

---

# **CAPITOLATO SPECIALE D'APPALTO**

## **PER LA MANUTENZIONE STRAORDINARIA DELLE**

## **PAVIMENTAZIONI STRADALI**



in collaborazione con



**Centro di Ricerca e Didattica ERMES**  
**Università degli Studi della Repubblica di San Marino**  
**Corso di Laurea in Ingegneria Civile**

Riccione, 23/10/2022

Responsabile procedimento	Area G.I.T.	Data	Firma Ing. Itamar Sarti
Approvazione	Presidenza	Data	Firma Dott.



Questo documento è distribuito con Licenza Creative Commons Attribuzione - Non commerciale - Condividi allo stesso modo 4.0 Internazionale.

Creative Commons [CC BY NC SA 4.0] permette di modificare, creare documenti derivati e sviluppare il documento purché a scopi non commerciali, sia citata l'origine ([www.unirsm.sm/centro-ermes](http://www.unirsm.sm/centro-ermes)) e sia indicato se sono state fatte delle modifiche. Dettaglio su: <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

# Indice

1	Criteri generali .....	12
1.1	Materiali .....	12
1.2	Certificati di prequalifica e relative penali.....	13
1.3	Controllo qualità .....	13
1.4	Non conformità e relative penali.....	14
2	Strato di usura.....	15
2.1	Conglomerato bituminoso a caldo tipo usura con 30% di aggregati non carbonatici .....	16
2.1.1	Aggregati.....	16
2.1.2	Additivi.....	17
2.1.3	Bitume .....	18
2.1.4	Miscela di progetto.....	18
2.1.5	Produzione della miscela .....	20
2.1.6	Preparazione della superficie di stesa .....	21
2.1.7	Posa in opera della miscela .....	21
2.1.8	Controlli .....	23
2.1.9	Penali .....	24
2.2	Conglomerato bituminoso a caldo tipo usura con aggregati calcarei.....	27
2.2.1	Aggregati.....	27
2.2.2	Additivi.....	28
2.2.3	Bitume .....	29
2.2.4	Miscela di progetto.....	29
2.2.5	Produzione della miscela .....	31
2.2.6	Preparazione della superficie di stesa .....	31
2.2.7	Posa in opera della miscela .....	32
2.2.8	Controlli .....	33
2.2.9	Penali .....	34
2.3	Conglomerato bituminoso a caldo tipo usura con 30% di aggregati non carbonatici e bitume modificato .....	36
2.3.1	Aggregati.....	36
2.3.2	Additivi.....	38
2.3.3	Bitume modificato .....	38
2.3.4	Miscela di progetto.....	39
2.3.5	Produzione della miscela .....	40
2.3.6	Preparazione della superficie di stesa .....	41

2.3.7	Posa in opera della miscela .....	41
2.3.8	Controlli .....	43
2.3.9	Penali .....	44
3	Strato di binder a caldo.....	47
3.1	Conglomerato bituminoso a caldo tipo binder tradizionale .....	48
3.1.1	Aggregati.....	48
3.1.2	Additivi.....	49
3.1.3	Bitume .....	50
3.1.4	Miscela di progetto.....	50
3.1.5	Produzione della miscela .....	52
3.1.6	Preparazione della superficie di stesa .....	52
3.1.7	Posa in opera della miscela .....	53
3.1.8	Controlli .....	54
3.1.9	Penali .....	55
3.2	Conglomerato bituminoso a caldo tipo binder con bitume modificato.....	58
3.2.1	Aggregati.....	58
3.2.2	Additivi.....	59
3.2.3	Bitume modificato .....	60
3.2.4	Miscela di progetto.....	61
3.2.5	Produzione della miscela .....	62
3.2.6	Preparazione della superficie di stesa .....	63
3.2.7	Posa in opera della miscela .....	63
3.2.8	Controlli .....	65
3.2.9	Penali .....	66
3.3	Conglomerato bituminoso con riciclaggio a caldo tipo binder.....	68
3.3.1	Aggregati.....	68
3.3.2	Conglomerato bituminoso di recupero .....	69
3.3.3	Additivi per riciclaggio a caldo .....	70
3.3.4	Additivi.....	71
3.3.5	Bitume .....	71
3.3.6	Miscela di progetto.....	72
3.3.7	Produzione della miscela .....	73
3.3.8	Preparazione della superficie di stesa .....	74
3.3.9	Posa in opera della miscela .....	74
3.3.10	Controlli .....	76

3.3.11	Penali .....	77
4	Strato di binder o base a freddo .....	80
4.1	Conglomerato bituminoso riciclato a freddo in impianto per viabilità principale .....	81
4.1.1	Aggregati.....	81
4.1.2	Conglomerato bituminoso di recupero .....	82
4.1.3	Emulsione di bitume modificato per riciclaggio a freddo in impianto .....	83
4.1.4	Cemento .....	84
4.1.5	Calce .....	84
4.1.6	Acqua .....	84
4.1.7	Miscela di progetto.....	84
4.1.8	Produzione della miscela .....	87
4.1.9	Preparazione della superficie di stesa .....	88
4.1.10	Posa in opera della miscela .....	88
4.1.11	Controlli .....	89
4.1.12	Penali .....	91
4.2	Conglomerato bituminoso riciclato a freddo in impianto per viabilità secondaria e locale .....	94
4.2.1	Aggregati.....	94
4.2.2	Conglomerato bituminoso di recupero .....	95
4.2.3	Emulsione di bitume modificato per riciclaggio a freddo in impianto .....	96
4.2.4	Cemento .....	97
4.2.5	Calce .....	97
4.2.6	Acqua .....	97
4.2.7	Miscela di progetto.....	97
4.2.8	Produzione della miscela .....	100
4.2.9	Preparazione della superficie di stesa .....	100
4.2.10	Posa in opera della miscela .....	101
4.2.11	Controlli .....	103
4.2.12	Penali .....	104
5	Misto cementato prodotto in impianto e materiali stabilizzati con calce e cemento in situ .....	107
5.1	Misto cementato prodotto in impianto con aggregati vergini.....	108
5.1.1	Aggregati.....	108
5.1.2	Cemento .....	109
5.1.3	Acqua .....	109
5.1.4	Miscela di progetto.....	109
5.1.5	Produzione della miscela .....	111

5.1.6	Preparazione della superficie di stesa .....	112
5.1.7	Posa in opera della miscela .....	112
5.1.8	Controlli .....	113
5.1.9	Penali .....	115
5.2	Misto cementato prodotto in impianto con aggregati di recupero .....	117
5.2.1	Aggregati vergini.....	117
5.2.2	Aggregati di recupero .....	118
5.2.3	Cemento .....	119
5.2.4	Acqua .....	119
5.2.5	Miscela di progetto.....	119
5.2.6	Produzione della miscela .....	122
5.2.7	Preparazione della superficie di stesa .....	122
5.2.8	Posa in opera della miscela .....	122
5.2.9	Controlli .....	124
5.2.10	Penali .....	125
5.3	Terra o materiali stabilizzati in situ con cemento o calce e cemento .....	128
5.3.1	Cemento .....	128
5.3.2	Calce .....	128
5.3.3	Acqua .....	129
5.3.4	Miscela di progetto.....	129
5.3.5	Posa in opera .....	130
5.3.6	Controlli .....	131
5.3.7	Penali .....	132
6	Misto granulare.....	135
6.1	Misto granulare con aggregati vergini.....	136
6.1.1	Aggregati.....	136
6.1.2	Miscela di progetto.....	136
6.1.3	Preparazione della superficie di stesa .....	137
6.1.4	Posa in opera della miscela .....	137
6.1.5	Controlli .....	138
6.1.6	Penali .....	138
6.2	Misto granulare con aggregati di recupero .....	141
6.2.1	Aggregati vergini.....	141
6.2.2	Aggregati di recupero .....	142
6.2.3	Miscela di progetto.....	142

