o con malta dosata a 350 kg di cemento per metro cubo di sabbia, ambedue rifiniti a fratazzo fino;
- Intonaco ignifugo a superficie rasata eseguito con malta composta da 1 m³ di vermiculite, 250 kg di cemento tipo 42,5 e 1 kg di VICSOL aerante o equivalente.

L'esecuzione degli intonaci sarà preceduta da bagnatura ed accurata preparazione delle superfici mediante rimozione di grumi di malta, scarnitura delle commessure fino a conveniente profondità, ripulitura delle pareti e rinzaffo delle irregolarità più salienti.
Non dovranno essere di norma eseguiti in periodi di temperature troppo rigide od elevate; dovrà essere presa ogni precauzione necessaria a proteggerli dagli agenti atmosferici di qualsiasi genere, quando questi siano tali da pregiudicare la normale presa della malta.
Salvo prescrizioni particolari, l'esecuzione sarà con angoli e spigoli a filo vivo, perfettamente a "piombo", con squadro perfetto tra soffitti e pareti e con superfici prive di ondulazioni, irregolarità, peli, screpolature od altri difetti. Gli intonaci che non presentassero la necessaria aderenza alle murature dovranno essere demoliti e rifatti a cura e spese dell'Appaltatore.
Prima dell'esecuzione degli intonaci si predisporranno opportune fasce, eseguite sotto regoli di guida, in numero sufficiente per ottenere intonaci perfettamente piani; sarà applicato quindi un primo strato di malta gettata con forza in modo che penetri in tutti gli interstizi e li riempia.
Quando il primo strato avrà ottenuto una leggera presa si applicherà su di esso un secondo strato che sarà regolarizzato con regolo e fratazzo.
Quando l'intonaco deve essere applicato sull'intradosso di solai e su strutture in conglomerato cementizio si dovrà eseguire, preliminarmente, un primo leggero rinzaffo con malta fluida di cemento, cui seguiranno le operazioni descritte in precedenza.
Gli intonaci civili interni ed esterni saranno rifiniti con malta fina tirata a fratazzo.
Tutti gli spigoli degli intonaci interni dovranno essere protetti da paraspigoli fino all'altezza di 1,50 m.
Gli intonaci ignifughi dello spessore previsto in Progetto saranno eseguiti con la stessa metodologia degli altri intonaci, stendendoli in strati successivi fino ad ottenere gli spessori richiesti.

41.1 Intonaci eseguiti a mano

L'intonaco a mano sarà eseguito in doppio strato fresco su fresco per uno spessore complessivo di 20 mm, dosato a 500 kg di cemento normale (di tipo III o di tipo IV) per metro cubo di sabbia.

41.2 Intonaci eseguiti a spruzzo (gunite)

Prima di applicare la gunite su pareti in conglomerato cementizio degradate, l'Appaltatore avrà cura di eseguire la sabbiatura ad aria compressa ed un efficace lavaggio con acqua in pressione.
La malta sarà di norma composta di 500 kg di cemento (di tipo IV 32,5 o 32,5R) per metro cubo di sabbia salvo diverse prescrizioni.

Il dosaggio dei componenti deve essere fatto a peso.
L'acqua proverrà da fonti ben definite che diano acqua rispondente alle caratteristiche specificate nelle presenti Norme.
Il rapporto acqua/cemento non dovrà essere superiore a 0,45.
Allo scopo di realizzare un intonaco impermeabile si farà costantemente uso di additivi acceleranti di presa e fluidificanti, del tipo e nella quantità approvate dalla Direzione Lavori.
Le sabbie da impiegare nell'impasto saranno di natura silicea, lavate e vagliate, scevre da limo ed ogni altra impurità.
La granulometria sarà compresa nel seguente fuso avente andamento continuo ed uniforme:

Serie crivelli e setacci UNI	**Passante % totale in peso**
crivello 10	100
crivello 5	98÷88
setaccio 2	73÷63
setaccio 0,4	32÷22
setaccio 0,18	13÷3

L'intonaco avrà di norma spessore di 35 mm e sarà eseguito in tre strati: il primo strato del tipo boiacca servirà a preparare la superficie per accogliere lo strato successivo, mentre il terzo strato sarà di spessore tale da portare la gunite ai prescritti 35 mm.
Potrà essere prevista l'inclusione di reti metalliche elettrosaldate in fili d'acciaio che saranno fissate al supporto mediante chiodatura, di caratteristiche come indicate in Progetto. Quando l'intonaco fosse eseguito in gallerie e si verificassero delle venute d'acqua dovranno essere predisposte, prima della gunitatura, opportune canalette di captazione.

41.3 Prove e controlli di laboratorio

A discrezione della Direzione Lavori saranno prelevati campioni di sabbia stoccata a piè d'opera per il controllo granulometrico.
Essa, al momento della posa in opera dovrà essere ben asciutta ai fini di ottenere un buon impasto al momento dell'applicazione.
Saranno prelevati campioni di gunite sulla parete (dopo aver completato il ciclo degli strati) per il controllo della percentuale di acqua, della percentuale di cemento e della curva granulometrica, cospargendo il campione di alcool fino a coprire il prelievo.
Inoltre, durante la posa in opera della miscela saranno prelevati campioni della stessa spruzzandola entro apposite cubettiere con getto normale al fondo dei contenitori; la superficie sarà rasata e fratazzata. La maturazione dei provini avverrà in camera climatica.
La frequenza dei prelievi e il numero dei campioni sarà indicato dalla Direzione Lavori.
Le prove di rottura a compressione a ventotto giorni dovranno dare una classe di resistenza non inferiore a 35/40 MPa.

Art. 42 Solai

42.1 Generalità

Per tutti i solai, valgono le norme emanate in applicazione dell'art. 21 della Legge 5.11.1971 n. 1086, della Legge 2.2.1974 n. 64, NTC2018 e successivi aggiornamenti, nonché le norme di cui all'articolo 20 "Conglomerati cementizi semplici e armati".

42.2 Solai misti in c.a. e laterizi

I blocchi forati in laterizio per solai misti dovranno essere del tipo a funzione statica in collaborazione con il conglomerato; dovranno rispondere alle norme per l'accettazione di materiali di cui all'art. 2 ed avere i seguenti requisiti:

- spessore delle pareti perimetrali ed orizzontali compresse: non minore di 8 mm;
- spessore dei setti: non minore di 7 mm;
- resistenza caratteristica cubica a compressione nella direzione dei fori: di 30 MPa;
- il rapporto fra l'area complessiva dei fori e l'area lorda delimitata dal perimetro della sezione del blocco non deve essere superiore a 0,6÷0,625 A, dove «A» è l'altezza del blocco in metri, con un massimo del 75%.

Le nervature, della larghezza non minore di 1/8 dell'interasse e in ogni modo non inferiore a 8 cm, le zone piene agli incastri, la soletta superiore di compressione, dello spessore non inferiore a 4 cm, saranno realizzate in calcestruzzo di cemento di tipo II e con Rck > 30 MPa; i ferri d'armatura apparterranno al tipo B450C o B450A.
Nei solai di luce superiore a 5,00 m dovranno essere previsti travetti di ripartizione in spessore di solaio; i laterizi dovranno essere bagnati fino a saturazione prima del getto.

42.3 Solai alleggeriti a struttura in c.a.

Sono costituiti da lastre prefabbricate in calcestruzzo di tipo II con Rck > 30 MPa, dello spessore di 4 cm, in elementi modulari di larghezza 120, 240 cm o sottomultipli, armati con rete elettrosaldata e tralicci in barre d'acciaio a aderenza migliorata del tipo B450C o B450A, dimensionati in funzione delle luci e delle portate dei solai.
L'alleggerimento sarà ottenuto con blocchi di polistirolo espanso non collaboranti, della densità non inferiore a 20 kg/m³, tenuti in posto con idonei sistemi.
Le nervature, della larghezza non minore di 1/8 dell'interasse e in ogni modo non inferiore a 8 cm, le zone piene agli incastri, le travi a spessore perimetrali e trasversali, la soletta superiore di compressione, dello spessore non inferiore a 4 cm ed armata con rete elettrosaldata in acciaio del tipo B450C/ B450A in ragione di 2,5 kg/m² di soletta, saranno realizzate in calcestruzzo di cemento di tipo II con Rck > 30 MPa; i ferri d'armatura integrativa apparterranno al tipo B450C/ B450A, dimensioni e sagomature secondo le indicazioni progettuali.
Nei solai di luce superiore a 5,00 m dovranno essere previsti travetti di ripartizione in spessore di solaio.
Le lastre prefabbricate dovranno essere perfettamente complanari e poggiate su piani livellati, l'intradosso del solaio sarà rifinito mediante sigillatura dei giunti con malta antiritiro additivata con speciali collanti e rasatura finale.

42.4 Solai in lamiera grecata e getto collaborante in c.a.

Costituiti da lastre di lamiera grecata con sovrastante getto collaborante in calcestruzzo.
Le lastre di lamiera grecata d'acciaio laminato a freddo dello spessore di 1,2 mm dovranno avere nel senso trasversale un rapporto tra sviluppo effettivo e larghezza della lastra > a 1,6; dovranno

essere zincate a caldo con sistema Sendzimir, la faccia a contatto con il calcestruzzo dovrà avere idonei staffaggi atti a migliorare l'aderenza acciaio calcestruzzo.
Il getto collaborante in calcestruzzo di tipo II con Rck > 30 MPa dovrà colmare le nervature e formare una soletta superiore continua dello spessore minimo di 4 cm; potrà eventualmente essere alleggerito mediante impiego d'inerti d'argilla espansa strutturale; sarà armato con rete d'acciaio del tipo B450C/ B450A a maglie elettrosaldate; i ferri d'armatura integrativa apparterranno al tipo B450C/ B450A, dimensioni e sagomature secondo le indicazioni progettuali.
Compresa la solidarizzazione del solaio alle strutture portanti, secondo i disegni di Progetto, gli sfridi della lamiera, la fornitura in opera d'idonee scossaline per il tamponamento delle testate ed il contenimento del getto, ecc..

42.5 Solai in lastre multifori estruse prefabbricate in c.a.

Costituiti da lastre multifori estruse prefabbricate in cemento armato precompresso di tipo I con Rck > 55 MPa, armate con trefoli d'acciaio preteso aventi fptk > 1800 MPa, da considerare, come schema statico, a semplice appoggio, di spessore come da indicazioni progettuali.
Compreso: il livellamento dei piani d'appoggio; l'impiego di puntelli e banchinaggi per ottenere perfetta planarità all'intradosso; la sigillatura dei giunti longitudinali con malta di cemento dosato a 400 kg/m³ ed additivato con agenti antiritiro; l'esecuzione.
Sulle lastre ancora fresche saranno realizzate delle asole per la posa in opera dei ferri di connessione, che saranno bloccati in opera con calcestruzzo e/o malta additivati con agenti antiritiro; la messa in opera sarà completata dalla realizzazione di cordoli e di corree in c.a. di tipo II con Rck > 30 MPa.

Art. 43 Controsoffitti

43.1 In pannelli ad impasto gessoso

Costituiti da pannelli modulari piani accostati e realizzati con impasto gessoso opportunamente fibrato, delle dimensioni di 60x60 cm e spessore minimo 3 cm, dotati sui bordi di speciale incastro atto a consentire una rapida movimentazione, aventi resistenza al fuoco di 45 min.
Il pannello sarà dotato d'armatura portante non in vista, costituita da profilati d'acciaio zincato a T e relativi distanziatori, fissati alle strutture portanti mediante tiranti rigidi regolabili in tondino d'acciaio zincato del diametro di 4 mm con molla e sarà rifinito con speciale coprifilo perimetrale in profilato d'alluminio d'adeguata sezione anodizzato o verniciato.
Come da prescrizione di Progetto, sono richiesti pannelli a superficie in vista liscia; o pannelli fonoassorbenti con superfici in vista forata, con foratura regolare o irregolare, muniti di materassino in lana di vetro incorporato e protetto da una lamina in alluminio.

43.2 In pannelli di fibre minerali

Costituiti da pannelli piani del tipo acustico decorativo con resistenza al fuoco di 120 min, idonei per essere installati in ambienti ad alto tasso d'umidità, realizzati con fibre minerali selezionate disposte a strati incrociati e trattate in forno ad alta temperatura; avranno dimensioni modulari 60x60 cm e spessore minimo di 15 mm; la superficie in vista finita con tre mani di tinta bianca lavabile.
Montati su orditura di sostegno costituita da profilati a T d'acciaio zincato verniciati a forno di colore bianco, posti in vista e formanti un reticolo delle dimensioni dei pannelli, ancorati alle strutture portanti mediante tiranti rigidi regolabili in tondini d'acciaio zincato del diametro di 4 mm con molla; forniti di speciale coprifilo perimetrale in profilato d'alluminio d'adeguata sezione anodizzato o verniciato.

43.3 In pannelli di lamierino d'alluminio

Costituiti da pannelli modulari fonoassorbenti in lamierino d'alluminio di dimensioni 60x60 cm, dello spessore minimo di 0,5 mm a superficie forata, verniciati con smalto vinilico polimerizzato a forno di colore previsto in Progetto.
Ogni pannello sarà scatolato con i bordi sagomati per il montaggio accostato, compreso un materassino dello spessore di 3 cm di lana di vetro a fibra lunga imbustato in sacchetto di polietilene sigillato a caldo, posto nella parte superiore.
I pannelli saranno posti in opera, sospesi mediante clips a scatto d'acciaio zincato, su orditura di sostegno in tubi d'acciaio trattati con vernice anticorrosiva, ancorati alle strutture portanti mediante tiranti rigidi regolabili in tondino d'acciaio zincato del diametro di 4 mm con molla.
Il controsoffitto così realizzato sarà rifinito perimetralmente da speciale coprifilo in profilato d'alluminio, d'adeguata sezione, anodizzato o verniciato.

43.4 In elementi modulari a cielo aperto

Costituiti da elementi modulari in fibre minerali selezionate e compresse, d'altezza minima 16 cm e spessore minimo 1,5 cm, rifiniti con una mano d'imprimitura e due mani di pittura acrilica bianca, aventi resistenza al fuoco di 90 min.
Gli elementi saranno posti in opera in posizione verticale accoppiati dorso contro dorso, formanti una struttura alveolare a cielo aperto a maglia quadra di 60x60 cm, su orditura a maglia costituita da speciali profilati d'acciaio zincato sagomati ad omega e verniciati a forno in colore bianco.
Il fissaggio dell'orditura alle strutture portanti sarà realizzato mediante tiranti rigidi regolabili in tondino d'acciaio zincato ø=4 mm con molla, da staffe a più vie d'ancoraggi e da artigli ferma

pannelli. La lavorazione sarà completata dalla messa in opera di un pannello corrente sull'intero perimetro del controsoffitto.

43.5 In doghe d'alluminio

Saranno del tipo modulare piano, realizzati con doghe in profilato d'alluminio dello spessore minimo di 0,5 mm, preverniciate a forno nel colore previsto in Progetto, con bordi sagomati.
In Progetto può essere previsto l'utilizzo di doghe normali e/o forate fonoassorbenti, queste ultime con sovrastante materassino in lana di vetro a strisce della larghezza delle doghe e dello spessore di 3 cm.
Saranno poste in opera a scuretto aperto di 15 mm, montate con aggancio rapido su orditura portante costituita da traverse d'acciaio zincato verniciate in colore nero, fissata alle strutture portanti mediante pendinatura in barrette regolabili d'acciaio zincato e stabilizzata alle pareti perimetrali.
Sarà rifinito perimetralmente con uno speciale coprifilo in alluminio, d'adeguata sezione, anodizzato o verniciato.

43.6 In lastre di gesso cartonato su intelaiatura portante

Le lastre avranno uno spessore minimo di 13 mm; saranno applicate a vite, su un'intelaiatura portante realizzata con profilati d'acciaio zincato rullati a freddo; l'intradosso del soffitto dovrà essere rifinito con rasatura e stuccatura dei giunti.

43.7 In tavolato d'abete

Sarà realizzato in tavolato d'abete, piallato e maschiettato, dello spessore di 22 mm, lavorato e posto in opera su apposita struttura di sostegno d'acciaio zincato, per la realizzazione di pannellature preassemblate come da Progetto; comprese le viti di fissaggio, le guarnizioni perimetrali in dutral, il trattamento con due mani d'impregnante trasparente ed una mano di vernice poliuretanica trasparente e quant'altro occorre.
Il ciclo di trattamento sarà preceduto dalla preparazione del supporto mediante stuccatura, rasatura e carteggiatura.

43.8 Controsoffitto tagliafuoco

Costituito da pannelli in calcio silicato del tipo isolante termico e acustico, avente reazione al fuoco di classe 0 e reazione al fuoco 180 min, delle dimensioni modulari di 60x60 cm e spessore minimo 25 mm con bordi sagomati per l'incastro dell'orditura, idonei per essere installati anche in ambienti ad alto tasso d'umidità; la superficie in vista finita con tre mani di tinta lavabile.
L'orditura di sostegno reticolare a vista, dovrà essere realizzata in profilati a T d'acciaio zincato e verniciato, ancorata alle strutture portanti con tiranti rigidi regolabili.

Art. 44 Coperture

44.1 Norme generali

Le coperture saranno eseguite con lastre e pannelli aventi misure commerciali idonee per ottenere il miglior risultato estetico e funzionale nonché lunghezza corrispondente a quella delle rispettive falde.
Quando, per esigenze di trasporto od altro, non fosse possibile avere lastre di tale lunghezza la sovrapposizione dovrà essere di almeno 15 cm.
Le sovrapposizioni laterali saranno di almeno due onde; in zone particolarmente ventose il senso di posa dovrà essere contrario a quello del vento dominante.
Lastre e pannelli dovranno essere fissati alle strutture portanti con sistemi atti a garantire l'aderenza ed impedire deformazioni, pur consentendo i movimenti di dilatazione.
Le coperture dovranno essere complete di converse, scossaline frontali e laterali, colmi, raccordi; ancorate su un'orditura di listelli di legno fissati alle strutture portanti mediante bulloneria e accessori vari di fissaggio, ecc..
I pezzi speciali (comignoli, esalatori, ecc.) dovranno possibilmente essere forniti dagli stessi produttori delle lastre o pannelli; in mancanza saranno preparati in lamiera zincata o in rame, secondo le previsioni progettuali.

44.2 In lastre ondulate di fibrocemento

Saranno realizzate con lastre ondulate conformi alle vigenti norme UNI, dello spessore minimo di 6 mm ed altezza d'onda non superiore a 5 cm poste in opera su orditura di listelli di legno abete di sezione minima 6x3 cm, posti ad interasse non superiore a 1,00 m, bitumati e fissati con opportuna tecnica (malta cementizia, bullonatura, ecc.) alla struttura portante.
Le lastre saranno fissate con viti di ferro zincato e rondelle in materiale plastico, passanti in fori eseguiti col trapano ed il cui diametro sarà maggiore di quello della vite per consentire eventuali piccoli spostamenti dovuti alla dilatazione.