6.2.4	Preparazione della superficie di stesa .....	143
6.2.5	Posa in opera della miscela .....	144
6.2.6	Controlli .....	144
6.2.7	Penali .....	145
7	Strato anticapillare e drenante .....	147
7.1	Materiale arido per strato anticapillare e drenante.....	148
7.1.1	Aggregati.....	148
7.1.2	Posa in opera .....	148
7.1.3	Controlli .....	149
7.1.4	Penali .....	149
8	Applicazioni superficiali .....	151
8.1	Depolverizzazione con tre strati .....	152
8.1.1	Aggregati.....	152
8.1.2	Emulsione bituminosa .....	154
8.1.3	Preparazione del piano di posa .....	155
8.1.4	Equipaggiamento.....	155
8.1.5	Esecuzione della depolverizzazione.....	156
8.1.6	Controlli .....	156
8.1.7	Penali .....	157
8.2	Microtappeto a freddo .....	159
8.2.1	Aggregati.....	159
8.2.2	Emulsione di bitume modificato.....	160
8.2.3	Cemento .....	161
8.2.4	Miscela di progetto.....	161
8.2.5	Preparazione della superficie di stesa .....	163
8.2.6	Posa in opera della miscela .....	163
8.2.7	Controlli .....	164
8.2.8	Penali .....	165
9	Sistemi all'interfaccia .....	167
9.1	Impregnazione.....	168
9.1.1	Emulsione bituminosa a rottura lenta.....	168
9.1.2	Posa in opera dell'impregnazione .....	168
9.1.3	Controlli .....	169
9.1.4	Penali .....	169
9.2	Mano d'attacco.....	170

9.2.1	Emulsione bituminosa a rottura rapida.....	170
9.2.2	Posa in opera della mano d'attacco .....	171
9.2.3	Controlli .....	171
9.2.4	Penali .....	171
9.3	Geocomposito con rete o tessuto in fibra di vetro .....	173
9.3.1	Preparazione e posa in opera del geocomposito .....	174
9.3.2	Controlli .....	174
9.3.3	Penali .....	174
9.4	Geotessile non tessuto .....	175
9.4.1	Preparazione e posa in opera del geotessile non tessuto.....	175
9.4.2	Controlli .....	176
9.4.3	Penali .....	176
9.5	Geogriglia.....	177
9.5.1	Preparazione e posa in opera della geogriglia.....	177
9.5.2	Controlli .....	178
9.5.3	Penali .....	178
10	Sigillatura delle fessure .....	179
10.1	Sigillatura a caldo delle fessure .....	180
10.1.1	Mastice di bitume modificato con elastomeri.....	180
10.1.2	Aggregati per saturazione .....	180
10.1.3	Preparazione e posa .....	181
10.1.4	Controlli .....	181
10.1.5	Penali .....	181
10.2	Sigillatura a freddo delle fessure .....	182
10.2.1	Legante bicomponente.....	182
10.2.2	Aggregati per saturazione .....	182
10.2.3	Preparazione e posa .....	183
10.2.4	Controlli .....	183
10.2.5	Penali .....	183

# Indice delle tabelle

Tabella 1. Caratteristiche dell'aggregato grosso non carbonatica per conglomerato bituminoso a caldo tipo usura .....	16
Tabella 2. Caratteristiche dell'aggregato grosso addizionale (calcareo) per conglomerato bituminoso a caldo tipo usura.....	17
Tabella 3. Caratteristiche dell'aggregato fine per conglomerato bituminoso a caldo tipo usura.....	17
Tabella 4. Caratteristiche del filler per conglomerato bituminoso a caldo tipo usura.....	17
Tabella 5. Caratteristiche del bitume tradizionale .....	18
Tabella 6. Fuso di progetto e intervallo del contenuto di bitume per conglomerato bituminoso a caldo tipo usura .....	19
Tabella 7. Caratteristiche della miscela di progetto per conglomerato bituminoso a caldo tipo usura .....	20
Tabella 8. Controlli da eseguire per il conglomerato bituminoso di tipo usura con 30% di aggregati non carbonatici.....	23
Tabella 9. Caratteristiche dell'aggregato grosso di origine calcarea per conglomerato bituminoso a caldo tipo usura .....	27
Tabella 10. Caratteristiche dell'aggregato fine per conglomerato bituminoso a caldo tipo usura.....	28
Tabella 11. Caratteristiche del filler per conglomerato bituminoso a caldo tipo usura.....	28
Tabella 12. Caratteristiche del bitume tradizionale .....	29
Tabella 13. Fuso di progetto e intervallo del contenuto di bitume per conglomerato bituminoso a caldo tipo usura .....	29
Tabella 14. Caratteristiche della miscela di progetto per conglomerato bituminoso a caldo tipo usura .....	30
Tabella 15: Controlli da eseguire per il conglomerato bituminoso tipo usura con aggregati calcarei.....	33
Tabella 16. Caratteristiche dell'aggregato grosso non carbonatica per conglomerato bituminoso a caldo tipo usura .....	37
Tabella 17. Caratteristiche dell'aggregato grosso addizionale (origine calcarea) per conglomerato bituminoso a caldo tipo usura .....	37
Tabella 18. Caratteristiche dell'aggregato fine per conglomerato bituminoso a caldo tipo usura.....	37
Tabella 19. Caratteristiche del filler per conglomerato bituminoso a caldo tipo usura.....	37
Tabella 20. Caratteristiche del bitume modificato per conglomerato bituminoso a caldo tipo usura .....	38
Tabella 21. Fuso di progetto e intervallo del contenuto di bitume per conglomerato bituminoso a caldo tipo usura .....	39
Tabella 22. Caratteristiche della miscela di progetto per conglomerato bituminoso a caldo tipo usura .....	40
Tabella 23. Controlli per il conglomerato bituminoso di tipo usura con 30% di aggregati non carbonatici e bitume modificato .....	43

Tabella 24. Caratteristiche dell'aggregato grosso .....	48
Tabella 25. Caratteristiche dell'aggregato fine .....	49
Tabella 26. Caratteristiche del filler.....	49
Tabella 27. Caratteristiche del bitume tradizionale .....	50
Tabella 28. Fuso di progetto e intervallo del contenuto di bitume.....	50
Tabella 29. Caratteristiche della miscela di progetto.....	51
Tabella 30. Controlli da eseguire per il conglomerato bituminoso di tipo binder tradizionale .....	54
Tabella 31. Caratteristiche dell'aggregato grosso per bituminoso a caldo tipo binder con bitume modificato	
59	
Tabella 32. Caratteristiche dell'aggregato fine per conglomerato bituminoso a caldo tipo binder con bitume modificato.....	59
Tabella 33. Caratteristiche del filler per conglomerato bituminoso a caldo tipo binder con bitume modificato	
59	
Tabella 34. Caratteristiche del bitume modificato .....	60
Tabella 35. Fuso di progetto e intervallo del contenuto di bitume modificato .....	61
Tabella 36. Caratteristiche della miscela di progetto.....	62
Tabella 37. Controlli da eseguire per il conglomerato bituminoso di tipo binder con bitume modificato....	65
Tabella 38. Caratteristiche dell'aggregato grosso per conglomerato bituminoso con riciclaggio a caldo tipo binder .....	68
Tabella 39. Caratteristiche dell'aggregato fine per conglomerato bituminoso con riciclaggio a caldo tipo binder .....	69
Tabella 40. Caratteristiche del filler per conglomerato bituminoso con riciclaggio a caldo tipo binder .....	69
Tabella 41. Caratteristiche del bitume tradizionale .....	71
Tabella 42. Fuso di progetto e intervallo del contenuto di bitume per conglomerato bituminoso con riciclaggio a caldo tipo binder.....	72
Tabella 43. Caratteristiche della miscela di progetto per conglomerato bituminoso con riciclaggio a caldo tipo binder .....	73
Tabella 44. Controlli da eseguire per il conglomerato bituminoso con riciclaggio a caldo tipo binder .....	76
Tabella 45. Caratteristiche dell'aggregato grosso per conglomerato bituminoso riciclato a freddo.....	81
Tabella 46. Caratteristiche dell'aggregato fine per conglomerato bituminoso riciclato a freddo .....	82
Tabella 47. Caratteristiche del filler per conglomerato bituminoso riciclato a freddo .....	82
Tabella 48. Caratteristiche dell'emulsione di bitume modificato per riciclaggio a freddo in impianto .....	83
Tabella 49. Fuso granulometrico in funzione della dimensione massima per il conglomerato bituminoso riciclato a freddo in impianto .....	85
Tabella 50. Caratteristiche della miscela di progetto per il conglomerato bituminoso riciclato a freddo in impianto .....	86

Tabella 51. Controlli da eseguire per il conglomerato bituminoso riciclato a freddo in impianto .....	90
Tabella 52. Caratteristiche dell'aggregato grosso per conglomerato bituminoso riciclato a freddo in impianto	94
Tabella 53. Caratteristiche dell'aggregato fine per conglomerato bituminoso riciclato a freddo in impianto	95
Tabella 54. Caratteristiche del filler per conglomerato bituminoso riciclato a freddo in impianto.....	95
Tabella 55. Caratteristiche dell'emulsione di bitume modificato per riciclaggio a freddo in impianto.....	96
Tabella 56. Fuso granulometrico in funzione della dimensione massima per il conglomerato bituminoso riciclato a freddo in impianto .....	98
Tabella 57. Caratteristiche della miscela di progetto per il conglomerato bituminoso riciclato a freddo in impianto .....	99
Tabella 58. Controlli da eseguire per il conglomerato bituminoso riciclato a freddo in impianto .....	103
Tabella 59. Caratteristiche dell'aggregato grosso per il misto cementato prodotto in impianto.....	108
Tabella 60. Caratteristiche dell'aggregato fine per isto cementato prodotto in impianto .....	108
Tabella 61. Fuso granulometrico in funzione della dimensione massima per il misto cementato prodotto in impianto .....	110
Tabella 62. Caratteristiche della miscela di progetto per il misto cementato prodotto in impianto .....	111
Tabella 63. Controlli da eseguire per il conglomerato bituminoso riciclato a freddo in impianto .....	114
Tabella 64. Caratteristiche dell'aggregato grosso per il misto cementato prodotto in impianto.....	117
Tabella 65. Caratteristiche dell'aggregato fine per misto cementato prodotto in impianto .....	118
Tabella 66. Fuso granulometrico in funzione della dimensione massima per il misto cementato prodotto in impianto .....	120
Tabella 67. Caratteristiche della miscela di progetto per il misto cementato prodotto in impianto .....	121
Tabella 68. Controlli da eseguire per il misto cementato in impianto .....	124
Tabella 69. Caratteristiche di progetto della miscela stabilizzata in situ .....	130
Tabella 70. Controlli da eseguire per la miscela stabilizzata in situ .....	131
Tabella 71. Caratteristiche dell'aggregato in frazione unica per il misto granulare stabilizzato .....	136
Tabella 72. Caratteristiche della miscela di progetto per il misto cementato prodotto in impianto .....	137
Tabella 73. Controlli da eseguire per il conglomerato bituminoso riciclato a freddo in impianto .....	138
Tabella 74. Caratteristiche dell'aggregato in frazione unica per il misto granulare stabilizzato .....	141
Tabella 75. Caratteristiche della miscela di progetto per il misto cementato prodotto in impianto .....	143
Tabella 76. Controlli da eseguire per il misto granulare stabilizzato con aggregati di recupero .....	144
Tabella 77. Caratteristiche dell'aggregato in frazione unica per strato anticapillare .....	148
Tabella 78. Controlli da eseguire per strato anticapillare .....	149
Tabella 79. Caratteristiche dell'aggregato in frazione unica per fondazione o risagomatura .....	153
Tabella 80. Caratteristiche dell'aggregato per depolverizzazione .....	153

Tabella 81. Aggregati e dosaggi per la depolverizzazione .....	153
Tabella 82. Caratteristiche dell'emulsione bituminosa per impregnazione.....	154
Tabella 83. Caratteristiche dell'emulsione bituminosa per depolverizzazione.....	154
Tabella 84. Caratteristiche dell'emulsione di bitume modificato per depolverizzazione .....	154
Tabella 85. Emulsioni e dosaggi per la depolverizzazione.....	155
Tabella 86. Controlli per la depolverizzazione.....	156
Tabella 87. Caratteristiche dell'aggregato grosso per microtappeto a freddo .....	159
Tabella 88. Caratteristiche dell'aggregato fine per microtappeto a freddo .....	160
Tabella 89. Caratteristiche del filler per microtappeto a freddo.....	160
Tabella 90. Caratteristiche dell'emulsione di bitume modificato per microtappeto a freddo .....	161
Tabella 91. Fuso di progetto, intervallo del contenuto di bitume e dosaggio di miscela per microtappeto a freddo .....	162
Tabella 92. Prestazione della miscela per microtappeto a freddo.....	162
Tabella 93. Controlli per il microtappeto a freddo .....	164
Tabella 94. Caratteristiche dell'emulsione bituminosa per impregnazione.....	168
Tabella 95. Controlli da eseguire per l'impregnazione.....	169
Tabella 96. Caratteristiche dell'emulsione bituminosa per mano d'attacco .....	170
Tabella 97. Caratteristiche dell'emulsione di bitume modificato per mano d'attacco .....	170
Tabella 98. Controlli da eseguire per la mano d'attacco.....	171
Tabella 99. Caratteristiche del geocomposito con rete in fibra di vetro.....	173
Tabella 100. Caratteristiche richieste per il geotessuto .....	175
Tabella 101. Prescrizioni per la geogriglia in fibra di vetro .....	177
Tabella 102. Caratteristiche del mastice di bitume modificato con elastomeri per sigillatura a caldo .....	180
Tabella 103. Caratteristiche dell'aggregati per la saturazione del legante di sigillatura .....	181
Tabella 104. Caratteristiche del legante bicomponente per sigillatura a freddo.....	182
Tabella 105. Caratteristiche dell'aggregati per la saturazione del legante di sigillatura .....	183

# 1 Criteri generali

Il Capitolato Speciale d'Appalto per la Manutenzione Straordinaria delle Pavimentazioni Stradali riporta i riferimenti operativi e prestazionali dei materiali da costruzione per le pavimentazioni stradali della rete viaria del Comune di Riccione. Il Capitolato Speciale d'Appalto per la Manutenzione Straordinaria delle Pavimentazioni Stradali disciplina, inoltre, la presentazione e l'approvazione dei documenti di prequalifica e il controllo qualità sulle opere.

Ogni articolo descrive il prodotto a partire dai materiali costituenti (natura e prestazioni) e dalla miscela di progetto (composizione e prestazioni), per poi passare alle fasi operative di produzione, preparazione della superficie di stesa, posa in opera ed infine concludere con i controlli di qualità e le penali in caso di non conformità.

Tutti i materiali devono rispettare la Legislaione Nazionale vigente.

## 1.1 Materiali

Parallelamente ai materiali tradizionali, sono trattati:

- materiali ad alte prestazioni come i conglomerati bituminosi per strato di usura e binder con bitume modificato con elastomeri Stirene-Butadiene-Stirene (SBS) particolarmente indicati su strade ad alto volume di traffico e soggette a forti variazioni termiche e i geosintetici da impiegare in specifiche situazioni localizzate;
- materiali alternativi come il conglomerato bituminoso tipo binder con riciclaggio a caldo per il quale non si prescrive un quantitativo massimo di conglomerato bituminoso di recupero ma se ne disciplina una accurata gestione e il controllo delle prestazioni;
- materiali ecosostenibili come il conglomerato bituminoso riciclato a freddo, il misto cementato con aggregati di recupero, la stabilizzazione in situ e i trattamenti superficiali a freddo. In particolare, il conglomerato bituminoso riciclato a freddo è prodotto e steso a temperatura ambiente, abbattendo drasticamente i consumi energetici e le emissioni, nonché composto da conglomerato bituminoso di recupero in sostituzione, fino al 100%, degli aggregati vergini di cava, con notevoli vantaggi sia per la tutela delle risorse naturali che della gestione degli stoccati in discarica. Le stabilizzazioni in situ aggiungono, ai menzionati vantaggi relativi al riciclaggio dei materiali e alla produzione senza riscaldamento, l'eliminazione della fase di trasporto materiali. Mentre, i trattamenti superficiali a freddo risultano spesso una valida alternativa al conglomerato bituminoso tradizionale a caldo per strato di usura in quanto permettono di operare in maniera speditiva e a temperatura ambiente con notevoli vantaggi sia della gestione del cantiere e che dell'impatto ambientale.

Nel caso in cui non sia comprovata l'esperienza del produttore per i materiali definiti come alternativi ed ecosostenibili, la Direzione Lavori si riserva la possibilità di richiedere e coordinare una verifica in campo prova esterno al cantiere di progetto a spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto. Il campo prova deve avere una dimensione minima di 350 m<sup>2</sup> (100 m × 3,50 m) per permettere la simulazione del cantiere in avanzamento e la stabilità di produzione dell'impianto. Per lo spessore dello strato si fa riferimento al progetto specifico e comunque la produzione della miscela da validare non deve essere inferiore a 90 t.