44.3 In lastre nervate d'alluminio

Le lastre saranno del tipo a sezione trapezoidale o semiesagonale d'alluminio primario ALP 99,5 di qualità cruda, con spessore minimo di 0,7 mm e peso non inferiore a 1,850 kg/m².
L'altezza delle nervature sarà di 38 mm con una tolleranza massima di ±2 mm.
La posa in opera su orditura di listelli di legno abete, posti ad interasse non superiore a 1,00 m, bitumati e fissati alla struttura portante con malta cementizia.
Il fissaggio delle lastre sarà eseguito di norma mediante viti di ferro zincato o cadmiato o in lega leggera non contenente rame con interposta rondella d'alluminio ricotto oltre ad una rondella o feltro bitumato per la tenuta del foro all'acqua.
Le viti debbono essere applicate nella sommità delle nervature e serrate fino a comprimere le rondelle senza deformare le nervature stesse.
Di norma il numero delle viti non dovrà essere inferiore ad una ogni metro quadrato di copertura e di una ogni onda ai bordi di colmo e di gronda.
Nelle sovrapposizioni dovranno essere eseguite cuciture con viti autofilettanti, in lega leggera, serrate fino al perfetto combaciamento delle due lastre.
Potranno essere usate anche modalità diverse d'ancoraggio, che evitino il perforamento della lamiera, con sistemi a gancio sottolastra o con profilati speciali in alluminio crudo.
Per ciascuno di questi dovrà essere chiesta preventiva approvazione alla Direzione Lavori.

Resta comunque inteso che qualunque sia il sistema adottato, questo dovrà garantire la totale sicurezza dell'ancoraggio in relazione ai carichi applicati ed in rapporto all'azione del vento.
Una opportuna tecnica di montaggio, inoltre, dovrà sempre evitare le saldature, ma se queste non potranno essere sostituite, sarà opportuno eseguirle con sistemi elettrici od autogeni adeguati, escludendo assolutamente saldature dolci a bassa temperatura con uso di leghe a base di piombo, stagno od ottone.
Dovrà essere evitato nel modo più scrupoloso il contatto dell'alluminio con la malta o con metalli pesanti (piombo, rame, bronzo, ecc.), anche in tracce lasciate da inadeguati attrezzi di lavoro, poiché potrebbero dar luogo a rapido deterioramento in presenza d'umidità.
I listelli dell'orditura saranno rivestiti con liste di cartonfeltro bitumato, esente da catrame, fenoli e non sabbiato.
In alternativa il Progetto può prevedere la posa in opera su orditura d'acciaio zincato, fissata con cavallotti e bulloneria rispettando i passi e norme del fissaggio su listelli di legno.
L'orditura d'acciaio non zincata dovrà, prima della posa in opera delle lastre, essere spalmata con vernice a base bituminosa o ricoperta con strisce di plastica autoadesive.
Le lastre dovranno essere immagazzinate isolandole dal suolo con tavole di legno e proteggendole da spolveri di cemento, calce e da altri composti chimici.
Si dovrà inoltre proibire durante la posa in opera l'uso di scarpe chiodate, sostituendole con calzari di gomma e disporre tavole trasversali sulla copertura di modo che gli operai possano muoversi senza causare ammaccature alle ondulazioni.
Sarà diritto della Direzione Lavori il non accettare e pretendere dall'Appaltatore la sostituzione, con tutti gli oneri da questa derivanti, di quelle lastre che per qualsiasi motivo risultassero danneggiate o non idonee.

44.4 In pannelli Sandwich autoportanti

I pannelli avranno dimensioni trasversali modulari secondo le esigenze di Progetto e saranno costituiti da due lamiere d'acciaio zincato sistema Sendzimir, preverniciate, dello spessore di 0,6 mm.
La lastra superiore può essere prevista in Progetto in rame, dello stesso spessore.
Le due lamiere racchiudono uno strato di materiale isolante in schiuma poliuretanica autoestinguente della densità minima di 40 kg/m³.
La lamiera superiore avrà una grecatura conformata in modo da garantire la resistenza alle sollecitazioni previste; le nervature dovranno avere altezza non inferiore a 35 mm, con un rapporto, nel senso trasversale, tra sviluppo effettivo e larghezza di lastra, pari a circa 1,3.
La giunzione tra i pannelli sarà realizzata in modo da garantire la perfetta impermeabilità all'acqua e sarà dotata di guarnizione continua di tenuta inserita in opera o in fase di produzione.
Il fissaggio dei pannelli alle strutture sarà effettuato per mezzo di viti zincate autofilettanti o automaschianti dotate di rondella in P.V.C. e sarà completato con l'inserimento di un cappellotto munito di relativa guarnizione.

44.5 In lastre di lamiera grecata

Le lastre saranno in acciaio zincato a caldo col sistema Sendzimir; avranno spessore minimo di 1,2 mm ed un rapporto tra sviluppo effettivo e larghezza di lastra, misurato in senso trasversale, pari a 1,6÷1,7.
Saranno fissate alla struttura portante metallica mediante cavallotti e viti, compresi pezzi speciali, lattonerie per colmi, converse e scossaline, guarnizioni e quanto altro necessario.

Il fissaggio delle lastre sarà eseguito di norma mediante viti di ferro zincato o cadmiato o in lega leggera non contenente rame con interposta rondella d'alluminio ricotto oltre ad una rondella o feltro bitumato per la tenuta del foro all'acqua.
Le viti debbono essere applicate nella sommità delle nervature e serrate fino a comprimere le rondelle senza deformare le nervature stesse.
Di norma il numero delle viti non dovrà essere inferiore ad una ogni metro quadrato di copertura e di una ogni onda ai bordi di colmo e di gronda.

44.6 In lastre di metacrilato

Le lastre piane avranno uno spessore di 6 mm e potranno essere curvate per manti anche a superficie curva aventi raggi di curvature superiore a 1,00 m; saranno realizzate in metacrilato traslucido o colorato in pasta, come da indicazioni di Progetto e saranno fissate su orditura metallica; i giunti saranno sigillati con idonei collanti e rifiniti con coprigiunti metallici.

44.7 In pannelli d'acciaio inox

I pannelli forniti in opera per la copertura delle scale delle isole di stazione, saranno realizzati come da Progetto.
I manufatti dovranno essere costruiti con struttura portante in profilati d'acciaio zincato, le pannellature di copertura e delle pareti laterali in scatolato d'acciaio inox, con iniettato all'interno poliuretano espanso, le due finestrature laterali realizzate in metacrilato trasparente, completi di un corrimano d'acciaio inox posizionato sul lato interno delle scale.
I profilati, le piastre e i bulloni, in acciaio S275JR saranno zincati a caldo per uno spessore non inferiore a 60 µm; i profilati in vista, oltre la zincatura, dovranno essere verniciati in nero opaco, con vernici epossidiche e poliuretaniche applicate con ciclo "D".
La copertura, in acciaio inox AISI 304/L satinato e protetto di spessore 10/10, sarà realizzata mediante unica piegatura, la lastra interna sarà in alluminio preverniciato di colore bianco e il riempimento fonoassorbente ottenuto mediante iniettamento di poliuretano espanso a bassa pressione.
I pannelli di tamponamento laterali saranno realizzati con doppio guscio, con gli stessi materiali esterni e riempimenti utilizzati nella copertura.
Le lastre in polimetilmetacrilato colato, sagomate e lucidate, saranno dello spessore di mm 5.
Il mancorrente realizzato con tubolare d'acciaio inox AISI 304/L.

44.8 In lamiera di rame

Manto di copertura costituito da lamiera in rame, conforme alla Norma UNI 10372, dello spessore previsto in Progetto, di larghezza modulare e lunghezza pari a quella di falda.
Le giunzioni dovranno essere realizzate a doppia aggraffatura e la posa in opera, sulla struttura portante prevista in Progetto, sarà completa d'accessori di fissaggio, raccordi, chiodature, ripiegature e quant'altro occorre.

44.9 Strato di ghiaia

Dove previsto sarà steso sulle coperture uno strato di ghiaia lavata di cava o di fiume, di granulometria e spessore, come indicato negli elaborati progettuali.
La stesa potrà essere realizzata a mano o con mezzi idonei, che non sollecitino eccessivamente il sottostante solaio di copertura.

Art. 45 Mantovane

La mantovana per pensilina di stazione a struttura metallica, sarà realizzata secondo le previsioni progettuali: in stecche estruse in lega leggera d'alluminio anodizzato e satinato di speciale profilo come da disegno, dello spessore minimo di 1,6 mm, montate su armatura di ferro profilato; in elementi scanalati o nervati in senso orizzontale, in alluminio anodizzato di colore nero opaco, dello spessore di almeno 1,5 mm, conformi ai disegni; in elementi sagomati in lamiera d'alluminio dello spessore di almeno 1,5 mm comprendenti essenzialmente una scossalina inferiore, una superiore ed una fascia frontale. La mantovana avrà altezza di 80 cm e profondità di 40 cm: quest'ultima misurata sui risvolti delle scossaline inferiore e superiore. La fascia frontale, rientrante di 28 cm rispetto alle due scossaline si raccorda al loro filo esterno in corrispondenza dei portali e delle estremità mediante speciali elementi trapezoidali.
Gli elementi in lamiera d'alluminio, fissati alla struttura portante mediante bullonerie e accessori di posa saranno tra loro collegati mediante piastre di giunzione; saranno provvisti d'attacchi portasemafori ed elettrocolorati in tutte le superfici in vista nei colori a scelta dalla Società.

Art. 46 Pareti in pannelli prefabbricati

46.1 Pannelli portanti in c.a.v. normale o alleggerito

Realizzati in calcestruzzo di cemento di tipo II con Rck > 30 MPa, vibrato, ottenuto con inerti, cemento ed additivi fluidificanti e/o acceleranti; eventualmente del tipo alleggerito con impiego d'inerti d'argilla espansa strutturale di densità di 600÷650 kg/m³ e di granulometria appropriata.
I pannelli, delle dimensioni modulari e finiture esterne come previste in Progetto (comunque non eccedenti 3,60 m in larghezza), nelle tipologie di: pannello cieco, pannello finestra, pannello porta, pannello veletta, ecc., pezzi speciali quali angolari, riquadrature vani, ecc. e con finiture della superficie esterna tipo: graniglia lavata e colorata, graffiata mediante trattamento a fresco con appositi pettini metallici o lavorata mediante impiego d'idonee matrici di gomma, in calcestruzzo colorato nell'impasto con pigmenti organici o in cemento bianco, ecc.; quell'interna sarà rifinita a fratazzo.
I pannelli avranno lo spessore indicato in Progetto e saranno armati con rete elettrosaldata e barre tonde in acciaio (queste ultime poste in corrispondenza delle aperture e dei punti sollecitati).
Particolare cura dovrà essere posta nel posizionamento dell'armatura metallica per garantire l'indeformabilità dell'assetto ed adeguato copriferro.
Per conseguire uniformità di finitura dei pannelli di ciascun edificio, il cemento e gli inerti impiegati dovranno avere provenienza costante; inoltre dovrà essere posta cura nella scelta del disarmante per evitare alterazioni di colore ed altre anomalie. I pannelli prefabbricati dovranno essere provvisti di ganci per la loro movimentazione; saranno completi di controtelai e/o contromaschere metallici, trattati con vernice isolante dielettrica, zancati ai pannelli di contorno alle aperture di porte e finestre per l'ancoraggio dei serramenti.
Quelli a profilo concavo avranno sagomatura dei bordi con staffe fuoriuscenti dal calcestruzzo in ragione di almeno tre per metro; in particolare le staffe fuoriuscenti dai pannelli dovranno essere collegate mediante barre d'acciaio d'adeguata sezione; il vano risultante fra i bordi dei pannelli dovrà essere sigillato con prodotti a base siliconica.
I giunti saranno realizzati in modo di assicurare continuità strutturale alle pareti e costituire un sistema di tenuta all'acqua ed all'aria.
L'Appaltatore potrà proporre, in alternativa un diverso sistema di giunto, purché di caratteristiche equivalenti, che potrà essere adottato soltanto dopo formale approvazione della Direzione Lavori.
Durante la fase di montaggio dovranno essere predisposti puntellamenti provvisionali adeguati.

46.2 Pannelli di tamponamento e divisori

46.2.1 In c.a.v. normale o alleggerito

Valgono le prescrizioni di cui al precedente punto 45.1, salvo le seguenti variazioni:

- il calcestruzzo di cemento sarà di tipo II con Rck > 25 MPa; lo spessore dei pannelli sarà quello previsto in Progetto;
- l'armatura dei pannelli sarà in rete elettrosaldata in fili d'acciaio B450C o B450A, del peso di 10 kg/m², e barre d'acciaio poste in corrispondenza d'aperture e nei punti più sollecitati;
- fornitura in opera di boccole ed inserti in profilati HALFEN per il fissaggio dei pannelli alle strutture portanti; telai metallici per l'ancoraggio dei serramenti;
- fornitura in opera di guarnizioni in neoprene d'adeguata sezione alla base dei pannelli;
- i giunti dovranno assicurare un sistema di tenuta all'aria e all'acqua costituito almeno da due linee di difesa, strutturate come segue:
  - inserimento per compressione nell'apposita scanalatura ricavata sui bordi verticali dei pannelli di una guarnizione in profilato di neoprene o materiale equivalente, d'opportuna sagomatura e d'adeguata sezione;

- applicazione lungo la linea di giunto, sulla faccia interna dei pannelli, di una guarnizione di tenuta all'aria costituita da nastro sintetico espansivo autoadesivo in schiuma poliuretanica od altro materiale equivalente;
- sigillatura della fuga esterna del giunto mediante materiale idoneo approvato dalla Direzione Lavori, applicato previo inserimento nel giunto stesso di un listello separatore.

L'Appaltatore potrà proporre, in alternativa, un diverso sistema di giunti, purché di caratteristiche equivalenti, che potrà essere adottato soltanto dopo formale approvazione della Direzione Lavori.

46.2.2 In fibrocemento

Pannelli prefabbricati dello spessore di 80 mm formati da due lastre piane in fibrocemento compresso e stabilizzato, ciascuna dello spessore di 8÷10 mm, intelaiate con profilati d'acciaio zincato ed interposto strato coibente in resina espansa rigida iniettata a caldo avente bassa permeabilità al vapore e densità non inferiore a 40 kg/m³.
I pannelli saranno di dimensioni modulari di 90÷120 cm e sottomultipli, realizzati nelle tipologie di pannello cieco, pannello finestra, pannello veletta; avranno i bordi sagomati per ottenere una perfetta unione ad incastro e la superficie perfettamente planare; i vani di porte e finestre dovranno essere riquadrati con telai in profilati d'acciaio zincato rullati a freddo, d'adeguata sezione, per l'ancoraggio degli infissi. Per le pareti esterne, i giunti tra i pannelli dovranno essere adeguatamente attrezzati con guarnizioni flessibili, tali da assicurare la tenuta dell'aria e dell'acqua; inoltre dovranno essere impiegati idonei pezzi speciali per la esecuzione degli angoli nonché scossaline d'adeguata sagomatura alla base ed in sommità dei pannelli.
La sigillatura all'aria e all'acqua dei giunti tra i pannelli e dei bordi orizzontali degli stessi nonché del contorno dei serramenti, sarà realizzata con guarnizioni in Dutral e coprifili in profilati estrusi d'alluminio anodizzato.
Per le pareti interne, i pannelli dovranno essere posti in opera su profilo a pavimento e guida di contenimento superiore in alluminio con adeguati coprifili di finitura in alluminio anodizzato; i giunti saranno eseguiti con guarnizioni coibenti e coprifili in alluminio anodizzato.
Saranno predisposti inoltre nel pannello ganci, boccole ed inserti per la loro movimentazione ed il fissaggio alle strutture portanti.
Il tutto secondo le indicazioni di Progetto.

46.2.3 In lamiera zincata

Pannelli dello spessore indicato in Progetto, formati da due lamiere da 0,6 mm, lisce o nervate, in acciaio zincato con il sistema Sendzimir e preverniciate a fuoco nel colore previsto; con interposto uno strato coibente in resina espansa rigida iniettata a caldo avente bassa permeabilità al vapore e densità non inferiore a 40 kg/m³, contenuto perimetralmente da profilati in P.V.C..
I pannelli saranno di dimensioni modulari di 90÷120 cm e sottomultipli, realizzati nelle tipologie pannello cieco, pannello finestra, pannello veletta; avranno i bordi sagomati per ottenere una perfetta unione ad incastro e la superficie perfettamente planare; i vani di porte e finestre dovranno essere riquadrati con montanti e traversi in profilati d'acciaio zincato rullati a freddo, d'adeguata sezione, per l'ancoraggio degli infissi; i giunti dovranno essere adeguatamente attrezzati con guarnizioni flessibili, tali da assicurare la tenuta all'aria ed all'acqua.
Dovranno essere impiegati idonei pezzi speciali per la esecuzione degli angoli; alla base ed in sommità delle pareti dovranno essere fornite e poste in opera le scossaline d'adeguata sagomatura e gli accessori di fissaggio dei pannelli alle strutture portanti.

46.2.4 In gesso

Pannelli prefabbricati in gesso dello spessore indicato in Progetto, a sezione piena o con anima a nido d'ape, con giunti ad incastro a maschio e femmina.

Le giunzioni tra i pannelli saranno opportunamente stuccate con materiali idonei e rasate in modo da dare una superficie continua planare.
I pannelli saranno completi di paraspigoli in profilati d'alluminio anodizzato e di controtelai sui vani degli infissi.

46.2.5 In gesso cartonato

Pannelli di gesso cartonato dello spessore di 105 mm, realizzati con due doppie lastre accoppiate in aderenza dello spessore di 26 mm, applicate con viti ad una ossatura portante in profilati d'acciaio zincato rullati a freddo, della sezione 50x40 mm, posta verticalmente ad interasse di 60 cm e fissata a trasversi di collegamento posti a pavimento, a soffitto e nel contorno dei vani di porte e d'eventuali superfici a giorno.
Il vano risultante tra le due coppie di lastre sarà coibentato con materassini in lana di roccia dello spessore di 50 mm e densità minima di 50 kg/m³.
Le giunzioni tra i pannelli saranno sigillate e rasate in modo da dare una superficie continua planare.
I pannelli saranno completi di paraspigoli in profilati d'alluminio anodizzato e di controtelai sui vani degli infissi.

46.2.6 In agglomerato di cemento bianco e lana di vetro (tipo G.R.C.)

Pannelli prefabbricati in agglomerato di cemento Portland ad alta resistenza chimica e materiali inerti fini, armati con speciale fibra di vetro resistente agli alcali e trattati con sostanze idrorepellenti per resistere agli agenti aggressivi esterni.
I pannelli saranno preformati in cassero e dimensionati secondo i disegni di Progetto; dovranno essere atti a creare motivi architettonici attraverso una precisa definizione della forma e della finitura superficiale.
Lo spessore dei pannelli sarà variabile in funzione della ripartizione degli sforzi con un minimo di 10 mm.
Dovranno essere completi d'organi di sollevamento e fissaggio alle strutture portanti e strutturati per realizzare un sistema atto ad assorbire vibrazioni e dilatazioni termiche oltre a garantire l'impermeabilità delle pareti.
La superficie esterna dovrà essere impermeabilizzata con soluzione a base siliconica trasparente.
Particolare cura dovrà essere posta nella esecuzione dei giunti fra i pannelli, frontali e d'angolo, che dovranno essere attrezzati con canali di drenaggio e scossaline, in lega leggera d'alluminio, atti a drenare ogni infiltrazione e condensa, ed inoltre sigillati con materiale a base siliconica.
Sono previsti: pannelli di facciata ciechi; coppelle; pannelli di facciata con vano finestra, predisposti per ricevere i serramenti, con la battuta munita d'appoggi fissi semielastici (neoprene duro o nylon), guarnizioni in elastomeri ed elementi di fissaggio perimetrali tali da permettere una perfetta messa in quadro dei serramenti e conferire al sistema assoluta impermeabilità.
Particolare cura dovrà essere posta nella posa in opera dei pannelli, che dovrà essere preceduta da un'accurata selezione cromatica dei pannelli stessi, così da ottenere facciate a tonalità uniforme.

Art. 47 Pareti divisorie mobili

47.1 Norme generali

Le pareti divisorie mobili saranno realizzate con pannelli di larghezza modulare di 90÷120 cm o sottomultipli, di qualsiasi altezza e dello spessore indicato in Progetto. I pannelli saranno nelle tipologie di pannello cieco, pannello porta, pannello con superfici a giorno e saranno costituiti da:

- una intelaiatura in profilati d'acciaio zincato, rullati a freddo, corrente perimetralmente ai pannelli ed alle eventuali superfici a giorno, con montanti verticali intermedi posti ad interasse di 60 cm;
- due lastre fissate lateralmente all'intelaiatura con viti autofilettanti o automaschianti in acciaio zincato;
- uno strato coibente in pannelli rigidi resinati di lana di vetro.

Le superfici a giorno saranno riquadrate con una intelaiatura in profilati estrusi d'alluminio anodizzato, con interposto vetro lucido dello spessore 4 mm, o lastra di plexiglass dello spessore di 6 mm.
I pannelli saranno posti in opera su profilati d'acciaio zincato posti a pavimento, con guide di contenimento superiore e inferiore in alluminio anodizzato.
I giunti fra i pannelli dovranno essere conformati in modo tale da consentire l'unione fra due o più elementi; inoltre dovranno consentire il passaggio dei cavi elettrici ed avranno la cavità riempita con materiali coibenti.
L'attacco a soffitto ed a pavimento ed i giunti verticali saranno completati con coprifili in alluminio anodizzato; il coprifilo a pavimento avrà anche funzione di battiscopa. La parete dovrà risultare insonorizzata, priva di ponti acustici; l'abbattimento acustico medio dovrà essere non inferiore a 30 dB.

47.2 Pareti in lastre di truciolare ignifugo

Costituite da pannelli modulari di 90÷120 cm e sottomultipli, dello spessore di 90÷95 mm, formate da due lastre in truciolare ignifugo classe 1, ciascuna dello spessore di 20 mm nobilitata melaminico su ambedue le facce, fissate su intelaiatura in profilati d'acciaio zincato rullati a freddo d'adeguata sezione, correnti anche sul perimetro di vani di porte e finestrature.
L'intelaiatura sarà costituita da trasversi e montanti, quest'ultimi fissati in opera mediante viti di registrazione.
La coibentazione interna sarà in pannelli rigidi resinati in lana di vetro dello spessore di 50 mm e di densità minima 40 kg/m³.
Tra l'intelaiatura e le lastre in truciolare dovranno essere interposte guarnizioni elastiche fonoassorbenti.
I pannelli saranno posti in opera su profilo a pavimento d'acciaio zincato e guide di contenimento a pavimento e soffitto in alluminio anodizzato.
Compresa la fornitura e posa in opera di fasce d'aggiustaggio orizzontali e verticali, costituite sempre da due lastre in truciolare nobilitato melaminico, con interposti pannelli rigidi resinati in lana di vetro, di speciali guarnizioni elastiche sul perimetro delle pareti, i coprigiunti in alluminio anodizzato.
Sopraluci e parti finestrate a giorno dovranno essere riquadrate in legno nobilitato melaminico, chiuse da due lastre di vetro lucido dello spessore di 4 mm, intelaiate con profilati in alluminio anodizzato completi di coprifili.
Le porte interne saranno del tipo tamburato ad un'anta, dello spessore di 45 mm, costituite da un profilato perimetrale d'adeguata sezione in alluminio estruso anodizzato portante due lastre di truciolare ignifugo dello spessore di 8 mm, placcate su entrambe le facce con laminato plastico melaminico dello spessore di 0,8 mm; internamente coibentate con pannelli in lana di vetro della densità non inferiore a 40 kg/m³ e spessore 25 mm.

Compreso telaio fisso e coprifili in profilati estrusi d'alluminio anodizzato, maniglie a pomolo aprichiudi e serratura incorporata.

47.3 Pareti in lastre di fibrocemento

Valgono le prescrizioni di cui al precedente punto salvo le seguenti variazioni:

- i pannelli avranno spessore di 80 mm e saranno formati da due lastre di fibrocemento dello spessore di 8÷10 mm con interposta coibentazione in pannelli rigidi resinati in lana di vetro dello spessore di 60 mm e densità minima 40 kg/m³.

Art. 48 Controfodere

48.1 Norme generali

Le controfodere, da abbinare alle pareti mobili, saranno realizzate con lastre e/o pannelli applicati su una ossatura portante in profilati d'acciaio zincato rullati a freddo, di sezione 50x40 mm, disposta verticalmente ad interasse di 60 cm e fissata a traversi di collegamento posti a pavimento, a soffitto e sul contorno dei vani di porte e d'eventuali superfici a giorno.
Le controfodere saranno fissate lateralmente all'ossatura e ai traversi con viti autofilettanti o automaschianti in acciaio zincato.
È previsto in Progetto che il vano risultante tra la controfodera e la parete sia coibentato con pannelli di lana minerale o di roccia dello spessore prescritto e densità minima di 50 kg/m³.
Le giunzioni tra i pannelli e le lastre saranno sigillate o rasate in modo da dare una superficie continua planare.
Le controfodere saranno provviste di coprigiunti, di guide, di paraspigoli in profilati d'alluminio anodizzato, di rivestimento dei pilastri, di riquadrature; il tutto secondo le indicazioni di Progetto.

48.2 Controfodera in pannelli di gesso cartonato

Il pannello avrà spessore di 26 mm e sarà costituito da due lastre accoppiate in aderenza di gesso cartonato, ciascuna dello spessore di 13 mm.
Compresa la fornitura e posa in opera del coprigiunto, delle guide superiori ed inferiori e della coibentazione con materassini di lana di roccia dello spessore di 50 mm.

48.3 Controfodera in lastre truciolari

Lastra truciolare ignifuga dello spessore di 20 mm, nobilitata melaminico su entrambe le facce.
La lastra sarà posta in opera completa del coprigiunto, delle guide superiori ed inferiori e della coibentazione con pannelli rigidi di lana minerale dello spessore di 45 mm.

48.4 Controfodera in lastre di fibrocemento

Lastre di fibrocemento dello spessore di 8÷10 mm. La lastra sarà posta in opera completa del coprigiunto e delle guide superiori ed inferiori e della coibentazione con pannelli rigidi di lana minerale dello spessore di 45 mm.

Art. 49 Isolamenti

I materiali per isolamento termico ed acustico sono:

- pannelli rigidi resinati in fibra di vetro, della densità di 90÷110 kg/m³, completi di schermo antivapore;
- pannelli rigidi resinati in lana di roccia feldspatica, della densità di 120 kg/m³, completi di schermo antivapore;
- pannelli semirigidi resinati in fibre di vetro della densità di 15÷25 kg/m³, completi di schermo antivapore;
- feltri resinati in lana di roccia feldspatica, della densità di 30 kg/m³ completi di schermo antivapore;
- pannelli di polistirene espanso della densità di 20÷30 kg/m³;
- feltri dello spessore di 3 mm, in fibre lunghe di vetro, legate con collanti, cosparsi su una faccia con miscele bituminose, specificatamente per l'isolamento acustico di pavimenti interni;
- pannelli rigidi a struttura cellulare chiusa, in schiuma poliuretanica espansa, di densità 35 kg/m³, additivata con ignifuganti e ritardanti di fiamma, rivestiti sulle due facce con carta kraft del peso di 75 g/m² o in cartonfeltro bitumato cilindrato del peso di 300 g/m².

I pannelli dovranno essere elastici per seguire gli eventuali movimenti delle strutture a contatto senza screpolarsi e opportunamente fissati su strutture o entro intercapedini variamente inclinate.
I materiali dovranno essere chimicamente inerti, imputrescibili, autoestinguenti, inodori, non corrosivi, inattaccabili dagli agenti atmosferici, dagli insetti ecc., resistenti alle temperature d'impiego.
In Progetto è indicato il tipo di materiale da utilizzare con spessori e densità.
Di questi materiali dovranno essere documentati, mediante certificato di prova rilasciato da un laboratorio ufficiale, la corrispondenza alle caratteristiche richieste.

Art. 50 Rivestimenti

50.1 Plastico al quarzo

Il rivestimento plastico al quarzo nei tipi effetto graffiato, rustico, cortina e nel colore previsto in Progetto, sarà costituito da resine acriliche, additivo autolavante, inerti di quarzo sferoidale nelle varie granulometrie, pigmenti a base di biossido di titanio ed ossidi di ferro ad alta resistenza, da sostanze battericide, batteriostatiche, fungicide e da agenti siliconici idrorepellenti.
Sarà applicato su superfici interne e/o esterne, su intonaci bene stagionati, previa apposizione d'appretto sigillante e cementante colorato; potrà essere prevista l'eventuale formazione di pannellature mediante esecuzione di fughe.
Sulle superfici esterne è prevista l'applicazione di protettivo ai siliconi dato in copertura.
Particolare cura dovrà essere posta nella preparazione delle superfici da rivestire che dovranno essere ripulite da polvere od altri materiali inquinanti per assicurare una buona aderenza del rivestimento sul sottostante intonaco.
L'applicazione del rivestimento plastico dovrà essere preceduta dalla protezione delle parti contigue da non rivestire, con carta adesiva, che dovrà essere asportata prima dell'indurimento del materiale.

50.2 Piastrelle smaltate

Le piastrelle smaltate (monocottura o maiolica) per rivestimenti interni dovranno corrispondere, per quanto riguarda dimensioni e caratteristiche alle norme in vigore.
Dovranno essere di prima scelta, avere lo spessore indicato come normale dalle normative ed essere di superficie lisce e di colore uniforme.
Dovranno essere fornite nella forma, colore e dimensione indicate negli elaborati di Progetto; non sono ammesse variazioni nelle dimensioni e nel colore delle piastrelle nell'ambito di ciascun locale.
L'Appaltatore dovrà sostituire, a sua cura e spese, i materiali comunque non corrispondenti alle norme di cui sopra restando a suo carico i necessari ripristini.
Le piastrelle saranno poste in opera, su superfici verticali intonacate, con idoneo adesivo a base di cemento, sabbia, resine sintetiche ed additivi speciali.
I giunti dovranno essere perfettamente allineati ed inoltre saranno sigillati con speciali stucchi colorati.
Ove necessario saranno messi in opera: becchi di civetta, elementi di spigolo, ecc..

50.3 Mattoncini in litoceramica (clinker)

Rivestimento esterno in elementi di litoceramica (clinker) trafilati ad alto punto di cottura comprendenti listelli normali da 26x6 cm o 23x4,5 cm e pezzi speciali quali angolari, teste lisce, architravi ecc., in colore come da indicazioni progettuali.
Applicati con malta di cemento additivata su superfici intonacate cementizie idrorepellenti verticali e/o orizzontali.
I giunti dovranno essere perfettamente allineati ed inoltre saranno sigillati con speciali riempitivi cementizi colorati.

50.4 Zoccolino battiscopa

Lo zoccolino battiscopa e i relativi pezzi speciali saranno messi in opera con idonei collanti o accessori di fissaggio su intonaci bene stagionati.
Materiali (lastre di marmo, elementi di grès rosso liscio, grès ceramico, grès fine porcellanato, alluminio anodizzato, gomma, PVC, lastre di agglomerato in scapoli di marmo o in granuli di marmo, legno) e dimensioni sono quelli indicati in Progetto.

50.5 Lastre in pietra naturale

Dovranno corrispondere alla natura, alle forme e dimensioni previste in Progetto.
I materiali dovranno avere le caratteristiche proprie della specie prescelta (marmo bianco di Carrara, Botticino classico, travertino, serizzo, ecc.) per quanto attiene a grana, colore e venatura.
Nell'accostamento delle lastre dovranno essere evitati contrasti di colore o di venatura.
Rispetto agli spessori teorici: 2 cm per rivestimenti, alzate di gradini, zoccoletti, soglie di porte, controsoglie di finestre, 3 cm per pedate di gradini, è ammessa una tolleranza di ±1,5 mm.
Durante le operazioni di scarico, movimentazione nell'ambito del cantiere, magazzinaggio e posa in opera, l'Appaltatore dovrà provvedere, a sua cura e spese, alla conservazione dei materiali proteggendoli da rotture, scheggiature, graffi ecc., avendo cura particolare per spigoli e cornici.
Le lastre dovranno presentare le facce e le coste in vista ben levigate; dove previsto in Progetto devono essere lucidate a piombo.
Le lastre saranno poste in opera in posizione verticale e/o orizzontale con malta cementizia, eventualmente addolcita con calce idraulica colata tra le lastre e le strutture retrostanti.
Ogni lastra dovrà inoltre essere ancorata alla struttura portante mediante quattro o più zanche in acciaio inossidabile aventi una estremità alloggiata in fori ciechi predisposti sul bordo delle lastre stesse.
Particolare cura dovrà essere posta nella lavorazione e nella posa in opera delle lastre di rivestimento dei gradini, delle soglie per porte e finestre, degli zoccolini, nonché dei battenti e gocciolatoi ricavati con listelli della stessa pietra di sezione 2x3 cm, incassati sulla soglia per 1 cm e sigillati con collanti a base di resine.
I giunti tra le lastre dovranno essere sigillati con prodotti idonei.

50.6 Cordonate in pietra

Dovranno avere la sezione prevista in Progetto e saranno posti in opera su getto in conglomerato cementizio di tipo III con Rck > 20 MPa, dello spessore di 10 cm allettati con malta di cemento; i giunti saranno stuccati con malta di cemento.
Gli elementi in pietra naturale, (granito, travertino, Trani), retti o curvi, anche di speciale sagomatura, di sezione 300÷400 cm² o 700÷800 cm², di lunghezza non inferiore a 1,25 m se rettilinei ed a 0,75 m se curvilinei, dovranno essere lavorati nelle facce in vista a punta media, con spigolo esterno arrotondato, raffilati nelle teste a perfetta squadra per l'intera altezza e nel bordo interno a filo usuale e, ove previsto, dotati di vani a «bocca di lupo».

50.7 Gradini prefabbricati

Il gradino prefabbricato, realizzato in conglomerato cementizio avente Rck > 30 MPa e armato con acciaio B450C o B450A, sagomato secondo disegno esecutivo e formante pedata e alzata, sarà allettato con malta di cemento o incastrato agli estremi nella struttura portante; le superfici in vista saranno o perfettamente piane e lisce atte ad essere rivestite, o con pedata ed alzata finite con ghiaietto di fiume lavato, della granulometria indicata, incorporato nel getto secondo le indicazioni progettuali.

50.8 Gradini rivestiti con profilati di gomma

I rivestimenti di gradini con profilato di gomma, dello spessore di 4 mm, saranno composti da un unico pezzo comprendente alzata, parabordo e pedata, con superficie in vista a rilievo e rovescio, idonea per l'applicazione sul supporto preventivamente preparato della gomma con speciali adesivi a base poliuretanica a due componenti.

50.9 Soglie e davanzali in c.a.

La lastra prefabbricata per soglie e davanzali sarà realizzata in conglomerato cementizio avente Rck > 35 MPa, armata con ferro tondo.
Avrà lo strato superficiale in graniglia o scaglie di marmo e cemento bianco o colorato, di spessore non inferiore a 5 mm e con spigoli profilati; le superfici in vista saranno rifinite mediante lisciatura o martellinatura.
La posa in opera delle soglie e davanzali sarà effettuata con allettamento di malta di cemento.
La sagomatura e le dimensioni saranno conformi a quanto riportato negli elaborati di Progetto.

50.10 Rivestimento con pannelli di acciaio porcellanato

Il rivestimento modulare per pareti esterne sarà realizzato con pannelli preformati in acciaio porcellanato, fissato ad una struttura in profilati di acciaio zincato rullato a freddo.
La struttura portante sarà ancorata alle murature con tasselli ad espansione, con disposizione dei montanti e dei traversi atti a creare la modularità richiesta dal Progetto; il fissaggio dei pannelli alla struttura avverrà mediante mollette di appensione di acciaio inox tipo 302, collegate agli stessi con rivetti, anche questi in acciaio inox.
I pannelli di tamponamento, in acciaio speciale decarburato, delle dimensioni e colori previsti in Progetto, bordati e risbordati mediante pressopiega sui quattro lati, saranno porcellanati con smalti acidoresistenti di classe "A", in conformità alle norme UNI EN ISO 28722 e P.E.I. S100/65.
La smaltatura dovrà avvenire su entrambe le facce del supporto metallico, previo decapaggio, applicando uno strato vetroso di fondo, con deposito di "ground" di almeno 200 µm, cotto in forno alla temperatura di almeno 820 °C.
Successivamente dovrà essere applicato, sul lato in vista, un secondo strato vetroso che ne determini il colore e la lucentezza, inalterabili nel tempo, con un deposito di almeno 120 µm.
I pannelli dovranno essere muniti di controbilanciatura interna, eseguita con lastre di anidride sinterizzata dello spessore di 10 mm; sul risbordo dei pannelli, nel punto di sovrapposizione degli stessi, dovrà essere applicata una guarnizione continua autoadesiva in Dutral.
Particolare cura dovrà essere posta nella formazione di pannelli d'angolo; i coprifili perimetrali e lo zoccolino al piede dovranno essere in alluminio preverniciato, di adeguata sezione.
La casa produttrice dovrà garantire la inalterabilità del rivestimento, per un periodo di almeno dieci anni e lo stesso dovrà possedere i seguenti requisiti: processo di porcellanatura in conformità alla norma vigenti; resistenza all'urto; resistenza agli acidi; resistenza allo shock termico; durezza della superficie e resistenza alle abrasioni; resistenza ai raggi U.V.A., al fuoco ed alle escursioni termiche; di facile pulizia delle superfici ed antibatterico.
La Direzione Lavori farà sottoporre campioni del rivestimento a prove presso un Laboratorio Ufficiale che certifichi la corrispondenza del prodotto, alle caratteristiche richieste.