Ogni materiale (materiale costituente o prodotto) deve essere qualificato in conformità al regolamento UE 305/2011 sui prodotti da costruzione e accompagnato da Dichiarazione di Prestazione (DoP e marcatura CE) nel rispetto della relativa norma europea armonizzata.

Una volta accettati i materiali da parte della Direzione Lavori, l'Impresa aggiudicataria dell'appalto, è vincolata al loro rigoroso utilizzo nel rispetto delle tolleranze riportate nel paragrafo "penali".

## 1.2 Certificati di prequalifica e relative penali

L'Impresa aggiudicataria dell'appalto deve consegnare i certificati di prequalifica dei materiali alla Direzione Lavori entro e non oltre 5 giorni naturali consecutivi dalla firma del contratto. Nel caso in cui le rispettive Dichiarazioni di Prestazione (DoP e marcature CE) non riportino tutti i parametri richiesti dal Capitolato Speciale d'Appalto per la Manutenzione Straordinaria di Pavimentazioni Stradali, la Direzione Lavori si riserva di richiedere, ove reputa necessario, un'integrazione della documentazione con certificati di prova attestanti i requisiti previsti. Tale documentazione è valutata dalla Direzione Lavori che si riserva, entro 5 giorni lavorativi, di accettare i materiali o, nel caso di non conformità ai requisiti del Capitolato Speciale d'Appalto per la Manutenzione Straordinaria di Pavimentazioni Stradali, di richiedere eventuali modifiche.

Nel caso in cui non sia stato definito un progetto specifico al momento della firma del contratto, la fase di consegna dei certificati di prequalifica trasla al momento in cui il Committente formalizza il progetto.

Non sono autorizzate lavorazioni che implicano l'utilizzo di prodotti non provvisti di documenti di prequalifica accettati formalmente dalla Direzione Lavori pena la loro rimozione a cura e spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto.

La mancata consegna o la consegna parziale dei certificati di prequalifica da parte dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto comporta l'applicazione di una penale pari al 5% del prezzo (al netto dello sconto) delle lavorazioni nelle quali è impiegato il materiale oggetto della suddetta prequalifica.

Eventuali lievi non conformità dei materiali costituenti o dei processi produttivi possono essere comunque accettati, a discrezione della Direzione Lavori, a patto che sia sempre e inequivocabilmente garantita la prestazione del prodotto e della pavimentazione.

Resta salva la facoltà della Direzione Lavori di verificare con controlli di accettazione i requisiti dichiarati dal produttore.

Una volta accettati i prodotti da parte della Direzione Lavori, l'Impresa aggiudicataria dell'appalto, è vincolata al loro rigoroso utilizzo nel rispetto delle tolleranze previste nel Capitolato Speciale d'Appalto per la Manutenzione Straordinaria delle Pavimentazioni Stradali.

## 1.3 Controllo qualità

L'Impresa aggiudicataria dell'appalto è tenuta a sostenere le spese di controllo qualità per una somma quantificata nel 1,5% dell'importo dell'appalto al netto degli oneri per la sicurezza. Le spese di controllo qualità comprendono tutte le verifiche di qualifica e in corso d'opera relative a prove di laboratorio sui materiali costituenti, sulle miscele, sui prelievi, sulle carote estratte dalla pavimentazione e sulla superficie dello strato finito, noleggi a caldo o a freddo, trasferte e ogni qualsiasi altro onere al fine del completo adempimento del processo di controllo qualità. La stazione appaltante seleziona autonomamente il

laboratorio a servizio dell'appalto e gestisce in maniera sistematica la fase di controllo qualità secondo quanto stabilito dal Capitolato Speciale d'Appalto per la Manutenzione Straordinaria delle Pavimentazioni Stradali nel rispetto dell'importo massimo di spesa a carico dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto stabilito a base di gara.

#### 1.4 Non conformità e relative penali

Eventuali non conformità evidenziate dalla fase di controllo qualità comportano l'applicazione di penali fino alla rimozione e ricostruzione a cura e spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto così come disciplinato negli specifici paragrafi del Capitolato Speciale d'Appalto per la Manutenzione Straordinaria delle Pavimentazioni Stradali.

Le penali relative alla prequalifica e/o alle non conformità sono applicate come decurtazione diretta dagli Stati di Avanzamento Lavori (SAL) emessi dalla Stazione Appaltante.

Le penali sono cumulabili.



Capitolato Speciale d'Appalto per la Manutenzione  
Straordinaria di Pavimentazioni Stradali  
Versione 23-10-2022

GEAT s.r.l.

Sede legale:

Viale Lombardia 17 – 47838 Riccione (RN)

tel.: 0541/668011 - fax: 0541/643613

PEC: geat@legal-pec.it - www.geat.it

## 2 Strato di usura

## 2.1 Conglomerato bituminoso a caldo tipo usura con 30% di aggregati non carbonatici

**Elenco prezzi: AC08 NV 1; AC12 oppure AC14 NV 2.**

Il conglomerato bituminoso a caldo tipo usura con 30% di aggregati non carbonatici (percentuale espressa in volume sulla miscela di inerti) è costituito da una miscela di inerti vergini (pietrischi, graniglie, sabbie e filler), eventuali additivi, impastata con bitume a caldo in impianti di tipo fisso automatizzati. È ammesso l'uso di conglomerato bituminoso di recupero fino al 10% in peso sulla miscela totale nel rispetto della norma UNI EN 13108-8 e UNI/TS 11688. Il conglomerato bituminoso a caldo tipo usura con 30% di aggregati non carbonatici è posto in opera mediante macchina vibrofinitrice e subito costipato tramite rulli. La miscela impiegata deve essere qualificata in conformità al regolamento Ue 305/2011 sui prodotti da costruzione. L'Impresa aggiudicataria dell'appalto deve consegnare alla Direzione Lavori i dosaggi di tutti i componenti usati per il conglomerato bituminoso.

Ciascuna fornitura dovrà essere accompagnata dal documento di trasporto e dalla marcatura CE, attestante la conformità all'appendice ZA della norma europea armonizzata UNI EN 13108-1, da consegnare al momento della consegna in cantiere. Una volta accettato il conglomerato bituminoso da parte della Direzione Lavori, l'Impresa aggiudicataria dell'appalto, è vincolata al rigoroso utilizzo di tutte le sue componenti nel rispetto delle tolleranze riportate nel paragrafo 2.1.9 (Penali).

### 2.1.1 Aggregati

Gli aggregati lapidei costituiscono la matrice litica del conglomerato bituminoso (percentuale espressa in volume sulla miscela di inerti) e sono composti da aggregati grossi, fini e filler proveniente dalla frazione fina (filler di recupero) 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). L'aggregato grosso ( $D \leq 45$  mm;  $d \geq 2$  mm) può essere di provenienza o natura petrografica diversa purché, per almeno il 30% in volume sulla miscela totale degli aggregati, risultino soddisfatti i requisiti indicati nella Tabella 1. La designazione dell'aggregato grosso deve essere effettuata mediante le dimensioni dei setacci appartenenti al gruppo di base, più gruppo 2 della UNI EN 13043.

Parametro	Metodo di prova	Unità di misura	Valori richiesti	Categoria UNI EN 13043
Resistenza alla frammentazione	UNI EN 1097-2	[%]	$\leq 20$	LA <sub>20</sub>
Percentuale di particelle frantumate	UNI EN 933-5	[%]	100	C <sub>100/0</sub>
Passante allo staccio 0,063 mm	UNI EN 933-1	[%]	$\leq 2$	f <sub>2</sub>
Resistenza al gelo e disgelo	UNI EN 1367-1	[%]	$\leq 1$	F <sub>1</sub>
Coefficiente di appiattimento	UNI EN 933-3	[%]	$\leq 15$	FI <sub>15</sub>
Coefficiente di forma	UNI EN 933-4	[%]	$\leq 15$	SI <sub>15</sub>
Resistenza alla levigabilità	UNI EN 1097-8	[-]	$\geq 50$	PSV <sub>50</sub>
Assorbimento d'acqua	UNI EN 1097-6	[%]	$\leq 2$	WA <sub>242</sub>

*Tabella 1. Caratteristiche dell'aggregato grosso non carbonatica per conglomerato bituminoso a caldo tipo usura*

Nel caso in cui, per la produzione del conglomerato sia necessario un ulteriore apporto di aggregato grosso, esso può essere di provenienza o natura petrografica diversa purché risultino soddisfatti i requisiti indicati

nella Tabella 2. La designazione dell'aggregato grosso addizionale deve essere effettuata mediante le dimensioni dei setacci appartenenti al gruppo di base, più gruppo 2 della UNI EN 13043.