50.11 Rivestimento in blocchi prefabbricati

Il rivestimento di strutture metalliche e/o murarie a faccia vista sarà realizzato con blocchi prefabbricati di cemento impermeabilizzati, dello spessore di 68 cm a superficie splittata normale o scanalata, legati con malta bastarda additivata con idrorepellente, compresa la stuccatura e stilatura dei giunti.
Può essere prevista in Progetto la colorazione dei blocchetti, nel colore indicato, con pigmenti inorganici addizionati nell'impasto.

Art. 51 Vespai

Dopo aver regolarizzato il terreno, per evitare umidità e infiltrazioni di acqua attraverso le pavimentazioni dei fabbricati, sarà realizzato un vespaio composto da:

- ghiaia mista o detriti di cava posti in opera a mano;
- scheggioni di pietrame o ciottoli di fiume intasati con ghiaia o minuto di cava di pezzatura assortita.

Il materiale dovrà essere assestato con idonei mezzi vibranti.

Il vespaio del tipo a camera d'aria è formato da muricci di mattoni pieni ad una testa dell'altezza minima di 15 cm ad interasse di 80 cm con sovrastante tavellonato da 6 cm e massetto dello spessore di 5 cm in conglomerato cementizio avente Rck > 25 MPa. La circolazione dell'aria necessaria per tenere asciutto l'ambiente sarà assicurata da canali di aerazione e bocche di sfogo realizzate nelle murature perimetrali.

Art. 52 Pavimenti

52.1 Norme generali

L'Appaltatore dovrà sottoporre alla Direzione Lavori una campionatura dei materiali da pavimento perché la stessa possa valutarne la conformità e la qualità.
La posa in opera dei pavimenti dovrà essere curata in modo che nessun elemento sporga rispetto ad altri e tutti risultino tra loro ben serrati; le commessure dovranno essere invisibili e ben allineate; elementi anche minimamente imperfetti dovranno essere scartati.
Le superfici dovranno risultare perfettamente in piano salvo nei casi in cui il Progetto le preveda in pendenza, nel qual caso dovrà essere comunque assicurata la perfetta planarità delle falde.
I pavimenti dovranno addentrarsi per almeno 15 mm entro l'intonaco fino al rustico delle murature.
Su pavimenti molto estesi dovranno essere previsti giunti di dilatazione, sia longitudinali sia trasversali, da riempire con idonei materiali secondo le indicazioni di Progetto.
A pavimentazione ultimata, l'Appaltatore dovrà pulire accuratamente la superficie perché non vi restino tracce di malta e curare la protezione e la conservazione dei pavimenti fino alla consegna, restando inteso che sarà addebitato ogni onere occorrente alla demolizione, al ripristino e, se necessario, anche al totale rifacimento di quei pavimenti o di quelle parti di essi, che, ad insindacabile giudizio della Direzione Lavori, risultassero per qualità di materiale, per cattiva esecuzione o per mancata conservazione, non idonei.
I pavimenti saranno posati su un massetto di sottofondo formato da:

- conglomerato cementizio avente Rck > 20 MPa, dello spessore finito di 10 cm;

oppure:

- in malta dosata con 400 kg di cemento normale per metro cubo di sabbia, armato con rete elettrosaldata in fili di acciaio zincato del peso di 2 kg/m², spessore non inferiore a 3 cm.

Tipologia e spessori secondo quanto previsto dagli elaborati di Progetto.
Il massetto dovrà essere configurato e regolarizzato in superficie, pronto per la posa della prevista pavimentazione.
Se previsto in Progetto, sotto il massetto, sarà realizzato l'isolamento termico mediante posa di pannelli in polistirene espanso, della densità non inferiore a 30 kg/m², spessore non inferiore a 2 cm.

52.2 In cubetti di porfido

Saranno eseguiti con cubetti di porfido del tipo delle cave Alto Adige e saranno posti in opera con disegno ad archi contrastanti, su letto dello spessore di 10 cm, di sabbia scevra da materie eterogenee e dovranno risultare a contatto prima di qualsiasi battitura.
I cubetti non dovranno presentare piani secondari di sfaldamento e avranno il lato, come da prescrizioni progettuali.
La battitura sarà eseguita con abbondante spargimento di acqua in modo da facilitare l'assestamento definitivo della pavimentazione.
I giunti non dovranno superare la dimensione di 10 mm e la loro sigillatura sarà eseguita con emulsione bituminosa al titolo minimo 50% previa scarnitura degli stessi con acqua a pressione e successivo spandimento di materiale siliceo per saturazione.
Nell'esecuzione delle fasce costituite da due file di binderi di 10x20 cm posti di testa, il sottofondo sarà in calcestruzzo di tipo III con Rck > 25 MPa, di spessore 15 cm, e la sigillatura dei giunti sarà eseguita con malta di cemento.

52.3 In lastre di marmo

Saranno poste in opera su letto di malta dosata a 600 kg di cemento tipo 32,5 per metro cubo di sabbia distesa sopra il massetto di fondazione.

Le lastre consisteranno in elementi di tipo e forma previste in Progetto e di spessore non inferiore a 2 cm; saranno premute finché la malta rifluisca dalle commessure e stuccate con cemento naturale o colorato; la loro larghezza non dovrà superare 1 mm. A posa ultimata, sarà eseguita la levigatura e la lucidatura a piombo.

52.4 In piastrelle di grès

Le piastrelle di grès di prima scelta, saranno poste in opera, previa bagnatura del piano di posa, su uno strato di malta cementizia dello spessore non inferiore a 2 cm, ben battuto e costipato, con sovrastante spolvero di cemento di circa 3 mm.
Le piastrelle saranno disposte secondo il disegno previsto, avendo cura di adattarle e contrapporle per compensare le differenze di calibro e di squadro, scartando quelle comunque difettose.
Gli interstizi tra le piastrelle non dovranno risultare maggiori di 1 mm.
Successivamente la superficie sarà cosparsa di acqua e si procederà alla battitura delle piastrelle per farle aderire perfettamente al letto di posa.
In alternativa le piastrelle potranno essere poste in opera con idonei adesivi in pasta (a base di leganti idraulici, resine sintetiche e additivi speciali), previa lisciatura del piano di posa con idonei prodotti autolivellanti ad indurimento rapido (a base di cementi speciali, sabbia silicea, resine ed additivi).
Si procederà quindi alla sigillatura degli interstizi mediante colaggio di boiacca di cemento (normale, bianco o colorato a secondo del colore delle piastrelle), al lavaggio ed alla pulizia finale con spugne.

52.5 In gomma e vinilico

Gli elementi saranno applicati su massetto di calcestruzzo di tipo III Rck > 30 MPa, di spessore 4 cm, con speciale adesivo che sarà steso uniformemente e in quantità strettamente necessaria impiegando apposite spatole dentellate.
Il collocamento degli elementi avrà inizio solo quando l'adesivo sarà asciutto e facendo attenzione che non fuoriesca dai giunti.
Particolare cura dovrà aversi nella posa di elementi che presentano disegni o marmorizzazioni e in corrispondenza di sporgenze, o rientranze, o di forme comunque irregolari, dove gli elementi stessi dovranno essere perfettamente adattati mediante tagli, avendo cura di non incidere il sottofondo.
Per i pavimenti in gomma è previsto in più l'onere della fornitura e posa in opera di un coprifilo perimetrale in anticorodal.
Si procederà alla pulizia del pavimento finito con panno asciutto o leggermente umido solo dopo che l'adesivo sarà completamente essiccato.

52.6 In lastre di calcestruzzo

Sarà eseguita con lastre prefabbricate in calcestruzzo di tipo II con Rck > 30 MPa di dimensioni da 40x40 cm o 50x50 cm e spessore di almeno 5 cm del tipo:

- con ghiaietto lavato - Le lastre avranno la superficie in vista rivestita con ghiaietto lavato ed incorporato nel getto; saranno poste in opera: con malta di cemento ed i giunti saranno stilati e sigillati a cemento, oppure potranno essere utilizzate, poste a secco su piedini in PVC, a protezione di manti di copertura in alternativa a pavimentazioni tradizionali;
- a scanalature oblique - Le lastre avranno la superficie in vista finita a rilievo con scanalature oblique; saranno poste in opera con malta di cemento ed i giunti saranno stilati e sigillati a cemento.

Tipologia e dimensioni delle lastre secondo le indicazioni di Progetto.

52.7 In elementi modulari autobloccanti in cls vibrato

Sarà eseguita con elementi modulari autobloccanti in calcestruzzo vibrato avente Rck > 30 MPa di spessore 6 cm, posti in opera su letto di sabbia vagliata ed assestata mediante vibrazione dello spessore finito di 5 cm.
Particolare cura dovrà usarsi per ottenere la superficie della pavimentazione perfettamente piana ed i giunti dovranno essere intasati con sabbia.
Le lastre saranno del colore indicato negli elaborati progettuali, ottenute addizionando all'impasto pigmenti inorganici.

52.8 In mattonelle

Saranno delle dimensioni previste in Progetto, ricavate dal taglio di blocchi di agglomerati vibrocompressi confezionati con scapoli di marmo naturale pregiato e speciali resine sintetiche.
Le mattonelle saranno fornite grezze, poste in opera su letto di malta cementizia additivata da collante a base di lattice di gomma e stuccate con materiali idonei.
Saranno finite in opera mediante levigatura e lucidatura.

52.9 In lastre di agglomerato vibrocompresso

Saranno ricavate dal taglio di blocchi di agglomerato vibrocompresso confezionato con granuli di marmi naturali selezionati e speciali resine sintetiche aventi l'aspetto di granito con durezza grado 3÷4 Scala Mohs.
Saranno di dimensioni secondo le prescrizioni di Progetto e di spessore 1,5 cm.
Dovranno avere superficie lucida ed essere calibrate e bisellate sugli spigoli.
Saranno poste in opera incollate con adesivo, a base di lattice di gomma sintetica, cemento e sabbia silicea, su massetto di sottofondo in conglomerato cementizio di tipo II con Rck > 30 MPa, dello spessore 4 cm; ad avvenuta stagionatura il massetto dovrà essere rifinito con idonei prodotti autolivellanti a presa rapida costituiti da resina, sabbia e cemento.
Si procederà quindi alla sigillatura delle fughe con boiacca di cemento (normale, bianco o colorato a secondo del colore delle lastre), al lavaggio ed alla pulizia finale a posa ultimata.

52.10 In moquette

Sul massetto in conglomerato cementizio si creerà un sottofondo di spessore 4 cm costituito da calcestruzzo di tipo II con Rck > 30 MPa che sarà convenientemente battuto e fratazzato stretto, fino a perfetto livellamento e rasato sino ad ottenere una superficie perfettamente regolare, priva di asperità, ondulazioni, fori o bolle che pregiudicherebbero il lavoro.
La moquette, del colore previsto, sarà in tessuto bouclé moulinè di fibra poliammidica, con sottofondo sintetico in doppio strato, di cui quello inferiore in poliestere a stabilità dimensionale.
Dovrà avere caratteristiche di antistaticità permanente, essere antisporco e avere reazione al fuoco di classe 1.
Lo spessore complessivo sarà di 7 mm, di cui 4 mm di felpa, ed il peso dovrà risultare di 1,9÷2,0 kg/m².
Nella eventualità che si dovesse procedere alla esecuzione di giunti fra i teli, questi dovranno essere cuciti tra di loro in modo tale che i giunti stessi dovranno risultare perfettamente invisibili.
In corrispondenza di vani di porte la moquette terminerà sotto la soglia che sarà realizzata con profilati speciali di ottone fissati con viti di ottone.

52.11 In modulare sopraelevato

Sono costituiti da:

- pannelli amovibili ed ininfiammabili aventi dimensioni non inferiori a 60x60 cm, ricoperti con rivestimento antistatico in plastica laminata del colore previsto, completi di guarnizione perimetrali a tenuta ermetica e, per ogni locale, di una ventosa per la rimozione dei pannelli, provvista di valvola di sfiato.
- pannelli modulari ininfiammabili aventi dimensioni non inferiori a 60x60 cm, in legno duro di densità non inferiore a 730 kg/m³ rivestiti con laminato plastico antistatico, ricoperti in superficie con mattonelle di grès porcellanato monostrato delle dimensioni 30x30 cm, incollate con speciale adesivo neoprenico, del colore e disegno come da Progetto.
- pannelli grigliati pressofusi in acciaio zincato a caldo di adeguato spessore, compreso i collegamenti equipotenziali.

Posti in opera su intelaiatura continua reticolare realizzata in tubi di acciaio cadmiato di adeguata sezione, appoggiata, in corrispondenza di ciascun nodo, su supporti costituiti da colonnine metalliche ad altezza regolabile da un minimo di 10 cm ad un massimo di 50 cm.

Il pavimento dovrà essere strutturato in modo tale da sopportare in qualsiasi punto un carico massimo concentrato di 500 kg, un carico massimo ripartito di 1.700 kg/m² ed un carico su ogni supporto di 2.000 kg. È prevista inoltre la fornitura in opera di uno zoccoletto perimetrale in gomma dell'altezza di 8 cm.

Art. 53 Canali di gronda, pluviali, scossaline, ecc.

53.1 Norme generali

La sezione, lo sviluppo e la sagoma dei canali di gronda, nonché il numero, la posizione e la sezione dei pluviali, delle scossaline e delle converse, le modalità di fissaggio, saranno quelle definite nel Progetto relativo a ciascun fabbricato.
Le sezioni dei pluviali, sono previste in rapporto ai dati pluviometrici e secondo prescrizioni regolamentari particolari.
La pendenza dei canali di gronda verso gli scarichi non dovrà, di norma, risultare minore dello 0,5%.
Saranno a totale carico dell'Appaltatore le riparazioni per qualsiasi perdita ed ogni altro difetto che si manifestasse, dalla consegna fino a collaudo eseguito, compreso ogni onere di ripristino.

53.2 Bocchettoni

I bocchettoni, in materiale plastico (PVC, Neoprene) o in tubi di piombo finiti con verniciatura isolante o spalmatura di catrame, saranno posti in opera sulle coperture piane per raccogliere e convogliare le acque piovane nei tubi pluviali; saranno provvisti di griglia al fine di trattenere materiali che possano ostruire i pluviali; saranno incassati e sigillati all'estradosso del solaio di copertura.

53.3 Canali di Gronda, Foderature, Converse, Scossaline

Possono essere nelle seguenti tipologie:

- in lamiera di ferro nero, dello spessore come da Progetto, finiti con verniciatura a due mani, ciclo "E", previa sabbiatura di grado SA 2½;
- in lamiera di ferro zincato, dello spessore come da Progetto, finiti con una mano di primer epossidico antiruggine ad alto spessore, ciclo "C";
- in lamiera di rame crudo dello spessore come da Progetto.

Le sovrapposizioni dovranno interessare la lamiera per almeno 8 cm e saranno rivolte verso lo scarico.
Dovranno inoltre essere predisposti opportuni giunti di dilatazione con interasse mediamente di circa 15 m.
Lo sviluppo delle converse sotto il manto di copertura dovrà essere sufficiente a contenere l'acqua di stravento.
Le lamiere saranno fissate al supporto, previa impermeabilizzazione di quest'ultimo con prodotti bituminosi, mediante staffe, accessori di fissaggi, con chiodi sparati ricoperti da saldatura.
I punti di fissaggio dovranno essere in numero sufficiente e posizione opportuna, tenendo conto soprattutto dell'azione del vento.

53.4 Pluviali

I tubi di discesa delle acque meteoriche, pluviali, sono in lamiera di ferro zincato o in tubi elettrosaldati di acciaio dolce di tipo commerciale, come da scelta progettuale; posti in opera in vista o incassati nelle murature e raccordati mediante bocchettoni ai canali di gronda.
I pluviali scatolati saranno piegati a freddo e saldati elettricamente in pezzi della lunghezza di almeno 2 m. Le giunzioni a libera dilatazione tra i vari pezzi dovranno avere sovrapposizione non inferiore a 5 cm.
I pluviali dovranno essere ancorati alle strutture portanti mediante grappe di sezione adeguata in ragione di una grappa ogni 2 m di tubo, comprese le necessarie opere murarie, e dovranno essere raccordati al piede ai pozzetti di raccolta; particolare cura dovrà essere posta nella posa in opera dei pluviali incassati nelle murature allo scopo di evitare infiltrazioni di acqua.

Internamente saranno catramati ed esternamente finiti con verniciatura a due mani con ciclo "E" nei colori previsti, previa sabbiatura di grado SA 2½.

53.5 Strutture e lattonerie in acciaio inox

Si richiama l'articolo relativo all'acciaio per carpenteria per l'osservanza di Leggi e Regolamenti in ordine agli adempimenti connessi con la esecuzione dei lavori, al collaudo tecnologico dei materiali, al controllo in corso di lavorazione ed al montaggio.
Per strutture portanti costituite da pilastri, travi, cerniere e carpenterie in genere di qualsiasi spessore, forma e dimensione, anche scatolare, è previsto l'impiego di lamiere laminate a caldo in acciaio inox x6 Cr/Ni Ti 18/11.
Nelle lattonerie per foderature, carenature, scossaline, tubazioni, ecc. di qualsiasi forma e dimensione, anche scatolare, di spessore fino a 3 mm, è previsto l'impiego di lamiera laminata a freddo in acciaio inox x5 Cr/Ni 18/10.
Gli acciai inox dovranno presentare il grado di finitura previsto in Progetto, di norma satinatura ottenuta mediante smerigliatura e preceduta da decapaggio con soluzione acida.
In corrispondenza di cordoni di saldatura o in altri punti particolari, la smerigliatura dovrà essere preceduta da rimozione dei residui del fondente e da sabbiatura.
Particolare cura dovrà essere posta nell'imballaggio delle lamiere e nella protezione superficiale mediante carta o plastica adesiva.

Art. 54 Rivestimenti in alluminio e leghe leggere di alluminio

Per foderature e manufatti anche scatolati in lamiera di alluminio puro (titolo 99,5%) dello spessore indicato in Progetto, dovrà essere impiegato alluminio primario PALP 99,5. Per i rivestimenti in profilati estrusi di alluminio anodizzato bianco satinato dovranno essere impiegate leghe leggere da lavorazione plastica resistente alla corrosione secondo le norme in vigore.
Le finiture potranno essere realizzate anche mediante:

- anodizzazione in alluminio puro, a colore naturale o per elettrocolorazione (di norma bruno, bronzo, nero);
- preverniciatura a forno con polveri poliestere, nei colori previsti;

secondo quanto indicato negli elaborati di Progetto.
Nell'intradosso di pensiline, il rivestimento sarà eseguito con profilati cannettati estrusi di alluminio anodizzato bianco satinato, fissati alle strutture portanti mediante bulloneria.
I profilati dovranno avere lo spessore di 1,5 mm; la cannettatura avrà passo come da Progetto e profondità di almeno 3,5 mm e contenere particolari sagomature in corrispondenza dei vani per le plafoniere od altri accessori.

Art. 55 Infissi

55.1 Norme generali

L'Appaltatore prima di dare corso alla esecuzione delle singole opere dovrà sottoporre alla preventiva approvazione della Direzione Lavori campioni dei materiali, disegni di dettaglio e particolari eseguiti al vero; quando esplicitamente richiesto dalla Direzione Lavori dovrà produrre anche prototipi.
Quanto sopra per far verificare dalla Direzione Lavori, anche nei particolari, le caratteristiche di struttura e di funzionamento delle singole tipologie di infissi.
L'Appaltatore è responsabile della verifica del fabbisogno degli infissi nelle varie tipologie e dimensioni per cui deve intendersi a suo carico qualsiasi discordanza che dovesse riscontrarsi in sede esecutiva.
Gli infissi sia in legno sia in metallo, dovranno sempre intendersi completi, adeguatamente a ciascun tipo, di tutti gli accessori di sostegno, movimento, chiusura e trattenuta nonché, come previsto nei disegni esecutivi, di vetri o di cristalli.
L'Appaltatore ha l'obbligo di sottoporre all'esame della Direzione Lavori, prima della posa in opera, tutti gli infissi; a questo fine farà conoscere i tempi e i luoghi delle varie lavorazioni eseguite in stabilimento ancorché lo stabilimento non sia di proprietà dell'Appaltatore.
In particolare per gli infissi che dovranno essere finiti con vernice opaca, il controllo della Direzione Lavori dovrà esplicarsi prima della verniciatura.
L'accettazione delle forniture da parte della Direzione Lavori non avrà comunque carattere definitivo, riservandosi il giudizio finale agli atti di collaudo.
Resta pertanto inteso che l'Appaltatore dovrà provvedere a sua cura e spese alla sostituzione, rettifica e ripristino di tutte quelle opere o parti di esse che presentassero difetti di qualsiasi natura o genere.
I vetri dovranno essere della qualità e delle dimensioni richieste, di un sol pezzo per ogni specchiatura ed essere conformi alle Norme di unificazione propria per ogni tipo (Norme UNI: EN 5721÷7,EN 121501, 105931÷4, EN ISO 125431÷6). Dovranno avere trasparenza limpida ed essere perfettamente lisci, privi di bolle, ondulazioni e macchie, di spessore uniforme con facce piane parallele.
L'Appaltatore procederà alla fornitura e posa in opera dei vetri secondo le previsioni di Progetto e nel rispetto della Norma UNI EN 12488 "Vetrazioni in opere edilizie".
I vetri camera dovranno essere uniti al perimetro con apposito profilato e distanziatore saldato con siliconi o polisolfuri o butile; lo spessore delle lastre e della camera sono quelli indicati negli elaborati di Progetto.
I cristalli di sicurezza stratificati sono costituiti dalla unione di più lastre di cristallo con interposti fogli di polivinilbutirrale di spessore 0,38 mm, secondo le indicazioni progettuali.
Gli accessori di sostegno, movimento, chiusura e trattenuta saranno del tipo indicato nei disegni di dettaglio.
L'Appaltatore dovrà effettuare la posa in opera a regola d'arte avendo cura, tra l'altro, di proteggere convenientemente i manufatti da urti, polveri, calci e/o cemento, mediante adeguati rivestimenti provvisionali.
Quando previsto negli elaborati progettuali, gli infissi saranno dotati di:

- maniglione antipanico a barra tubolare orizzontale oscillante a mezzo di leve incernierate alle scatole laterali, fissato su una anta di porta metallica in luogo della maniglia prevista, del tipo a semplice o triplice espansione;

serratura elettrica del tipo da infilare, con scrocco e catenaccio a due mandate in luogo della serratura prevista, per apertura a distanza compreso il collegamento elettrico ed il relativo comando;

- chiudiporta a pompa:

  - del tipo a pavimento dato in opera previa formazione di incavo e di piastra di copertura in acciaio inox;
  - del tipo aereo a compasso con finitura superficiale dello stesso colore della porta alla quale va imposto;
- griglie di aerazione in profilati estrusi in lega leggera di alluminio anodizzato nei colori argento o bronzo, costituita da lamelle di speciale sagomatura, telaio portante e cornici coprifili sui due lati, in Progetto può essere previsto che (alcune), sui lati interni, siano munite di elementi filtranti.
-

55.2 Infissi in legno

Il tipo di legname da impiegare per i singoli lavori è quello specificato nel Progetto.
I legnami saranno, esclusivamente di prima scelta, stagionati per almeno due anni dal taglio o perfettamente essiccati artificialmente; la percentuale di umidità massima ammessa sarà del 15%.
Dovranno essere ricavati da tavolami diritti, a fibra compatta e resistente, con venatura e colore uniformi, privi di spaccature e fenditure sia radiali sia circolari, sani ed esenti da nodi, cipollature, tarli ed ogni altro difetto.
Ogni singolo elemento degli infissi dovrà essere finito con carta vetrata e pomice onde eliminare qualsiasi sbavatura; tutti gli spigoli dovranno essere leggermente arrotondati. È assolutamente vietato l'uso di qualsiasi mastice per coprire difetti naturali o di lavorazione.
Ogni particolare dovrà risultare conforme ai disegni di Progetto.
Le quote riportate sui disegni particolari e di dettaglio debbono intendersi come riferite ad elementi finiti: saranno, in via eccezionale, ammesse tolleranze di ± 0,5 mm sullo spessore e di ± 2 mm su larghezza e lunghezza.
I montanti e i traversi dovranno essere ciascuno in un solo pezzo, collegati a tenone e mortasa con caviglie in legno duro.
Gli infissi da finire con vernici trasparenti avranno le connessioni a ingletto od ugnatura, cioè a 45° tra montante e traverso.
Gli incastri a maschio e femmina dovranno attraversare i pezzi a cui saranno calettati con un gioco tra tenone e mortasa non superiore a 0,1÷0,2 mm per una perfetta aderenza con la colla.
La tolleranza di testa per incastri in legni massicci lavorati a pannelli, perline o doghette dovrà risultare non inferiore ai 2 mm ed in ogni caso sufficiente a permettere la naturale dilatazione tra i singoli elementi.
Per la lavorazione di elementi tamburati è prescritto l'uso di fogli compensati e paniforti, confezionati con legnami di prima categoria selezionati, sani, incollati a freddo e con strati a spessore costante.
Gli strati interni dovranno essere disposti a fibra incrociata; i fogli esterni, continui, uniformi, esenti da fenditure, buchi e tarli, con un massimo per ogni metro quadrato di 5 nodi sani, aderenti e di diametro inferiore a 15 mm.
Strutture tamburate, comunque eseguite, saranno finite sul perimetro con massello in legno duro.
Per l'unione delle varie parti e per il fissaggio degli accessori e degli apparecchi di manovra, posti a perfetto incasso, dovranno adottarsi viti inossidabili; è vietato l'uso di chiodi. Dette viti, dopo il loro approfondimento di 1÷2 mm nello spessore del legno, dovranno essere opportunamente stuccate.
Il fissaggio al muro dei controtelai avverrà per mezzo di codette o di fascette in ferro con estremità a zanca, protette da vernice antiruggine.
Gli infissi dovranno essere finiti con cicli di verniciatura, come indicato nel presente Capitolato Speciale.

55.2.1 Porte in legno

Le tipologie delle porte sono le seguenti:

- Porta interna tamburata ad una o più ante in legno di abete di prima scelta, cieche o munite di specchiature con vetro float di spessore 6 mm, costituita da:
  - telaio portante di spessore non inferiore a 35 mm e larghezza pari a quella del controtelaio;
  - cornici coprifilo di abete;
  - ante mobili dello spessore minimo di 40 mm composte da intelaiatura perimetrale di sezione 50x40 mm e struttura interna in cellulare a nido d'ape rivestita con pannelli in compensato di pioppo da 5 mm.

  La porta sarà corredata da: tre cerniere per ogni anta, maniglie in ottone cromato di tipo pesante, serratura tipo Patent. L'infisso sarà finito con verniciatura a tre mani con ciclo "A" (ciclo opaco).
- Porta interna tamburata ad una o più ante in legno pregiato (rovere, noce, mogano, ecc.) di prima scelta, cieche o munite di specchiature con vetro float di spessore 6 mm, costituita da:
  - telaio portante di spessore non inferiore a 35 mm e larghezza pari a quella del controtelaio;
  - cornici coprifilo in legno pregiato;
  - ante mobili dello spessore minimo di 43 mm composte da intelaiatura in massello di legno di sezione 50x40 mm, struttura interna in cellulare a nido d'ape;
  - pannellatura di compensato impiallacciato in legno pregiato dello spessore di 5 mm o con pannellatura in sfibrato di legno extra duro dello spessore di 3,5 mm rivestita con laminato plastico di spessore 1,2 mm;
  - finitura perimetrale con cornice in massello di legno pregiato avente sezione ad U munita di battuta.

  La porta sarà corredata da: tre cerniere per ogni anta, maniglia in ottone cromato di tipo pesante, serratura tipo Patent. L'infisso sarà finito con una verniciatura a tre mani con ciclo "B" (ciclo trasparente).

  Sopraluce costituita da telaio portante avente le stesse caratteristiche di quello della porta; cornici coprifili; specchiatura con vetro float dello spessore di 6 mm o grigliata con stecche in profilati estrusi in lega leggera di alluminio anodizzato di particolare sagomatura; è prevista l'apertura a vasistas con i relativi organi di manovra e chiusura.
- Portoncino alla mercantile ad una o due ante costituito da: telaio portante di sezione 50x60 mm e cornici coprifilo in rovere o pitchpine; ante mobili con intelaiatura in regoli di abete di 1a scelta di spessore 30 mm; specchiatura esterna ed interna in doghe di rovere o di pitchpine dello spessore di 12 mm; gocciolatoio riportato ad incastro.

  Il portoncino sarà corredata da: tre cerniere per ogni anta; ferramenta e maniglie in ottone di tipo pesante; serratura tipo Yale.

  L'infisso sarà finito con una verniciatura a tre mani con ciclo "B" (ciclo trasparente).

  Sopraluce costituita da: telaio portante avente le stesse caratteristiche di quello della porta; cornici coprifili; specchiatura con vetrocamera dello spessore complessivo di 24 mm di cui: lastra esterna in vetro antisfondamento stratificato dello spessore di 8÷9 mm, camera di 9 mm, lastra interna in vetro float dello spessore di 6 mm; apertura a vasistas e relativi organi di manovra e chiusura.

  Dimensioni e tipologie delle porte saranno conformi a quanto riportato negli elaborati di Progetto.

55.2.2 Finestre e Portefinestre

Le finestre e le portefinestre:

- in legno di abete verniciato a tre mani con ciclo "A" (ciclo opaco);
- in rovere o pitchpine verniciato a tre mani con ciclo "B" (ciclo trasparente);

avranno una o più ante anche con apertura a vasistas.

Saranno costituite da telaio portante di 55x75 mm, da ante mobili in regoli di 45x65 mm con traversa inferiore di 85 mm e con il gocciolatoio riportato ad incastro; rifinite con cornici coprigiunto; saranno

complete di: vetri tipo float da 6 mm; ferramenta in ottone cromato di tipo pesante; cremonese con asta incassata.
Dimensioni e tipologie delle finestre e portefinestre saranno conformi a quanto riportato negli elaborati di Progetto.

55.3 Infissi in ferro

I profilati da impiegare dovranno essere del tipo speciale ferrofinestra e dovranno avere sezione tale da garantire assoluta indeformabilità e perfetto funzionamento.
I profili dovranno essere ben definiti, a superficie liscia, spigoli netti, con spessore uniforme non inferiore ai 2 mm nelle membrature ed essere esenti da qualsiasi difetto superficiale e strutturale.
Le parti apribili dovranno essere munite di coprigiunti in modo che il buon funzionamento non sia compromesso dalla polvere o dagli agenti atmosferici.
La tenuta all'acqua ed all'aria dovrà essere garantita da battute multiple, sussidiate da guarnizioni elastiche, gocciolatoi esterni e raccoglicondensa.
Inoltre, quei tipi che in disegno saranno indicati a filo esterno del muro dovranno essere muniti di apposito coprigiunto da sovrapporre tra telaio ed intonaco. Tutte le giunzioni dovranno essere eseguite con saldatura elettrica di testa od a filo continuo.
In particolare le saldature dei giunti a 45° dovranno realizzare l'unione dell'intero perimetro delle superfici accoppiate ed evitare filtrazioni di acque nell'interno dei profilati.
Tutte le saldature dovranno essere accuratamente ripulite dalle scorie e molate.
Per l'applicazione dei vetri dovranno usarsi esclusivamente fermavetri in canalina ad U di lamiera zincata di dimensioni minime di 10x10x1 mm.
Le finestre e le portefinestre realizzate in profilati speciali di acciaio dovranno avere la ferramenta di sostegno e di manovra in ottone tipo pesante.
Tutti gli infissi in ferro dovranno essere protetti con cicli di verniciatura, come indicato nel presente Capitolato Speciale.
Gli infissi per le finestre e le portefinestre dovranno avere un peso medio, compreso il telaio fisso ed esclusi i vetri, di norma non inferiore a 23 kg/m².

55.3.1 Porte

La porta esterna, ad una o due ante, in acciaio zincato a caldo sarà costituita da:

- un telaio portante realizzato in profilati tubolari di adeguata sezione;
- ante mobili tamburate mediante una pannellatura in lamiera di acciaio zincato a caldo dello spessore di 1 mm, applicata sull'intelaiatura in profilati di acciaio e con interposto strato coibente realizzato con pannelli rigidi di poliuretano espanso della densità di 40 kg/m³;
- ante mobili grigliate con stecche in acciaio zincato a caldo dello spessore di 3 mm, munite sul lato interno di rete antinsetti, intelaiate in profilati tubolari dello spessore minimo di 50 mm munite di gocciolatoio. Sarà corredata da tre cerniere per ogni anta, da maniglie in ottone cromato, da serratura tipo Yale e finite con verniciatura a tre mani con ciclo "D" oppure preverniciate a polveri.

Sopraluce costituita da: telaio portante avente le stesse caratteristiche di quello delle porte; cornici coprifili; specchiatura con vetrocamera dello spessore complessivo di 24 mm, di cui: lastra esterna in vetro antisfondamento stratificato dello spessore di 8÷9 mm, camera di 9 mm, lastra interna in vetro float dello spessore di 6 mm oppure grigliata con stecche in acciaio zincato a caldo di spessore 3 mm. Saranno finite con lo stesso ciclo di verniciatura della porta e potranno essere complete di apertura a vasistas e dei relativi organi di manovra e di chiusura.
Dimensioni e tipologia delle porte saranno conformi a quanto riportato negli elaborati di Progetto.

55.3.2 Finestre e Portefinestre

Le finestre e le portefinestre saranno realizzate in acciaio verniciato a tre mani con ciclo "B"; saranno costituite da un telaio portante e una intelaiatura delle parti fisse in profilati speciali; da parti mobili apribili a ventola, bilico, a vasistas, in profilati a battentatura multipla muniti di guarnizioni elastiche; saranno completate con apparecchi per l'apertura contemporanea di bilici o vasistas da azionarsi mediante maniglie a frizione o ad asta e cariglione, cornici coprigiunti e vetri float dello spessore di 6 mm.

55.3.3 Porte blindate

Porta blindata ad un'anta costituita da: un controtelaio da premurare realizzato in lamiera di acciaio dello spessore di 4 mm munito di otto robuste zanche della lunghezza di almeno 25 cm; un telaio portante realizzato in lamiera di acciaio dello spessore di 4 mm che sarà fissato al controtelaio mediante perni in corrispondenza della battuta dell'anta; cornici coprifilo; anta mobile tamburata in acciaio composta da una lamiera esterna dello spessore di 4 mm; una intelaiatura perimetrale ed interna in profilati scatolati dello spessore di 4 mm; una lamiera interna dello spessore di 2 mm; coibentazione interna formata da pannelli rigidi di lana minerale; cerniere in acciaio con perno antifrizione munite di cuscinetti a sfere reggispinta; serratura di servizio con scrocco e maniglia; serratura di sicurezza a triplice espansione con sette catenacci di cui cinque orizzontali, uno superiore ed uno inferiore; quattro parastrappi fissi sul lato delle cerniere.
L'anta sarà finita con:

- verniciatura a tre mani con ciclo "D" o preverniciate a polveri, previa sabbiatura;
- rivestita sulle due facce con pannellatura costituita da sfibrato in legno di spessore 3 mm e soprastante laminato plastico dello spessore di 1,2 mm; le parti metalliche in vista rifinite come sopra.

Quando previsto in Progetto, l'anta dovrà avere una specchiatura della superficie di 6 dm² in vetro blindato a quattro strati dello spessore di 36÷38 mm.
Porta esterna blindata ad una o due ante, costituita da profilati in acciaio zincato a caldo dello spessore minimo di 4 mm, di adeguata sezione e con vetri stratificati a quattro strati di spessore 36÷38 mm.
Sarà completa di: telaio portante in profilati in acciaio zincato a caldo dello spessore minimo di 4 mm, ancorato solidamente alle strutture con robuste zanche; cerniere in acciaio con perno antifrizione munite di cuscinetti a sfera reggispinta; parastrappi applicati sul telaio dal lato delle cerniere; paletti di bloccaggio; serratura di servizio con scrocco e maniglia; serratura di sicurezza a triplice espansione con sette catenacci di cui cinque orizzontali, uno superiore ed uno inferiore; verniciatura a tre mani con ciclo "D"; guarnizioni di tenuta; coprifili.