Parametro	Metodo di prova	Unità di misura	Valori richiesti	Categoria UNI EN 13043
Resistenza alla frammentazione	UNI EN 1097-2	[%]	≤ 25	LA <sub>25</sub>
Percentuale di particelle frantumate	UNI EN 933-5	[%]	100	C <sub>100/0</sub>
Passante allo staccio 0,063 mm	UNI EN 933-1	[%]	≤ 2	f <sub>2</sub>
Resistenza al gelo e disgelo	UNI EN 1367-1	[%]	≤ 1	F <sub>1</sub>
Coefficiente di appiattimento	UNI EN 933-3	[%]	≤ 25	FI <sub>25</sub>
Coefficiente di forma	UNI EN 933-4	[%]	≤ 25	SI <sub>25</sub>
Assorbimento d'acqua	UNI EN 1097-6	[%]	≤ 2	WA <sub>242</sub>

Tabella 2. Caratteristiche dell'aggregato grosso addizionale (calcareo) per conglomerato bituminoso a caldo tipo usura

L'aggregato fine ( $D \leq 2$  mm;  $d = 0$  mm) deve essere costituito esclusivamente da sabbie di frantumazione e potrà essere di provenienza o natura petrografica diversa purché, per ogni tipologia, risultino soddisfatti i requisiti indicati nella Tabella 3. Per motivi di congruenza con le pezzature fini attualmente prodotte in Italia, è permesso l'impiego come aggregato fine anche di aggregati in frazione unica con dimensione massima  $D = 4$  mm. La designazione dell'aggregato fine dovrà essere effettuata mediante le dimensioni dei setacci appartenenti al gruppo di base, più gruppo 2 della UNI EN 13043.

Parametro	Metodo di prova	Unità di misura	Valori richiesti	Categoria UNI EN 13043
Equivalente in sabbia	UNI EN 933-8	[%]	≥ 70	SE <sub>70</sub>
Indice di plasticità	UNI CEN ISO/TS 17892-12	-	Non plastico	-
Passante allo staccio 0,063 mm	UNI EN 933-1	[%]	≤ 5	f <sub>5</sub>

Tabella 3. Caratteristiche dell'aggregato fine per conglomerato bituminoso a caldo tipo usura

Il filler, frazione per la maggior parte passante allo staccio 0,063 mm, può essere costituito da polvere di roccia preferibilmente calcarea, da cemento, calce idrata, calce idraulica, ceneri volanti. Il filler deve inoltre soddisfare i requisiti indicati in Tabella 4. La granulometria del filler deve essere conforme a quella prevista della norma UNI EN 13043.

Parametro	Metodo di prova	Unità di misura	Valori richiesti	Categoria UNI EN 13043
Indice di plasticità	UNI CEN ISO/TS 17892-12	-	Non plastico	-
Porosità del filler secco compattato (Rigden)	UNI EN 1097-4	[%]	≥ 38	V <sub>38/45</sub>
Passante al setaccio 0,063 mm	-	[%]	≥ 70	-
Stiffening Power	UNI EN 13179-1	[°C]	8 ÷ 25	Δ <sub>R&amp;B</sub> 8/25

Tabella 4. Caratteristiche del filler per conglomerato bituminoso a caldo tipo usura

Il paragrafo 1.2 (Certificati di prequalifica e relative penali) specifica le modalità di presentazione e accettazione della documentazione di qualifica.

### 2.1.2 Additivi

Gli additivi come attivanti d'adesione costituiti da sostanze tensioattive o calce che favoriscono l'adesione bitume-aggregato possono essere impiegati nel conglomerato bituminoso, per migliorare la durabilità all'acqua.

La scelta del tipo e del dosaggio di additivo deve essere stabilita in modo da garantire le caratteristiche di resistenza allo spogliamento e di durabilità all'azione dell'acqua richieste per la miscela.

L'Impresa aggiudicataria dell'appalto è tenuta a presentare alla Direzione Lavori la scheda tecnica e di sicurezza dell'additivo per l'identificazione delle proprie caratteristiche e le modalità di impiego. Inoltre, si deve riportare, in apposito certificato rilasciato da un laboratorio conto terzi o dal produttore, lo spettro infrarosso dell'additivo, acquisito in trasmissione tramite Spettrometro Infrarosso (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FT-IR*) nell'intervallo delle frequenze tra 4000 e 400 cm<sup>-1</sup>, indicando le bande caratteristiche del prodotto e quelle individuabili nella miscela bitume-additivo. L'attivante di adesione scelto deve presentare caratteristiche chimiche stabili nel tempo anche se sottoposto a temperatura elevata (180°C).

Nel caso dell'utilizzo di calce, l'Impresa aggiudicataria dell'appalto è tenuta a presentare alla Direzione Lavori la marcatura CE della calce secondo la UNI EN 459-1.

Il dosaggio dell'additivo deve essere specificato obbligatoriamente tra le caratteristiche del conglomerato bituminoso.

### 2.1.3 Bitume

Il bitume deve appartenere alle classi di penetrazione 50/70 oppure 70/100, definite dalla UNI EN 12591. La preferenza di impiego, specificata dalla Direzione Lavori in fase di progetto, è per la classe 50/70 per le stagioni più calde, mentre la classe 70/100 è raccomandata nelle stagioni più fredde. Le proprietà dei bitumi ed i relativi metodi di prova sono indicate nella Tabella 5.

Classe del bitume UNI EN 12591			50/70	70/100
Parametro	Metodo di prova	Unità di misura	Valori richiesti	Valori richiesti
Penetrazione a 25°C	UNI EN 1426	[× 0.1 mm]	50 - 70	70 - 100
Punto di rammollimento	UNI EN 1427	[°C]	46 - 54	43 - 51
Punto di rottura (Fraass)	UNI EN 12593	[°C]	≤ - 8	≤ - 10
Viscosità dinamica 160°C	UNI EN 13302	[mPa · s]	50 - 200	50 - 200
Solubilità	UNI EN 12592	[%]	≥ 99	≥ 99
Resistenza all'invecchiamento RTFOT	UNI EN 12607-1			
Variazione di massa	UNI EN 12607-1	[%]	≤ 0,5	≤ 0,8
Penetrazione residua a 25°C	UNI EN 1426	[%]	≥ 50	≥ 46
Variazione della temperatura di rammollimento	UNI EN 1427	[°C]	≤ 11	≤ 11

Tabella 5. Caratteristiche del bitume tradizionale

Il paragrafo 1.2 (Certificati di prequalifica e relative penali) specifica le modalità di presentazione e accettazione della documentazione di qualifica.

### 2.1.4 Miscela di progetto

La miscela degli aggregati da adottare per la produzione del conglomerato bituminoso deve avere una composizione granulometrica contenuta nei fusi riportati in Tabella 6. La percentuale di bitume deve essere compresa nei limiti indicati nella stessa tabella.

I fusi AC14 e AC12 si riferiscono a uno spessore dello strato compreso tra 4 e 5 cm, mentre il fuso AC8 si riferisce a uno spessore dello strato di 3 cm. Il fuso AC 14 è raccomandato per la viabilità principale.

Fuso granulometrico			
Classe di conglomerato bituminoso	AC14	AC12	AC8
Apertura setacci UNI [mm]	Passante totale in peso [%]		
20	100	100	-
14	90 - 100	-	-
12,5	-	90 - 100	100
10	75 - 90	-	-
8	-	72 - 84	90 - 100
6,3	55 - 75	-	75 - 88
4	-	44 - 55	53 - 66
2	25 - 40	26 - 36	30 - 43
0,5	15 - 25	14 - 20	17 - 25
0,25	10 - 20	10 - 15	11 - 17
0,063	5 - 10	6,0 - 10	6,0 - 10
Contenuto di bitume			
Contenuto di bitume riferito alla miscela [%]	4,7 - 5,8	4,7 - 5,8	4,9 - 6,0
Contenuto di bitume riferito agli aggregati [%]	4,9 - 6,2	4,9 - 6,2	5,2 - 6,4
I valori del contenuto di bitume devono essere adeguati agli aggregati utilizzati moltiplicandoli per il fattore: $a = 2,650/\rho_a$ , dove $\rho_a$ è la massa volumica apparente degli aggregati, in Mg/m³ determinata secondo la UNI EN 1097-6.			