55.3.4 Porte tagliafuoco

Porta tagliafuoco, ad uno o due battenti, avente resistenza al fuoco di classe "REI 120" atta a conservare sotto l'azione del fuoco, per 120 min, la resistenza meccanica, la tenuta a fiamme, a gas e a fumi e l'isolamento termico.
La porta sarà costituita da:

- telaio portante in profilati in acciaio a Z fissato alla muratura con zanche, munito di guarnizione perimetrale autoespandente, protetta da lamierino, per tenuta al fumo e resistente alle alte temperature;
- ante scatolate dello spessore minimo di 50 mm, in lamiera di acciaio dello spessore minimo di 1 mm, pressopiegata per formare ala di battuta sul telaio, irrigidite internamente sul perimetro con profilato saldato elettricamente, isolate nell'intercapedine con pannello rigido costituito o da lana di vetro o da due lastre di solfato di calcio precompresso con interposto strato rigido in perlite

espansa ad alta densità, rostro di tenuta e cerniere speciali delle quali una con molla interna per chiusura automatica, serratura antincendio adeguatamente protetta e maniglione antipanico a barra oscillante. La porta sarà rifinita con verniciatura a tre mani di ciclo "D" previa sabbiatura.

Porta tagliafuoco ad un'anta ad apertura scorrevole avente resistenza al fuoco di classe "REI 60", predisposta per il funzionamento semiautomatico.

La porta sarà costituita da:

- telaio portante in profilati in acciaio fissato alla muratura con zanche;
- anta scatolata dello spessore minimo di 45 mm, in lamiera di acciaio dello spessore minimo di 1,0 mm, pressopiegata per formare battuta sul telaio, irrigidita internamente sul perimetro con profilato saldato elettricamente, isolata nell'intercapedine con due materassini in fibra ceramica con interposto un pannello rigido in lana minerale.
- Sarà completata da una monorotaia superiore in acciaio completa di veletta di copertura, staffe e supporti; carrelli di scorrimento snodati; guida inferiore sagomata; guarnizioni di tenuta; serratura antincendio adeguatamente protetta; contrappeso con cordino di trascinamento entro carter metallico ispezionabile; verniciatura a tre mani con ciclo "D" previa sabbiatura.
-

55.4 Infissi in alluminio e sue leghe

I materiali da impiegare nella costruzione degli infissi dovranno avere le caratteristiche di seguito indicate:

- profilati estrusi in lega primaria PAl Si 04 Mg allo stato bonificato;
- laminati, trafilati o sagomati non estrusi in alluminio primario PALP99,5;

entrambi trattati con ossidazione anodica di spessore 15 µm, nelle classi ARP15, ARS15, ARC15, in base alle previsioni di Progetto.

I profilati estrusi speciali (tubolari o aperti) impiegati dovranno essere a battentatura multipla dei tipi e delle sezioni previsti in Progetto; in particolare la sezione dei profilati dovrà essere adeguata alle dimensioni degli infissi ed ai tipi di vetro imposti.

Dovranno essere lavorati con il sistema a giunto aperto con camera interna di rarefazione e guarnizioni di tenuta in neoprene.

La tenuta perimetrale degli infissi dovrà essere conseguita mediante perfetta lavorazione e rettifica dei profilati; gli elementi dovranno essere connessi tra loro mediante saldatura elettrica; le unioni agli angoli rafforzate con squadrette inserite nelle cavità dei profilati e fissate con avvitamento occulto.

La blindatura dei serramenti, quando prevista in Progetto, dovrà essere realizzata con profilati di acciaio zincato a caldo, fissati con avvitamento occulto all'interno dei profilati estrusi in lega leggera.

Nelle strutture murarie, dovranno essere posti in opera controtelai o contromaschere in acciaio trattati con vernice isolante dielettrica per permettere la completa rifinitura dei vani prima di montare gli infissi.

Tra le contromaschere e gli infissi esterni dovrà essere applicato, in sede di montaggio, nell'apposito alloggiamento un cordone autosigillante. Le cerniere dovranno essere in profilato estruso di lega leggera con spine di acciaio inossidabile; maniglie e organi di manovra in lega leggera di tipo pregiato.

Quando previsto in Progetto, gli infissi di finestra dovranno avere incorporate guide con relativi accessori per l'installazione di tende alla veneziana in lamelle di alluminio, da manovrare mediante comando ad arganello con dispositivo "DUE IN UNO" ad asta e manovella oscillante per la raccolta e l'orientamento simultaneo delle lamelle.

Gli infissi di finestra dovranno avere un peso medio, escluse le contromaschere, le blindature in acciaio ed i vetri, di norma non inferiore a 15 kg/m²; quelle con apertura a bilico, ad anta ribalta o blindate dovranno avere un peso unitario superiore rispetto ai 15 kg/m² e comunque rapportato alle

dimensioni dell'infisso. Per la posa in opera dei vetri dovranno usarsi esclusivamente fermavetri in profilati ad U estrusi in lega leggera; per evitare vibrazioni e movimenti delle lastre nei telai, tra lastra e telaio, dovranno essere forniti e posti in opera tasselli e guarnizioni in gomma dura o neoprene di dimensioni adeguate al peso ed allo spessore delle lastre.

55.4.1 Porte

Le tipologie delle porte in alluminio sono:
Porta interna tamburata ad una o più ante costituita da: telaio portante composto da due elementi in profilati estrusi in lega leggera di alluminio anodizzato di adeguata sezione tra loro uniti telescopicamente per essere imposti a pareti di spessore da 90 a 150 mm, ciascuno comprendente una cornice coprifilo munita di guarnizione in dutral nei punti a contatto con la parete; ante mobili cieche o munite di specchiature con vetro float dello spessore di 6 mm, come da indicazioni di Progetto, dello spessore minimo di 43 mm composte da intelaiatura in massello di legno di sezione 50x40 mm, struttura interna in cellulare a nido d'ape, pannellatura in sfibrato di legno extra duro dello spessore di 3,5 mm rivestita con laminato plastico di spessore 1,2 mm, finitura perimetrale con cornice in profilato estruso in lega leggera di alluminio anodizzato avente sezione ad U munita di battuta. Le cerniere saranno tre per anta in lega leggera di alluminio anodizzato e serratura e pomolo del tipo "premiapri".
Porta interna ad una o più ante costituita da: telaio portante composto da due elementi in profilati estrusi in lega leggera di alluminio anodizzato di adeguata sezione, tra loro uniti telescopicamente per essere imposti a pareti di spessore da 90 a 150 mm, ciascuno comprendente una cornice coprifilo munita di guarnizione in dutral nei punti a contatto con la parete.
Le ante mobili, secondo le indicazioni di Progetto:

- tamburate mediante pannellatura in lamiera di alluminio anodizzato di spessore 1 mm applicata sull'intelaiatura in profilati estrusi di lega leggera con interposto strato coibente in pannelli rigidi di poliuretano espanso della densità di 40 kg/m³;
- aventi ciascuna due specchiature in vetro antisfondamento stratificato dello spessore di 6÷7 mm;
- aventi la parte inferiore tamburata e la parte superiore a vetri;
- dello spessore minimo di 45 mm composte da intelaiatura in profilati estrusi di lega leggera di alluminio anodizzato di adeguata sezione.

La porta sarà provvista di tre cerniere per anta in lega leggera di alluminio anodizzato e serratura e pomolo tipo "premiapri".
Porta esterna ad una o due ante in profilati estrusi in lega leggera di alluminio anodizzato, di adeguata sezione costituita da: telaio portante; cornici coprifilo. Le ante mobili, secondo le indicazioni di Progetto:

- tamburate mediante pannellatura in lamiera di alluminio anodizzato di spessore 1,5 mm applicata sull'intelaiatura in profilati estrusi in lega leggera con interposto strato coibente in pannelli rigidi di poliuretano espanso della densità di 40 kg/m³; aventi ciascuna due specchiature con vetrocamera dello spessore complessivo di 24 mm, di cui: lastra esterna in vetro antisfondamento stratificato dello spessore di 8÷9 mm, camera di 9 mm, lastra interna in vetro float dello spessore di 6 mm;
- aventi la parte inferiore tamburata e la parte superiore a vetri;
- grigliate con stecche in profilati estrusi in lega leggera di alluminio anodizzato di idoneo spessore e particolare sagomatura, munite sul lato interno di rete antinsetti.

Le ante mobili saranno intelaiate in lega leggera di alluminio dello spessore minimo di 45 mm munite di gocciolatoio. Le porte sono provviste di controtelaio in acciaio trattato con vernice isolante dielettrica; di tre cerniere per anta e pomolo o maniglia in lega leggera di alluminio anodizzato; di serratura tipo Yale.

Sopraluce costituita da: telaio portante avente le stesse caratteristiche di quello delle porte; cornici coprifili; specchiatura con vetro float dello spessore di 6 mm o grigliata con stecche in profilati estrusi in lega leggera di alluminio anodizzato di particolare sagomatura. Il sopraluce, quando previsto in Progetto, dovrà avere apertura a vasistas con relativi organi di manovra e chiusura.
Le tipologie ed accessori saranno conformi a quelli scelti dal progettista.

55.4.2 Finestre e Portefinestre

Le finestre e le porte finestre saranno realizzate in profilati estrusi in lega leggera di alluminio anodizzato, lavorato con il sistema a giunto aperto, costituite essenzialmente da:

- contromaschere in acciaio trattato con vernice isolante dielettrica, complete di zanche da premurare, per permettere la completa rifinitura dei vani prima di montare gli infissi;
- telaio perimetrale in profilati estrusi in lega, da fissare con avvitamento occulto;
- parti mobili apribili costituite da: telaio portante in profilati estrusi in lega leggera con battentatura multipla muniti di guarnizioni elastiche; specchiature che, da scelte progettuali, possono essere con vetro float, stratificato, vetrocamera. Quando previsto, i profilati del telaio e delle parti mobili, saranno elettrocolorati e/o preverniciati a forno con polveri poliesteri, nei colori indicati.

Vetrata fissa, con parti mobili per vani di porte e finestre, in profilati estrusi in lega leggera di alluminio anodizzato, realizzata come da prescrizioni progettuali, costituita da: telaio perimetrale, intelaiatura delle specchiere, vetrature, controtelaio in acciaio zincato trattato con vernice isolante dielettrica.
Vetrata blindata fissa, con parti mobili per vani di porte e finestre, in profilati estrusi in lega leggera di alluminio anodizzato di adeguata sezione, rinforzati internamente con profilati in acciaio zincato a caldo dello spessore di 46 mm, realizzata come da prescrizioni progettuali, costituita da: telaio perimetrale, intelaiatura delle specchiere, vetrature, controtelaio in acciaio zincato trattato con vernice isolante dielettrica.
Parete esterna perimetrale realizzata con sistema di facciata continua, secondo i disegni di Progetto, costituita da una struttura portante in profilati estrusi di lega leggera di alluminio «a taglio termico».
La struttura composta da montanti e traversi, distribuiti secondo la maglia indicata nei disegni di Progetto e sarà indipendente e termicamente isolata dal reticolo di pannellatura e vetratura esterno.
Data in opera completa di raccordo alle strutture perimetrali, con scossaline in lamiera di alluminio preverniciato e riempimento della cavità con materiale coibente, coprigiunti in alluminio per i rivestimenti, guarnizioni esterne in gomma siliconica ed EPDM, ancoraggio alle strutture portanti con tasselli ad espansione di tipo pesante e quant'altro occorre.

55.5 Tende alla veneziana

Costituite da lamelle in alluminio a sezione curvata, indeformabili, leggere, insensibili alla luce ed agli agenti atmosferici e corrosivi.
La raccolta sarà a pacco su speciale cassonetto completamente metallico e racchiudente tutti i meccanismi di manovra, orientamento, arresto a qualsiasi altezza e fermo di fine corsa.
Il comando per la manovra e l'orientamento sarà del tipo a cordoncini.
Per quelle applicate su infissi di finestre vedasi quanto riportato al precedente punto 55.4.
La verniciatura delle lamelle dovrà essere eseguita con smalto a fuoco, del colore previsto.

55.6 Persiane avvolgibili in materia plastica

Costituite da stecche in profilati estrusi cavi di policloruro di vinile (PVC) collegate orizzontalmente a mezzo di ala continua dello stesso profilato.
Le stecche dovranno presentare rigidità a flessione, resistenza all'urto, resistenza all'agganciamento, stabilità dimensionale; dovranno presentarsi di colore uniforme con superfici

esenti da irregolarità, perfettamente rettilinee e di sezione costante.
Ogni stecca dovrà essere munita di non meno di due coste colleganti internamente le due facce per l'intera lunghezza; una delle coste dovrà presentare incamerazione idonea per l'alloggiamento di un rinforzo metallico in acciaio zincato in ragione di un profilato ogni tre stecche.
In questo caso è prevista l'adozione del comando ad arganello con asta oscillante in alluminio anodizzato, in luogo del comando a cinghia.
Lo spessore della stecca non dovrà essere inferiore a 14 mm; l'altezza compresa tra 40÷50 mm, escluso il gancio.
La stecca di base sarà in plastica, in legno o in lega leggera.
La persiana avvolgibile sarà completa di: guide in ferro ad U di dimensioni 18x30 mm, rullo avvolgitore completo di puleggia e supporti con cuscinetti a sfere, avvolgicinghia automatico da incasso con cassetta in ferro e piastra in ottone cromato, cinghia in canapa, paracinghia, squadrette o tappi di arresto.

55.7 Serrande avvolgibili in acciaio zincato

Costituite da elementi a nastro, mobili, agganciate tra loro con passo 105÷111 mm, in acciaio dolce zincato a caldo del tipo liscio e non nervato, dello spessore di 1 mm.
Gli elementi dovranno essere sagomati in modo da formare verso l'interno un gocciolatoio a protezione e rinforzo delle cerniere snodabili.
A circa 60 cm dal pavimento del locale potrà essere posto un elemento, in tutto uguale ai precedenti, ma con feritoia per l'aerazione.
Lo spiaggiale battente sulla soglia dovrà essere eseguito con pezzo speciale, particolarmente robusto, provvisto di battuta di arresto sull'architrave completa di gommini ed inoltre: serratura di chiusura tipo Yale.
Il movimento, su guide ad U ancorate alla muratura, dovrà avvenire gradatamente durante la manovra sia di apertura che di chiusura ed in modo tale che sia ridotto notevolmente l'attrito degli elementi contro la guida stessa.
Il rullo avvolgitore, munito di molle di sollevamento in acciaio, agirà su supporto ancorato solidamente alla struttura muraria.
Le serrande dovranno essere dotate di apparecchiatura per la manovra a mano mediante argano con manovella provvisto di ingranaggi superiori ed inferiori, asta discendente e fine corsa superiore ed inferiore.
Gli ingranaggi dovranno essere protetti da cassette in lamiera munita di sportelli di ispezione.
L'apparecchiatura di manovra dovrà essere azionabile sia dall'esterno che dall'interno dei locali.
Quando previsto in Progetto, la serranda dovrà essere corredata di un apparecchio di manovra elettrico del tipo monofase o trifase comprensivo del quadro di comando, dei necessari collegamenti elettrici, di un chiavistello e freno meccanico, di un selettore a chiave e dischi di compensazione.
Le serrande saranno finite con verniciatura a tre mani con ciclo "D".

55.8 Porte a bilico

Costituite da due pannelli ciechi in lamiera di acciaio zincata fortemente nervata in senso orizzontale, di spessore minimo di 1 mm, intelaiati con una struttura tubolare sagomata in acciaio zincato e collegati tra di loro mediante cerniera continua.
La manovra della porta dovrà risultare costantemente equilibrata per mezzo di contrappesi laterali, collegati al pannello inferiore mediante trasmissione a carrucole superiori e funi o catene in acciaio.

Qualora, per ragioni strutturali o di ingombro, la porta debba essere installata con un unico contrappeso dovrà essere munita di un apposito dispositivo di blocco automatico in caso di accidentale rottura della trasmissione.
Il movimento sulle guide laterali di scorrimento avverrà mediante carrelli ruotanti su cuscinetti a sfere.
I contrappesi scorreranno a loro volta su apposite guide fissate con zanche alla muratura.
Ciascuna porta dovrà essere fornita in opera completa di serratura tipo Yale centrale, di maniglie e quanto altro necessario per darla perfettamente funzionante. Tutte le porte saranno finite con verniciatura a tre mani con ciclo D.

55.9 Portoni ad impacco laterale

Il portone dovrà essere a manovra manuale con predisposizione per la motorizzazione. Sarà composto da un numero qualsiasi di ante raccolte internamente su uno o due lati del vano, secondo le indicazioni di Progetto.
Ciascuna anta sarà formata da un unico elemento strutturale assemblato con collanti a freddo ad alta resistenza, costituito da:

- telaio perimetrale in profilati di acciaio zincato a caldo con metodo Sendzimir;
- scatolatura con due lamiere lisce pressopiegate in acciaio zincato a caldo con metodo Sendzimir, dello spessore non inferiore a 1 mm;
- coibentazione con pannello rigido in cloruro di polivinile espanso a cellule chiuse di densità 30 kg/m³ tale da garantire un coefficiente di trasmissione del calore K > 0,34 W/m² ºC (DIN 52612);
- guarnizioni verticali tubolari in mescole elastomeriche antinvecchiamento;
- guarnizioni orizzontali, superiore ed inferiore, a spazzola in setole di nylon antiroditori ed antiusura;
- cerniere ad alta resistenza ad ancoraggio meccanico munite di boccole antifrizione e cuscinetto reggispinta;
- verniciatura, previo trattamento di fosfatazione mediante mano di primer epossidico e finitura con vernice a base di resine poliesteri essiccate in forno, nel colore previsto, dello spessore non inferiore a 0,04 mm.

Lo spessore delle ante dovrà essere almeno di 50 mm ed il peso di ciascuna anta non dovrà risultare inferiore a 25 kg/m².
Il portone sarà fornito in opera completamente funzionante, compreso:

- guida portante superiore in acciaio pressopiegato di spessore 3÷5 mm completa di deragliatore, cavallotti e staffe di fissaggio alle strutture portanti;
- guida inferiore in acciaio pressopiegato del tipo ad incasso, con fori per lo scarico dell'acqua, completa di zanche per il fissaggio a pavimento;
- carrelli di guida, a quattro ruote portanti funzionanti a circolazione di sfere, ad azione autocentrante e di allineamento con la guida superiore, regolabili in altezza;
- profili di tenuta fissati alla struttura muraria e guarnizioni di tenuta in mescole elastomeriche antinvecchiamento fissate alle ante estreme;
- due cariglioni di chiusura (uno per ogni impacco di ante) con relative maniglie di manovra; uno dei due cariglioni dovrà essere munito di cilindro tipo Yale con chiave funzionante anche dall'esterno;
- quando previsto in Progetto, il portone sarà fornito anche di griglia di aerazione di superficie 0,15÷0,20 m², costituita da profilati estrusi in lega leggera di alluminio anodizzato elettrocolorato, completa di cornici coprifilo, di accessori di fissaggio;
- costola di sicurezza.

La motorizzazione, quando prevista in Progetto, avrà velocità di traslazione costante e sarà realizzata da:

- sistema di catene con tendicatena a molla collegato con un microinterruttore con funzione di sicurezza antischiacciamento;
- motore elettrico con voltaggio monofase o trifase (220/380 V) di potenza adeguata alle dimensioni del portone;
- gruppo motoriduttore per la movimentazione contemporanea dei due impacchi;
- comando aperturastopchiusura con pulsantiera all'interno e selettore a chiave all'esterno;
- quadro elettrico di comando e controllo;
- microinterruttori e cammes regolabili di fine corsa aperturachiusura;
- dispositivo di sbloccaggio per manovra manuale in caso di mancanza di corrente;
- tamponi di fine corsa, staffe di supporto, accessori di fissaggio alla muratura, montaggio, allacciamenti e cablaggi, linea elettrica di alimentazione e relativa canalizzazione.

Il portone ad impacco laterale, quando previsto in Progetto, sarà provvisto di porte pedonali della superficie minima di almeno 1,20 m², apribili verso l'esterno, con caratteristiche strutturali di rifinitura uguali a quelle dei pannelli del portone, munite di serrature tipo Yale, maniglie di presa e guarnizioni perimetrali a doppia battuta in mescola elastomerica antinvecchiamento.
Possono essere previste in Progetto anche delle specchiature a giorno nelle ante del portone, della superficie di almeno 0,30 m² realizzate con oblò rettangolari in doppia parete di metacrilato montati con guarnizioni di tenuta avvolgenti in mescola elastomerica antinvecchiamento.

55.10 Portoni di tipo sezionale

Composti da pannelli scatolati, scorrenti verticalmente e a soffitto, come da indicazioni di Progetto.
Ciascun pannello sarà formato da un unico elemento strutturale scatolato costituito da due lamiere piane con nervature longitudinali in acciaio zincato a caldo dello spessore non inferiore a 0,6 mm, assemblato con speciali collanti e coibentato internamente con schiuma di resine poliuretaniche a cellula chiusa della densità di 50 kg/m³, iniettata a caldo, avente coefficiente di trasmissione del calore K > 0,42 W/m² ºC (DIN 52612).
Internamente al pannello dovranno essere inseriti rinforzi longitudinali in profilati di acciaio per aumentarne la resistenza e per il fissaggio delle cerniere.
Lateralmente, i pannelli saranno finiti con elementi in acciaio zincato aventi funzione di supporti per l'ancoraggio di carrelli e delle cerniere.
I pannelli, uniti con cerniere in acciaio zincato a caldo, saranno resi solidali con le guide di scorrimento per mezzo di carrelli in acciaio zincato a caldo portanti rulli di scorrimento di tipo rinforzato in acciaio rettificato muniti di cuscinetti a sfere, ciascun carrello regolabile perpendicolarmente e trasversalmente per una agevole registrazione del portone in opera.
I giunti longitudinali tra i pannelli saranno muniti di guarnizioni in gomma; lateralmente e superiormente ai portoni dovranno essere fornite guarnizioni in mescola elastomerica antinvecchiamento del tipo a labbro; sulla battuta inferiore la guarnizione sarà del tipo tubolare.
Il sistema di scorrimento sarà del tipo bilanciato a molle elicoidali precaricate calettate su un albero in acciaio posto sopra le guide di scorrimento.
Il portone sarà fornito completo di:

- guide laterali di scorrimento fissate alla muratura ed a soffitto;
- albero portamolle in acciaio zincato di adeguato spessore con molle elicoidali di bilanciamento in numero necessario;
- dispositivo di sicurezza paracadute che interviene in caso di rottura accidentale del cavo di sollevamento;

- dispositivo di sicurezza contro lo scarrucolamento del cavo traente;
- serratura del tipo Yale e maniglie di sollevamento interna ed esterna;
- può essere previsto in Progetto, anche la griglia di aerazione di superficie 0,15÷0,20 m² costituita da profilati estrusi in lega leggera di alluminio anodizzato elettrocolorato;
- cornici coprifilo, accessori di fissaggio;
- costola di sicurezza.

La finitura delle facce in vista, esterna ed interna dei portoni, sarà eseguita mediante trattamento con speciale vernice plastificata dello spessore non inferiore a 0,2 mm.
Il portone dovrà essere a manovra manuale con predisposizione per la motorizzazione.
Quando previsto in Progetto, il portone dovrà essere corredato di porte pedonali, aprentesi verso l'esterno, della superficie minima di almeno 1,20 m² aventi caratteristiche strutturali e di rifinitura uguali a quelle del portone, munite di serratura tipo Yale, maniglie di presa e guarnizioni perimetrali a doppia battuta in miscela elastomerica antinvecchiamento.
Possono essere previste anche specchiature a giorno, della superficie ciascuna di almeno 0,25 m², realizzate con oblò rettangolari in doppia parete di metacrilato montati con guarnizioni di tenuta avvolgenti in mescola elastomerica antinvecchiamento.
Nel Progetto può essere prevista la motorizzazione del portone, la velocità di traslazione dovrà risultare costante e le apparecchiature previste saranno composte da:

- sistema di catene con tendicatena a molla collegato con un microinterruttore con funzione di sicurezza antischiacciamento;
- motore elettrico con voltaggio monofase o trifase (220/380 V) di potenza adeguata alle dimensioni del portone;
- comando aperturastopchiusura con pulsantiera all'interno e selettore a chiave all'esterno;
- quadro elettrico di comando e controllo;
- microinterruttori e cammes regolabili di fine corsa aperturachiusura;
- dispositivo di sbloccaggio per manovra manuale in caso di mancanza di corrente;
- tamponi di fine corsa, staffe di supporto, accessori di fissaggio alla muratura, montaggio, allacciamenti e cablaggi, linea elettrica di alimentazione e relativa canalizzazione.

55.11 Lucernari

Costituiti da basamento e cupola della superficie utile interna di 1,301,40 m², avente le seguenti caratteristiche:

- basamento scatolato in profilati di alluminio preverniciato dello spessore minimo di 0,8 mm, coibentato nell'intercapedine con poliuretano autoestinguente;
- cupola termoformata a doppia parete di cui quella interna in policarbonato trasparente spess. 3 mm e quella esterna in metacrilato trasparente od opalino di spess. 4 mm, sigillata ai bordi;
- scossaline in lamierino di rame dello spessore di 0,8 mm, opportunamente sagomate per riprodurre la gregatura dei pannelli di copertura, per il raccordo tra lucernario e copertura.

Dato in opera su copertura metallica a pannelli, anche sandwich, compreso gli attacchi in acciaio zincato di collegamento alle strutture portanti e gli accessori di posa.

Art. 56 Tinteggiature e verniciature

56.1 Norme generali

Prima dell'esecuzione di qualsiasi opera di tinteggiatura e verniciatura, le superfici da trattare dovranno essere oggetto, adeguatamente a ciascun tipo, di una idonea ed accurata preparazione.
L'Appaltatore ha l'obbligo di eseguire campioni per i vari tipi di finiture per la verifica della rispondenza dei colori a quelli di Progetto.
Tinteggiature e verniciature, quando specificatamente previsto, saranno completate con filettature, fascette e zoccolini.
Le mani dovranno essere date a passate incrociate; per le verniciature, le varie mani saranno eseguite in colore o tonalità diverse in modo tale che sia possibile il controllo del numero di mani applicate.
Non saranno assolutamente accettate vernici non rispondenti alle caratteristiche ed ai requisiti prescritti, addebitando all'Appaltatore, in qualsiasi stadio dei lavori, l'asportazione e la sostituzione delle verniciature eseguite che non risultassero idonee.
Le tinteggiature e verniciature, con particolare riferimento a quelle su legno e su metallo, dovranno essere eseguite in condizioni di tempo asciutto, evitando eccessi di caldo o di gelo e non si dovrà mai procedere alla stesura di uno strato fino a che il precedente non sia perfettamente essiccato.
Si riterranno inoltre a totale carico dell'Appaltatore la pulitura, la riparazione o il risarcimento di eventuali danni arrecati da spruzzi o macchie su qualsiasi superficie finita, poiché rientra nei suoi obblighi l'adozione preliminare di ogni precauzione atta ad evitarli.
Il presente articolo 56 non si applica agli elementi di carpenteria metallica per i quali il riferimento è rappresentato dall'art. 25bis.

56.2 Tinteggiatura

56.2.1 Tinteggiatura a tempera

La tinteggiatura di pareti e soffitti sarà eseguita con pittura a tempera data in tre mani, previa adeguata preparazione del sottofondo che dovrà essere regolarizzato e lisciato mediante rasatura a stucco plastico, scartavetratura, spolveratura, ripresa di spigoli e quanto altro necessario.

56.2.2 Tinteggiatura con idropittura

56.2.2.1 tinteggiatura di pareti (per interni):

Con pittura emulsionata opaca lavabile a base di resine vinilacriliche disperse in acqua, con 50÷60% di veicolo avente residuo secco non inferiore al 30% e 40÷50 di pigmento costituito da biossido di titanio per almeno il 50%.
Lo spessore della pellicola per ciascuna mano non dovrà risultare inferiore a 0,025 mm.
Data in due mani previa preparazione del sottofondo che dovrà essere regolarizzato e lisciato mediante rasatura a stucco plastico, scartavetratura, spolveratura, ripresa di spigoli e quanto altro necessario compresa l'applicazione di uno strato di isolante inibente.

56.2.2.2 tinteggiatura per esterni:

Si dovrà impiegare idropittura a base di resine vinilacriliche disperse in acqua con 55÷60% di veicolo avente residuo secco non inferiore al 50% e 40÷45% di pigmento costituito da biossido di titanio rutilo per almeno il 65%.
Lo spessore di ogni mano non dovrà risultare inferiore a 0,035 mm.

Data in due mani previa preparazione del sottofondo mediante rasatura a stucco plastico, scartavetratura, spolveratura, ripresa di spigoli e quanto altro necessario compresa l'applicazione di uno strato di isolante inibente.
Se previsto in Progetto, sopra la tinteggiatura esterna, sarà applicata una mano di vernice trasparente idrorepellente siliconica a solvente, data a pennello o a spruzzo.

56.3 Verniciatura di pareti in muratura

Le pareti interne in muratura saranno finite con due mani di smalto poliuretanico, previa preparazione del sottofondo e spolveratura delle superfici, di colore e modalità indicate in Progetto; le pareti esterne saranno finite con una mano di vernice trasparente idrorepellente siliconica a solvente su faccia vista o intonacata e tinteggiate.

56.4 Verniciature di strutture in acciaio

Tutte le strutture in acciaio (inclusi gli infissi) dovranno essere finite con uno dei cicli di verniciatura di seguito descritti, secondo le indicazioni progettuali.
I cicli di verniciatura saranno preceduti dalla preparazione del supporto mediante spazzolatura meccanica, o sabbiatura, o sgrassaggio.

56.4.1 Ciclo "A"

Per strutture non in vista o come preparazione a successivi trattamenti di protezione al fuoco.
Da applicare in superfici preparate mediante sabbiatura di grado Sa 2½ della SVENSK STANDARD SIS con l'avvertenza che i ritocchi da effettuare con primer epossidico allo zinco, dopo la posa in opera delle strutture e prima dell'applicazione della seconda mano, dovranno interessare tutte le superfici dalle quali sia stata asportata la prima mano data in officina, in corrispondenza di saldature e comunque in tutti i punti che si presentassero scoperti.
Il ciclo comprende due mani di prodotti vernicianti, oltre alla mano di ritocchi; nello specchio che segue si riportano le caratteristiche di ciascuna mano:

	I MANO	RITOCCHI SULLA I MANO	II MANO
TIPO DI VERNICE	PRIMER EPOSSIDICO ALLO ZINCO	PRIMER EPOSSIDICO ALLO ZINCO	PITTURA EPOSSIDICA
PESO SPECIFICO grammi/litro	$\geq$2600	$\geq$ 2600	$\geq$ 1400
COMPONENTI n.	2	2	2
SPESSORE DEL FILM mm	$\geq$ 0,07	$\geq$ 0,07	$\geq$ 0,08
METODO DI APPLICAZIONE	PENNELLO SPRUZZO AIRLESS	PENNELLO SPRUZZO	PENNELLO SPRUZZO AIRLESS

56.4.2 Ciclo "B"

Per strutture in vista, preparate mediante sabbiatura di grado Sa 2½ della SVENSK STANDARD SIS, con la prima mano di antiruggine ed i ritocchi come al precedente Ciclo "A"; la seconda mano di pittura epossidica e la terza mano di smalto poliuretanico date in opera; complessivamente il ciclo comprende tre mani di prodotti vernicianti oltre alla mano di ritocchi; nello specchio che segue si riportano le caratteristiche di ciascuna mano:

	I MANO DATA IN OFFICINA	RITOCCHI SULLA I MANO DATA IN OPERA	II MANO DATA IN OPERA	III MANO DATA IN OPERA
TIPO DI VERNICE	PRIMER EPOSSIDICO ALLO ZINCO	PRIMER EPOSSIDICO ALLO ZINCO	PITTURA EPOSSIDICA	SMALTO POLIURETANICO
PESO SPECIFICO grammi/litro	$\geq$ 2600	$\geq$ 2600	$\geq$ 1400	$\geq$ 1100
COMPONENTI n.	2	2	2	1 o 2
SPESSORE DEL FILM mm	$\geq$ 0,07	$\geq$ 0,07	$\geq$ 0,08	$\geq$ 0,035
METODO DI APPLICAZIONE	PENNELLO SPRUZZO AIRLESS	PENNELLO SPRUZZO	PENNELLO SPRUZZO AIRLESS	PENNELLO SPRUZZO AIRLESS

56.4.3 Ciclo "C"

Da applicare su superfici non in vista o come preparazione a successivi trattamenti di: protezione al fuoco; strutture portanti in acciaio zincato a caldo; lattoneria in lamiera di ferro zincato per converse, canali di gronda, tubazioni, foderature ecc.
Il ciclo comprende una sola mano di prodotti vernicianti; nello specchio che segue si riportano le caratteristiche della mano:

	I MANO
TIPO DI VERNICE	PRIMER EPOSSIDICO
PESO SPECIFICO grammi/litro	≥ 1500
COMPONENTI n.	2
SPESSORE DEL FILM mm	≥ 0,08
METODO DI APPLICAZIONE	PENNELLO SPRUZZO AIRLESS

56.4.4 Ciclo "D"

Da applicare su superfici in vista zincate a caldo o su superfici metalliche esistenti preparate mediante spazzolatura meccanica o sabbiatura.
Il ciclo comprende tre mani di prodotti vernicianti; nello specchio che segue si riportano le caratteristiche di ciascuna mano:

	I MANO	II MANO	III MANO
TIPO DI VERNICE	PRIMER EPOSSIDICO	PITTURA EPOSSIDICA	SMALTO POLIURETANICO
PESO SPECIFICO grammi/litro	≥ 1500	≥ 1400	≥ 1100
COMPONENTI n.	2	2	1 o 2
SPESSORE DEL FILM mm	≥ 0,08	≥ 0,08	≥ 0,035
METODO DI APPLICAZIONE	PENNELLO SPRUZZO AIRLESS	PENNELLO SPRUZZO AIRLESS	PENNELLO SPRUZZO AIRLESS

56.4.5 Ciclo "E"

Da applicare su lattoneria in lamiera di ferro nero per foderature, tubazioni, canali, ecc. e su pluviali in tubi di acciaio elettrosaldati, previa preparazione mediante sabbiatura.
Il ciclo comprende due mani di prodotti vernicianti; nello specchio che segue si riportano le caratteristiche di ciascuna mano:

	I MANO	II MANO
TIPO DI VERNICE	PRIMER EPOSSIDICO	PITTURA EPOSSIDICA
PESO SPECIFICO grammi/litro	$\geq$ 1500	$\geq$ 1400
COMPONENTI n.	2	2
SPESSORE DEL FILM mm	$\geq$ 0,08	$\geq$ 0,08
METODO DI APPLICAZIONE	PENNELLO SPRUZZO AIRLESS	PENNELLO SPRUZZO AIRLESS

56.4.6 Ciclo "F"

56.4.6.1 Ciclo F/1

Da applicare su superfici non in vista preparate mediante sabbiatura di grado Sa 2½.
Il ciclo comprende due mani di prodotti vernicianti; nello specchio che segue si riportano le caratteristiche di ciascuna mano:

	I MANO	II MANO
TIPO DI VERNICE	PRIMER EPOSSIDICO ALLO ZINCO	PITTURA EPOSSICATRAME
PESO SPECIFICO grammi/litro	$\geq$ 2600	$\geq$ 1400
COMPONENTI n.	2	2
SPESSORE DEL FILM mm	$\geq$ 0,07	$\geq$ 0,15
METODO DI APPLICAZIONE	PENNELLO SPRUZZO AIRLESS	PENNELLO SPRUZZO AIRLESS

56.4.6.2 Ciclo F/2

Da applicare su superfici non in vista zincate a caldo.
Il ciclo comprende due mani di prodotti vernicianti; nello specchio che segue si riportano le caratteristiche di ciascuna mano:

	I MANO	II MANO
TIPO DI VERNICE	PRIMER EPOSSIDICO	PITTURA EPOSSICATRAME
PESO SPECIFICO grammi/litro	$\geq$ 1500	$\geq$ 1400
COMPONENTI n.	2	2
SPESSORE DEL FILM mm	$\geq$ 0,08	$\geq$ 0,15
METODO DI APPLICAZIONE	PENNELLO SPRUZZO AIRLESS	PENNELLO SPRUZZO AIRLESS

56.5 Verniciature di opere in legno

Tutte le opere in legno dovranno essere finite con i cicli di verniciatura di seguito descritti.

I cicli di verniciatura saranno preceduti dalla preparazione del supporto; tra la prima mano e quelle successive si dovrà procedere alla stuccatura, alla rasatura e alla carteggiatura.