Tabella 6. Fuso di progetto e intervallo del contenuto di bitume per conglomerato bituminoso a caldo tipo usura

Le caratteristiche del conglomerato bituminoso devono essere determinate tramite il metodo volumetrico (UNI EN 12697-31, UNI EN 12697-23) e ricavate dalla media di almeno tre campioni considerando un coefficiente di variazione  $\leq 0,15$  (deviazione standard/media).

Secondo il metodo volumetrico (Tabella 7), i provini devono essere compattati mediante compattatore giratorio ad un numero di giri totali  $N_3$ . La densità di ogni provino compattato a  $N_3$  giri deve essere misurata secondo quanto stabilito dalla UNI EN 12697-6 procedura C (massa volumica apparente, provino sigillato  $\rho_{bseal}$ ) e procedura D (massa volumica apparente con metodo geometrico  $\rho_{bdim}$ ). Il rapporto tra densità del provino sigillato  $\rho_{bseal}$  a  $N_3$  giri e densità geometrica del provino  $\rho_{bdim}$  a  $N_3$  giri è usato come fattore correttivo ( $f = \rho_{bseal} / \rho_{bdim}$ ) di tutte le densità geometriche registrate durante il processo di compattazione (densità corretta = densità geometrica  $\times f$ ). La densità corretta e la densità massima teorica  $\rho_m$  (UNI EN 12697-5) sono usate per il calcolo dei vuoti  $V_m$  del provino durante il processo di compattazione. La verifica della percentuale dei vuoti  $V_m$  calcolati secondo la UNI EN 12697-8 deve essere eseguita a tre livelli di compattazione:  $N_1$  (iniziale, post-stesa),  $N_2$  (intermedio, post-rollatura),  $N_3$  (finale, previsionale post-traffico).

I vuoti nell'aggregato minerale VMA e i vuoti riempiti di bitume VFB devono essere calcolati secondo la UNI EN 12697-8 in riferimento al livello di compattazione  $N_2$ . La miscela di progetto deve verificare i requisiti volumetrici e meccanici riportati in Tabella 7. Quando prodotto in laboratorio, il conglomerato bituminoso deve essere confezionato in accordo alla UNI EN 12697-35.

Condizioni di compattazione			
Parametro	Unità di misura	Normativa di riferimento	Valori richiesti
Angolo di rotazione esterno	[°]	SHRP Designation M-002	1,25 ± 0,02
Velocità di rotazione	[rotazioni/min]	UNI EN 12697-31	30
Pressione verticale	[kPa]	UNI EN 12697-31	600
Diametro della fustella	[mm]	UNI EN 12697-31	100
Massa del campione	[kg]	-	1,100
Temperatura di compattazione (conglomerato bituminoso con bitume 50/70 o 70/100)	[°C]	UNI EN 12697-35	temperatura operativa ± 10
Proprietà volumetriche e meccaniche			
Parametro	Unità di misura	Normativa di riferimento	Valori richiesti
V <sub>m</sub> a 10 rotazioni (N <sub>1</sub> )	[%]	UNI EN 12697-8	11 – 15
V <sub>m</sub> a 100 rotazioni (N <sub>2</sub> )	[%]	UNI EN 12697-8	3 – 6
VMA a 100 rotazioni (N <sub>2</sub> )	[%]	UNI EN 12697-8	> 12
VFB a 100 rotazioni (N <sub>2</sub> )	[%]	UNI EN 12697-8	65 – 80
V <sub>m</sub> a 180 rotazioni (N <sub>3</sub> )	[%]	UNI EN 12697-8	> 2
Resistenza a trazione indiretta a 25°C a N <sub>2</sub> (ITS)	[N/mm <sup>2</sup> ]	UNI EN 12697-23	0,75 – 1,50
Coef. Di trazione indiretta <sup>1</sup> a 25°C a N <sub>2</sub> (CTI)	[N/mm <sup>2</sup> ]	-	≥ 70
Sensibilità all'acqua (ITSR)	[%]	UNI EN 12697-12	≥ 80

<sup>1</sup>  $CTI = \frac{\pi \cdot D \cdot ITS}{2 \cdot d_v}$  dove D è il diametro del provino e d<sub>v</sub> è lo schiacciamento verticale registrato in corrispondenza del carico massimo

Tabella 7. Caratteristiche della miscela di progetto per conglomerato bituminoso a caldo tipo usura

Il paragrafo 1.2 (Certificati di prequalifica e relative penali) specifica le modalità di presentazione e accettazione della documentazione di qualifica.

L'Impresa aggiudicataria dell'appalto deve dichiarare l'intervallo di temperatura di stesa del prodotto affinché siano garantite le prestazioni richieste. Il produttore deve inoltre dichiarare la ricetta del conglomerato bituminoso, il dosaggio e il tipo di additivo eventualmente impiegato.

Per progetti con produzione superiore a 4.000 tonnellate, l'Impresa aggiudicataria dell'appalto deve consegnare settimanalmente alla Direzione Lavori i rapporti di prova di granulometria e contenuto di bitume eseguiti ogni 1.000 tonnellate di produzione che potranno essere rilasciati da un laboratorio conto terzi o dal fornitore.

## 2.1.5 Produzione della miscela

Il conglomerato bituminoso è confezionato mediante impianti fissi automatizzati, di idonee caratteristiche, mantenuti sempre perfettamente funzionanti in ogni loro parte.

La produzione di ciascun impianto non deve 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.

L'impianto deve garantire uniformità di produzione ed essere in grado di realizzare una miscela rispondente alle caratteristiche dichiarate di progetto. Ogni impianto deve assicurare il riscaldamento del bitume alla temperatura opportuna a mantenere una viscosità uniforme fino al momento della miscelazione, nonché il perfetto dosaggio sia del bitume che di eventuali additivi.

La zona destinata allo stoccaggio degli inerti deve essere preventivamente e convenientemente scelta per evitare la contaminazione da sostanze argillose e ristagni di acqua che possono compromettere la pulizia degli aggregati. Inoltre, i cumuli delle diverse classi dovranno essere separati tra di loro e l'operazione di

rifornimento nei predosatori eseguita con la massima cura. Si deve far uso di almeno 4 classi di aggregati con predosatori in numero corrispondente alle classi impiegate.

Il tempo di miscelazione è stabilito in funzione delle caratteristiche dell'impianto, in misura tale da permettere un completo ed uniforme rivestimento degli inerti con il legante.

La temperatura degli aggregati e del bitume all'atto della miscelazione deve garantire il raggiungimento delle prestazioni richieste della miscela a seguito della stesa. Per la verifica delle suddette temperature, gli essiccatore, le caldaie e le tramogge degli impianti devono essere muniti di termometri fissi perfettamente funzionanti e periodicamente tarati.

L'umidità degli aggregati all'uscita dell'essiccatore non deve superare lo 0,5% in peso.

### 2.1.6 Preparazione della superficie di stesa

La stesa del conglomerato bituminoso avviene solo dopo che sia stata accertata dalla Direzione Lavori la rispondenza del piano di posa ai requisiti di quota, sagoma, densità e portanza indicati in progetto. Il piano di posa deve risultare perfettamente pulito e privo di ogni residuo di qualsiasi natura.

Prima della realizzazione dello strato in conglomerato bituminoso è necessario preparare la superficie di stesa allo scopo di garantire una adeguata adesione all'interfaccia mediante l'applicazione di una emulsione bituminosa aventi caratteristiche specifiche (UNI EN 13808, UNI/TR 11362).

A seconda che lo strato di supporto sia un misto granulare, misto cementato oppure un conglomerato bituminoso (nuovo, fresato o usurato), la lavorazione corrispondente prende il nome rispettivamente di impregnazione (mano di ancoraggio) e mano d'attacco.

Entrambe le lavorazioni sono dettagliate rispettivamente nei paragrafi 9.1 e 9.2.

### 2.1.7 Posa in opera della miscela

La posa in opera del conglomerato bituminoso è effettuata a mezzo di macchine vibrofinitrici dei tipi approvati dalla Direzione Lavori in perfetto stato di efficienza e dotate di automatismi di autolivellamento. La Direzione Lavori si riserva la facoltà di poter far variare la tecnologia ritenuta non opportuna.

Le vibrofinitrici non devono mai operare a velocità di stesa superiori a 5 m/min e devono comunque lasciare uno strato finito perfettamente sagomato, privo di sgranamenti, fessurazioni, esente da difetti dovuti a segregazione degli elementi litoidi più grossi.

Durante la stesa si deve porre la massima cura alla formazione dei giunti longitudinali e trasversali.

Nel caso di costruzione di due strisciate adiacenti, il giunto longitudinale è preferibilmente ottenuto mediante tempestivo affiancamento di una strisciata alla precedente o con l'impiego di due vibrofinitrici. Qualora ciò non sia possibile, se il bordo risulta danneggiato o arrotondato si deve procedere al taglio verticale (rettifica) con idonea attrezzatura e ad una successiva spruzzatura di emulsione bituminosa cationica a rapida rottura per assicurare la saldatura delle due strisci. Nel caso in cui il nuovo strato sia in adiacenza ad uno strato esistente, prima della stesa si deve provvedere alla rettifica del bordo dello strato esistente e alla spruzzatura con emulsione bituminosa cationica a rapida rottura per assicurare la saldatura della nuova striscia all'esistente.

Il giunto trasversale, di inizio o fine produzione giornaliera o inizio o fine sezione, deve essere realizzato tramite taglio verticale (rettifica) con idonea attrezzatura e ad una successiva spruzzatura di emulsione bituminosa cationica a rapida rottura.

Tutti i giunti devono essere sigillati dopo la compattazione tramite percolazione di emulsione bituminosa cationica a rapida rottura ed eventuale saturazione superficiale con sabbia o filler. La sigillatura con emulsione bituminosa dovrà essere eseguita anche sulle sponde della strisciata di margine laterale.

La sovrapposizione dei giunti tra i vari strati sovrapposti è programmata e realizzata in maniera che essi risultino tra loro sfalsati di almeno 20 cm e non cadano mai in corrispondenza delle due fasce della corsia di marcia normalmente interessata dai veicoli pesanti.

Il trasporto del conglomerato bituminoso dall'impianto di confezionamento al cantiere di stesa deve avvenire mediante mezzi di trasporto di adeguata portata, efficienti e veloci, sempre dotati di telone di copertura per evitare un eccessivo raffreddamento del prodotto e la formazione di croste.

La temperatura del conglomerato bituminoso all'atto della stesa, controllata immediatamente dietro la vibrofinitrice, deve rispettare l'intervallo di temperatura dichiarato per lo specifico prodotto.

La stesa del conglomerato bituminoso deve avvenire in maniera continua e senza interruzioni fino a completo esaurimento del materiale trasportato, evitando problemi causati dal possibile raffreddamento superficialmente del materiale. La stesa del conglomerato bituminoso deve essere sospesa quando le condizioni meteorologiche generali possono pregiudicare la perfetta riuscita del lavoro. Gli strati eventualmente compromessi devono essere immediatamente rimossi e successivamente ricostruiti a spese dell'Impresa.

La compattazione del conglomerato bituminoso deve iniziare appena steso dalla vibrofinitrice e condotta a termine senza interruzioni.

L'addensamento deve essere realizzato con un rullo vibrante tandem di massimo 10 tonnellate, seguito da un eventuale rullo gommato con almeno cinque ruote e peso di almeno 12 tonnellate a discrezione della direzione lavori. Il rullo gommato deve operare in un intervallo di temperatura tale da non ormaiare lo strato e, allo stesso tempo, evitare che il conglomerato si attacchi allo pneumatico.

A chiudere la fase di compattazione, il rullo tandem provvede all'eventuale finitura in modalità statica. I rulli in fase di compattazione non devono mai procedere con velocità superiori a 5 km/h.

La compattazione deve essere condotta con la metodologia più adeguata a ottenere uniforme addensamento in ogni punto ed evitare fessurazioni e scorrimenti nello strato appena steso.

Eventuali principi di sgranature o aree con affioramento superficiale di aggregati grossi indice di segregazione della miscela, specialmente nei pressi delle zone di partenza o fermata della vibrofinitrice o attigue a pozzetti o aree soggette a lavorazioni a mano, devono essere rese saldamente coese con sigillatura, anche manuale, con emulsione bituminosa e filler o sabbia.

## 2.1.8 Controlli

Il controllo della qualità del conglomerato bituminoso è effettuato mediante prove di laboratorio su materiali costituenti, miscela, carote e superficie dello strato per verificarne le caratteristiche di accettabilità. La Tabella 8 mostra il tipo di campione, l'ubicazione, la frequenza dei prelievi e le prove che si devono eseguire per controllare tutto il processo di costruzione.

Controllo dei materiali e verifiche prestazionali			
Tipo di campione	Ubicazione del controllo	Frequenza del controllo	Requisiti
Aggregato grosso	Impianto	Inizio cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	Caratteristiche
Aggregato fine	Impianto	Inizio cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	Caratteristiche
Filler	Impianto	Inizio cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	Caratteristiche
Bitume	Cisterna	Inizio cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	Caratteristiche
Conglomerato bituminoso sfuso	Vibrofinitrice	Giornaliera o ogni 5000 m <sup>2</sup> di stesa cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	Temperatura di stesa, contenuto di bitume, granulometria, caratteristiche volumetriche e meccaniche, additivi
Carote	Pavimentazione	Ogni 250 m di stesa cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	Spessore, contenuto di vuoti V <sub>m</sub>
Superficie della pavimentazione	Pavimentazione	Ogni 250 m di stesa cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	Pendulum Test Value (PTV ≥ 55)
Superficie della pavimentazione	Pavimentazione	Ogni 250 m di stesa cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	Macrotexuture depth (MTD = 0,4 – 1,0)
Superficie della pavimentazione	Pavimentazione	Ogni 250 m di stesa cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	Scostamento ( $\Delta \leq 5$ mm)

Tabella 8. Controlli da eseguire per il conglomerato bituminoso di tipo usura con 30% di aggregati non carbonatici

La temperatura di stesa del conglomerato bituminoso deve essere controllata immediatamente dietro la vibrofinitrice all'atto della stesa e deve rispettare l'intervallo di temperatura dichiarato per lo specifico prodotto.

Ogni prelievo deve essere costituito da due campioni:

- uno utilizzato per i controlli presso un laboratorio conto terzi selezionato dalla Direzione Lavori;
- uno a disposizione dell'impresa aggiudicataria dell'appalto.

Per ogni campione di conglomerato bituminoso sfuso vengono determinate: la percentuale di bitume (UNI EN 12697-1), la granulometria degli aggregati estratti (UNI EN 12697-2) e la densità massima teorica (UNI EN 12697-5).

Con lo stesso materiale devono essere compattati tre provini con compattatore giratorio a N<sub>3</sub> giri per le verifiche volumetriche e tre provini a N<sub>2</sub> giri per la verifica dei valori ITS e CTI.

Le carote estratte dalla pavimentazione permettono le verifiche dello spessore e del contenuto di vuoti. La percentuale di vuoti è determinata sulla base della densità massima teorica (calcolata o misurata) sul più vicino campionamento di conglomerato bituminoso sfuso. In mancanza di valori misurati o calcolati può essere usata della densità massima teorica dichiarata. Lo spessore dello strato viene determinato facendo la media delle quattro altezze relative a due diametri ortogonali della circonferenza delle carote estratte. È raccomandato eseguire il primo carotaggio il giorno seguente l'inizio dei lavori. Carote aggiuntive possono essere prelevate a discrezione della Direzione Lavori per eventuali prove meccaniche (ITS e CTI).

La macrotessitura e la resistenza allo slittamento/derapaggio sulla superficie stradale devono essere verificate rispettivamente con la tecnica volumetrica ad impronta (UNI EN 13036-1) e il metodo del pendolo (UNI EN 13036-4) tra il trentesimo e il sessantesimo giorno dall'apertura al traffico.

Le eventuali irregolarità  $\Delta$  superficiali devono essere misurate in direzione longitudinale e trasversale tramite un regolo di 3 m (UNI EN 13036-7).

Per progetti con produzione superiore a 4.000 tonnellate, l'Impresa aggiudicataria dell'appalto deve consegnare settimanalmente alla Direzione Lavori i rapporti di prova di granulometria e contenuto di bitume eseguiti ogni 1.000 tonnellate di produzione che potranno essere rilasciati da un laboratorio conto terzi o dal fornitore.