56.5.1 Ciclo "A" (ciclo opaco)

Il ciclo comprende tre mani di prodotti vernicianti aventi le caratteristiche indicate nello specchio che segue:

	I MANO	II MANO	III MANO
TIPO DI VERNICE	FONDO SINTETICO DI IMPRIMITURA A BASE DI RESINA ALCHIDICA	SMALTO SINTETICO SATINATO A BASE DI RESINA ALCHIDICA	SMALTO SINTETICO SATINATO A BASE DI RESINA ALCHIDICA
PESO SPECIFICO grammi/litro	$\geq$ 1500	$\geq$ 1200	$\geq$ 1200
COMPONENTI n.	1	1	1
SPESSORE DEL FILM mm	$\geq$ 0,04	$\geq$ 0,04	$\geq$ 0,04
METODO DI APPLICAZIONE	PENNELLO SPRUZZO	PENNELLO SPRUZZO	PENNELLO SPRUZZO

56.5.2 Ciclo "B" (ciclo trasparente)

Il ciclo comprende tre mani di prodotti vernicianti aventi le caratteristiche indicate nello specchio che segue:

	I MANO	II MANO	III MANO
TIPO DI VERNICE	FONDO TRASP. A BASE DI RESINE SINTETICHE, OLI ESSICCATIVI E FUNGHICIDI	FINITURA TRASP. SATINATA A BASE DI RESINE ALCHIDICHE	FINITURA TRASP. SATINATA A BASE DI RESINE ALCHIDICHE
PESO SPECIFICO grammi/litro	$\geq$ 850	$\geq$ 880	$\geq$ 880
COMPONENTI n.	1	1	1
SPESSORE DEL FILM mm	$\geq$ 0,04	$\geq$ 0,04	$\geq$ 0,04
METODO DI APPLICAZIONE	PENNELLO O IMMERSIONE	PENNELLO	PENNELLO

56.6 Protezione al fuoco

56.6.1 Con pittura ignifuga intumescente

Verniciatura protettiva di strutture metalliche costituita da pittura ignifuga intumescente a base acquosa (esente da solventi) atta all'isolamento al fuoco e ritardante la propagazione della fiamma mediante reazione ad effetto schiumogeno. Applicata a più mani, a pennello o a spruzzo, nelle

quantità e con gli spessori sottoindicati, secondo le classi di protezione richieste, come da prescrizioni specificate nella circolare del Ministero dell'Interno n. 91 del 4/9/1961 e successivi aggiornamenti, gli spessori e le classi di protezione saranno le seguenti:

- per ottenere una resistenza al fuoco di classe 60 min, sarà applicato un quantitativo di pittura pari a 1,7÷1,8 kg/m² dato in 3÷4 mani, pari ad uno spessore finito di 0,8 mm;
- per ottenere una resistenza al fuoco di classe 120 min, sarà applicato un quantitativo di pittura pari a 2,9÷3,0 kg/m² dato in 4÷5 mani, pari ad uno spessore finito di 1,35 mm.

La pittura sarà applicata su superfici preventivamente preparate come ai cicli A e C; o su superfici di strutture in acciaio esistenti, sabbiate a metallo bianco di grado SVENSK STANDARD 2½ e trattate con una mano di antiruggine sintetico magro al cromato di zinco dello spessore di 0,04 mm.

56.6.2 Con strato di fibre minerali miscelate con cemento e collante

Copertura di strutture in acciaio, in calcestruzzo o in muratura mediante spruzzatura di uno strato costituito da fibre minerali di lana di roccia sfibrate, esenti da amianto e silice libera miscelate con cemento e collante vinilico negli spessori sottoindicati, atti a garantire:

- resistenza al fuoco di classe 90 min: spessore di 10 mm;
- resistenza al fuoco di classe 120 min: spessore di 15 mm;
- resistenza al fuoco di classe 180 min: spessore di 20 mm.

La copertura dovrà eseguirsi con impiego di idonea attrezzatura comprendente: tramoggia rotativa, sfibratore a pettine, booster a secco ecc. e applicata su superfici preventivamente preparate come ai cicli A e C; su superfici di strutture in acciaio esistenti, sabbiate a metallo bianco di grado SVENSK STANDARD 2½ e trattate con una mano di antiruggine sintetico magro al cromato di zinco dello spessore di 0,04 mm; su strutture in calcestruzzo o in muratura adeguatamente preparate mediante bagnatura con acqua e collante in pressione.

56.7 Tappezzeria in plastica

L'applicazione della tappezzeria in plastica su pareti interne dovrà essere preceduta da un accurata preparazione dell'intonaco opportunamente regolarizzato e lisciato mediante rasatura a stucco plastico, scartavetratura, spolveratura, ripresa di spigoli e quanto altro occorrente.

La tappezzeria dovrà essere in plastica con supporto di tela, «di tipo ignifugo di classe I»; costituita da cloruro di polivinile spalmato a caldo su tela di puro cotone, avente un peso non inferiore a 0,680 kg/m²; dovrà essere di grana e del tipo e colore, secondo le scelte progettuali.

L'applicazione alle pareti, preceduta da una spalmatura di colla dello stesso tipo di quella impiegata per l'incollaggio dei teli, diluita in acqua nel rapporto 1/1, dovrà essere fatta mediante collanti a freddo a base di carbossimetilcellulosa od a base vinilica, miscelati con antifermentativi nella misura dello 0,5% circa. La colla dovrà essere spalmata sulla tappezzeria e lasciata maturare prima dell'applicazione dei teli.

È vietata la sovrapposizione dei bordi dei teli; le giunzioni dovranno presentarsi perfettamente verticali e combacianti per l'intera altezza del telo.

I teli dovranno essere in un sol pezzo: sono pertanto vietate giunzioni intermedie. La tappezzeria, dopo l'applicazione e il prosciugamento dovrà risultare perfettamente distesa ed aderente su tutte le superfici e non presentare bolle d'aria, distacchi o ad altre imperfezioni.

56.8 Rivestimenti plastici

Il rivestimento plastico per superfici intonacate di pareti interne e/o esterne e di soffitti, sarà composto da: resine sintetiche, pigmenti coloranti selezionati, cariche minerali inerti di varia granulometria e solventi di adeguata tensione superficiale.

Le superfici da rivestire dovranno essere perfettamente stagionate, accuratamente preparate e depolverizzate, trattate preliminarmente con una mano di impregnante isolante inibente a solvente.
Il rivestimento liscio avrà le seguenti caratteristiche:

- peso specifico del prodotto: > 1350 g/l;
- applicazione: due strati dati a pennello o con rullo in lana;
- rilievo massimo: fino a 0,5 mm.

Il rivestimento bucciato avrà le seguenti caratteristiche:

- peso specifico del prodotto: > 1600 g/l;
- applicazione: pennello o rullo in lana;
- rilievo massimo: fino a 1,2 mm.
-

56.9 Ossidazione anodica

Le parti in vista di manufatti in alluminio e sue leghe (compresi gli infissi) dovranno essere trattate, con ossidazione anodica, nei colori previsti in Progetto.
Classi e caratteristiche degli strati di ossidazione anodica da adottare sono quelle sottoelencate:

- ARP 15 Architettonico lucido;
- ARS 15 Architettonico spazzolato;
- ARC 15 Architettonico satinato chimicamente;

dove lo spessore dello strato dovrà essere non inferiore a 15 µm.
Le superfici da trattare dovranno essere preliminarmente preparate, in funzione delle classi sopraelencate, rispettivamente mediante lucidatura meccanica o spazzolatura meccanica o trattamento chimico.
Le superfici dovranno presentarsi regolari, prive di porosità e di colore uniforme.
I manufatti dovranno essere protetti, in via provvisionale, da speciali pellicole trasparenti e facilmente asportabili, in modo particolare quelli da fissare alle strutture murarie, affinché agenti chimici eterogenei non ne corrodano o macchino le superfici durante l'esecuzione dei lavori.

Art. 57 Bonifica bellica sistematica terrestre e subacquea

57.1 Scopo e campo di applicazione

Con la dicitura "Bonifica Sistematica Terrestre" si intendono tutte le attività finalizzate alla ricerca, disinnesco e/o rimozione di ordigni bellici di qualsiasi natura dalle aree interessate dai lavori di costruzione oggetto del presente Capitolato. La bonifica si intende subacquea quando le attività di ricerca si svolgono nel mare territoriale e le acque interne (per acque interne si intendono laghi, fiumi e corpi d'acqua la cui profondità comporta la necessità di impiegare apparecchiature per l'immersione e/o particolari attrezzature subacquee di ricerca), presumibilmente interessate da eventi bellici, in cui il progetto ipotizza la presenza di ordigni esplosivi sommersi o comunque non individuabili a vista e mirate a liberare il fondale e relativo sottofondo dalla loro presenza.
Per ordigni bellici, indipendentemente dalla terminologia utilizzata nel seguito e in ogni altro documento contrattuale o progettuale, si intendono: mine, bombe, proiettili, ordigni bellici, masse ferrose e residuati esplosivi bellici di qualsiasi natura. I lavori di bonifica dovranno essere eseguiti nel rispetto delle leggi dello Stato e dei regolamenti militari vigenti, e di quanto prescritto dal presente Capitolato, dal progetto e dal Piano di Sicurezza e Coordinamento. In caso di conflitto, le prescrizioni e le disposizioni che l'Amministrazione Militare, competente per territorio, riterrà opportuno impartire circa l'esecuzione dei lavori di bonifica, potranno prevalere, con l'accordo della DL, su quelle del presente Capitolato.

57.2 Normativa di riferimento

Le attività per l'esecuzione del servizio di bonifica bellica sono disciplinate dal Ministero della Difesa che per mezzo del Segretariato Generale della Difesa e Direzione Nazionale Armamenti che ha emesso:

- la direttiva tecnica GEN-BST 001 Edizione 20 gennaio 2020 valida per le operazioni di bonifica sistematica terrestre;
- la direttiva tecnica GEN-BSS 001 Edizione 19 maggio 2020 valida per le operazioni di bonifica subacquea.

Le direttive sopra richiamate comprensive di tutti gli allegati, anche se non materialmente allegate al presente documento, si intendono a tutti gli effetti di legge come patto contrattuale vincolante nei confronti dell'Appaltatore.
Nel caso in cui tra l'emissione del presente capitolato e l'inizio dei lavori il Segretariato Generale della Difesa e Direzione Nazionale Armamenti dovesse pubblicare degli aggiornamenti o degli ulteriori documenti vincolanti per l'esecuzione del servizio di bonifica bellica, è da intendersi che tali aggiornamenti saranno da utilizzare come riferimento vincolante per l'Appaltatore ai fini contrattuali ed operativi.

57.3 Imprese autorizzate all'espletamento del servizio di bonifica bellica

Presso il Ministero della Difesa - Segretariato Generale della Difesa e Direzione Nazionale degli Armamenti - Direzione dei Lavori e del Demanio - è istituito, ai sensi dell'articolo 1, comma 2, della legge 1° ottobre 2012, n. 177, l'albo delle imprese specializzate nella bonifica da ordigni esplosivi residuati bellici. L'iscrizione all'albo è condizione per l'esercizio dell'attività di bonifica preventiva e sistematica da ordigni bellici inesplosi ed è disposta per categorie e classifiche in relazione alla tipologia di intervento da porre in essere ed alle capacità tecnico-economiche dell'impresa.

57.4 Oneri generali a carico dell'Appaltatore

La Bonifica bellica sistematica terrestre e subacquea, ove prevista, è da intendersi tassativamente propedeutica a qualsiasi altra attività lavorativa e deve essere svolta, da Imprese specializzate aventi i requisiti di cui al § 57.3, sulla base di un parere vincolante dell'Autorità Militare competente per territorio in merito alle specifiche regole tecniche da osservare in considerazione della collocazione geografica e della tipologia dei terreni interessati, nonché mediante misure di sorveglianza dei competenti organismi del Ministero della Difesa.

Prima dell'inizio dei lavori di bonifica l'APPALTATORE dovrà presentare istanza per il rilascio del Parere vincolante e le annesse Prescrizioni Tecniche al Reparto Infrastrutture territorialmente competente. L'istanza di bonifica bellica dovrà essere redatta come indicato nelle Direttive tecniche citate al § 57.2.

A valle della presentazione di istanza, il parere vincolante e le annesse prescrizioni tecniche dovranno essere restituite dall'APPALTATORE al Reparto Infrastrutture tramite PEC o posta raccomandata, firmate per accettazione e comprensive anche del progetto di bonifica bellica. Il progetto di bonifica bellica dovrà essere redatto come indicato nelle Direttive tecniche citate al § 57.2.

Le attività di ricerca e scoprimento di ordigni esplosivi residuati bellici potranno avere inizio solo ad avventura approvazione del progetto di bonifica bellica, con conseguente rilascio, da parte del Reparto Infrastrutture, del Parere Vincolante positivo.

La direzione tecnica ed organizzativa del Servizio di Bonifica Bellica sarà affidata al Dirigente Tecnico della Ditta Incaricata, mentre la direzione operativa e la responsabilità della tenuta e compilazione dei relativi documenti di cantiere sarà di competenza dell'Assistente Tecnico, che dovrà assicurare la sua costante presenza durante le operazioni, come prescritto nelle Direttive tecniche citate al § 57.2. L'esecuzione pratica delle attività di ricerca, individuazione e scoprimento di ordigni esplosivi residuati bellici saranno opera del Rastrellatore.
Le fasi di lavoro da svolgere per effettuare la bonifica, a cura ed onere dell'Appaltatore, sono le seguenti:

- Adempimento prescrizioni contenute nel piano di sicurezza e coordinamento PSC (p.e. recinzioni, segnalazioni, posto di primo soccorso ecc.);
- Tracciamento delle aree oggetto di bonifica bellica individuate nel progetto;
- Rimozione della vegetazione;
- Esplorazione del terreno e scavo per l'individuazione degli ordigni bellici (bonifica superficiale, profonda e subacquea);
- Eventuale ritombamento al termine delle attività.

Per tutti gli aspetti di dettaglio sulla gestione dell'attività dal punto di vista tecnico e del procedimento amministrativo non affrontati nella presente Sezione, si rimanda a quanto prescritto nei documenti, già più volte citati, indicati al § 57.2 del presente articolo.

57.5 Eventuale rimozione degli ordigni bellici, sostanze e materiali bellici

In tutti i casi di rinvenimento di ordigni bellici, come prescritto nelle Direttive tecniche citate al § 57.2, la Ditta Incaricata ha l'obbligo di:

- sospendere immediatamente le attività di ricerca;
- effettuare tempestiva comunicazione a mezzo PEC (preceduta da comunicazione verbale/telefonica) all' Organo Esecutivo Periferico (OEP) ed agli Organi di Pubblica Sicurezza locali, per i successivi adempimenti previsti dalle vigenti disposizioni in materia di Bonifica

Bellica Occasionale, del ritrovamento di tutti gli ordini esplosivi, di qualsiasi genere e natura, fornendo, qualora le condizioni di sicurezza le premettano, tutte le possibili indicazioni, ivi comprese eventuali immagini anche in formato digitale. Copia della PEC dovrà essere indirizzata anche all'Ufficio Bonifica Ordigni Bellici e Albo di GENIODIFE. La Ditta Incaricata ha altresì l'obbligo di darne comunicazione alla Committente, per il tramite della DL;

- porre in atto, in condizioni di sicurezza, idonea segnaletica di pericolo intorno all'ordigno bellico nonché tutti gli accorgimenti ritenuti necessari, da valutare di volta in volta in funzione dei luoghi e della tipologia dell'ordigno, per evitare che estranei possano avvicinarsi all'ordigno ed allo scavo effettuato;
- interpellare il Soggetto Interessato o suo delegato in merito all'opportunità di produrre un Attestato di Bonifica Bellica parziale per le zone/tratte già bonificate, al fine di disporre di aree parzialmente liberalizzate sulle quali poter operare per il proseguimento dei lavori previsti, condizionatamente ai vincoli imposti dal personale dell'Amministrazione Difesa (AD) e delle autorità responsabili della pubblica incolumità.

Le attività di bonifica bellica potranno essere riprese solo dopo dell'intervento di personale specializzato dell'AD proposto alla successiva neutralizzazione dell'ordigno, il cui onere di vigilanza, nelle more del citato intervento, risale comunque alle Forze di Polizia, pena il configurarsi del reato di detenzione abusiva di materiale esplodente.

57.6 Collaudo

Una volta ultimate le operazioni di bonifica bellica, l'impresa specializzata rilascia al soggetto interessato "l'Attestato di Bonifica Bellica" secondo le indicazioni riportate nelle Direttive tecniche citate al § 57.2. Con tale attestazione l'impresa specializzata dichiara di aver eseguito le prestazioni in conformità al parere vincolante positivo rilasciato dall'Organo Esecutivo Periferico (OEP) del Ministero della Difesa, ivi comprese le eventuali variazioni/implementazioni ricevute in caso di Documento Unico delle Bonifiche approvato con limitate prescrizioni, assumendosi la responsabilità di eventuali danni alle persone ed alle cose, comunque derivanti da imperfetta esecuzione delle attività, prima, durante e dopo le operazioni di verifica effettuate dal Ministero della Difesa.

L'OEP, nei termini di 30 giorni dalla data di ricezione dell'Attestato di Bonifica Bellica, effettuati i dovuti controlli nell'ambito delle funzioni di sorveglianza e vigilanza, provvederà a restituire all'impresa specializzata ed al Soggetto Interessato o suo delegato un esemplare ciascuno, originale ed in bollo, del precitato Attestato, debitamente compilato recante la validazione dell'Amministrazione Difesa (AD) sul corretto svolgimento del servizio di bonifica bellica e trattenere agli atti l'esemplare originale non in bollo del precitato Attestato.

Si precisa che le aree sottoposte a bonifica bellica non potranno essere utilizzate finché l'OEP competente per territorio non avrà rilasciato al Soggetto Interessato ed all'impresa specializzata il relativo Attestato di Bonifica Bellica con la relativa dichiarazione della validazione del servizio bonifica bellica, che ne attesti la conformità al parere vincolante positivo emanato. Per l'AD il procedimento relativo al servizio di bonifica bellica si considererà concluso col rilascio della precitata dichiarazione.

57.7 Controlli in corso d'opera

57.7.1 Controlli in capo all'Appaltatore

L'Appaltatore è tenuto a documentare in apposito report l'esito delle seguenti verifiche da trasmettere alla Direzione Lavori:

- rispondenza del personale specializzato e dei mezzi alle specifiche riportate nelle Direttive tecniche citate al § 57.2 da eseguire su ogni area di lavoro all'inizio delle attività;
- eseguire un rilevo in formato dwg per ogni area per cui sono state eseguite le operazioni di bonifica bellica appena l'Impresa specializzata ha rilasciato al soggetto interessato "l'Attestato di Bonifica Bellica" secondo le indicazioni riportate nelle Direttive tecniche citate al § 57.2 come indicato anche al § 57.6. Quando disponibile il rilievo andrà aggiornato con le indicazioni della validazione dell'Amministrazione Difesa (AD) sul corretto svolgimento del servizio di bonifica bellica. A tale scopo il rilievo dovrà indicare, per ogni area, in una apposita tabella o registro tabellare collegato il tipo di bonifica bellica eseguita (superficiale, profonda, subacquea, ecc.), la relativa quantità, i riferimento all'istanza per il rilascio del Parere vincolante con la relativa autorizzazione e il riferimento delle indicazioni della validazione dell'Amministrazione Difesa (AD).

57.7.2 Prove in capo alla Direzione Lavori

Non sono previste prove di laboratorio in capo alla Direzione Lavori.