I controlli riferiti alla pavimentazione (spessore, contenuto di vuoti e regolarità) non sono effettuati nel caso in cui il conglomerato bituminoso sia impiegato per la risagomatura della pavimentazione stradale esistente.

I controlli sono effettuati per produzioni giornaliere superiori a 30 tonnellate.

## 2.1.9 Penali

Le detrazioni di seguito descritte sono applicate in punti percentuali sul prezzo di aggiudicazione lavori del conglomerato bituminoso (preparazione, materiale e stesa).

Il non rispetto dell'intervallo di temperatura di stesa dichiarato per lo specifico prodotto comporta il rifiuto del materiale.

Per i materiali costituenti, le caratteristiche compositive, volumetriche e meccaniche della miscela e delle carote estratte, la Direzione Lavori valuta l'accettabilità del conglomerato e le eventuali penali da applicare.

Il non rispetto del tipo e del dosaggio di additivo, la Direzione Lavori si riserva di stabilire l'accettabilità del conglomerato e le eventuali penali da applicare.

Nell'ambito di progetti con produzione superiore a 4.000 tonnellate, la non consegna settimanale da parte dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto dei rapporti di prova di granulometria e contenuto di bitume eseguiti ogni 1.000 tonnellate di produzione, rilasciati da un laboratorio conto terzi o dal fornitore, comporta il rifiuto del materiale.

La curva granulometrica, il contenuto di aggregati non carbonatici e il contenuto di bitume riscontrati dopo l'estrazione del conglomerato bituminoso sciolto, in riferimento alla ricetta (prodotto accettato dalla Direzione Lavori), deve rispettare le seguenti tolleranze:

- granulometria: per dimensione superiore o uguale a 4 mm si applica una tolleranza di  $\pm 5$  punti percentuali;
- granulometria: per dimensioni comprese tra 4 e 0,063 mm si applica una tolleranza di  $\pm 3$  punti percentuali;
- granulometria: al passante al setaccio 0,063 mm si applica una tolleranza di  $\pm 1,5$  punti percentuali;
- contenuto di aggregati non carbonatici: è tollerata una carenza massima di 10 punti percentuali;
- contenuto di bitume: si applica una tolleranza del  $\pm 5\%$  rispetto al valore dichiarato per la miscela di progetto (es.: contenuto di bitume di progetto = 5%, intervallo di tolleranza 5,25-4,75%).

Nel caso di non conformità la Direzione Lavori può richiedere, in funzione del contesto, il rifacimento dello strato, opere di ripristino a spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto o l'applicazione di una detrazione del 10% sul prezzo di aggiudicazione della lavorazione per lo strato interessato. La superficie di riferimento è calcolata considerando la lunghezza compresa tra la metà della distanza dalla misurazione precedente e la metà della distanza dalla misurazione successiva (oppure considerando la lunghezza del tronco omogeneo) moltiplicato per la larghezza dell'intervento.

Per lo spessore dello strato, determinato da misurazioni sulle carote estratte dalla pavimentazione è tollerata una carenza massima del 10 % rispetto allo spessore di progetto. Per carenze superiori al 10 %, è applicata una detrazione percentuale pari a:

$$\text{Detrazione percentuale per carenza di spessore} = 3 \times (c - 10)$$

dove  $c$  rappresenta la carenza di spessore rispetto al valore di progetto espressa in percentuale. Per esempio, se lo strato è spesso la differenza è del 13 % rispetto al valore di progetto, la penale percentuale sarà del  $(13 - 10) \cdot 3 = 9\%$ . Se la differenza supererà il 25 % (in diminuzione), la direzione lavori può richiedere il rifacimento dello strato a completa cura e spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto (per esempio, se lo spessore di progetto è pari a 4 cm, al di sotto 3 cm è richiesto il rifacimento). In alternativa alla rimozione e ricostruzione, la Direzione Lavori può autorizzare la stesa di uno strato di conguaglio (previa spruzzatura della mano di attacco) di spessore tale da consentire il raggiungimento lo spessore totale atteso. Per la ricarica può essere impiegato lo stesso conglomerato bituminoso che non può comunque essere di spessore inferiore a cm 3 (spessore minimo in funzione della dimensione massima). Nel rispetto delle quote finali di progetto, la Direzione Lavori valuta la possibilità di una fresatura parziale per aver modo di stendere lo strato di conguaglio nel rispetto del suo spessore minimo. La superficie a cui applicare la detrazione è calcolata considerando la lunghezza compresa tra la metà della distanza dalla carota precedente e la metà della distanza dalla carota successiva (oppure considerando la lunghezza del tronco omogeneo) moltiplicato per la larghezza dell'intervento.

Per valori dei vuoti determinati sulle carote superiori al 8 % è applicata una detrazione percentuale pari a:

$$\text{Detrazione percentuale per vuoti eccesivi} = 2 \cdot s + s^2$$

dove  $s$  è lo scostamento (eccedenza) dei valori ottenuti dalle carote rispetto al valore limite del 8 %. Per esempio, se la percentuale dei vuoti rilevati dalla carota estratta è del 11 %, la detrazione da applicare è pari a  $2 \cdot (11 - 8) + (11 - 8)^2$  ossia del 15 %. Per valori dei vuoti superiori al 12 % la Direzione Lavori può richiedere il rifacimento dello strato a spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto. La superficie a cui applicare la detrazione è calcolata considerando la lunghezza compresa tra la metà della distanza dalla carota precedente e la metà della distanza dalla carota successiva (oppure considerando la lunghezza del tronco omogeneo) moltiplicato per la larghezza dell'intervento. Nel caso in cui siano presenti pendenze longitudinali superiori al 8 %, il valore limite della percentuale di vuoti per l'applicazione delle detrazioni è il 10 % mentre per la rimozione il 15 %.

La superficie dello strato deve presentarsi priva di irregolarità ed ondulazioni. È tollerato uno scostamento massimo di 5 mm al di sopra del quale la Direzione Lavori può richiedere, in funzione del contesto, il rifacimento dello strato, opere di ripristino a spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto o l'applicazione di una detrazione del 10% sul prezzo di aggiudicazione della lavorazione per lo strato interessato. La superficie di riferimento è calcolata considerando la lunghezza compresa tra la metà della distanza dalla

misurazione precedente e la metà della distanza dalla misurazione successiva (oppure considerando la lunghezza del tronco omogeneo) moltiplicato per la larghezza dell'intervento.

Per valori PTV inferiori a 55 è applicata una detrazione dell'1% per ogni unità in meno. Valori PTV inferiori a 50 comportano in funzione del contesto, il rifacimento dello strato, opere di ripristino a spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto o l'applicazione di una detrazione del 10% sul prezzo di aggiudicazione della lavorazione per lo strato interessato. La superficie a cui applicare la detrazione è calcolata considerando la lunghezza compresa tra la metà della distanza dalla misurazione precedente e la metà della distanza dalla misurazione successiva (oppure considerando la lunghezza del tronco omogeneo) moltiplicato per la larghezza dell'intervento.

Per valori MTD inferiori a 0,40 o superiori a 1,00 è applicata una detrazione dell'1% per ogni 5 decimi di scostamento. Valori MTD inferiori a 0,25 o superiori a 1,15 comportano, in funzione del contesto, il rifacimento dello strato, opere di ripristino a spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto o l'applicazione di una detrazione del 10% sul prezzo di aggiudicazione della lavorazione per lo strato interessato. La superficie a cui applicare la detrazione è calcolata considerando la lunghezza compresa tra la metà della distanza dalla misurazione precedente e la metà della distanza dalla misurazione successiva (oppure considerando la lunghezza del tronco omogeneo) moltiplicato per la larghezza dell'intervento.

Salvo casi particolari che andranno giudicati dalla Direzione Lavori, le penali precedentemente indicate sono cumulabili.

## 2.2 Conglomerato bituminoso a caldo tipo usura con aggregati calcarei

### **Elenco prezzi: AC08 NV 3; AC12 oppure AC14 NV 4.**

Il conglomerato bituminoso a caldo tipo usura con aggregati calcarei è costituito da una miscela di inerti vergini (pietrischi, graniglie, sabbie e filler), eventuali additivi, impastata con bitume a caldo in impianti di tipo fisso automatizzati. È ammesso l'uso di conglomerato bituminoso di recupero fino al 10% in peso sulla miscela totale nel rispetto della norma UNI EN 13108-8 e UNI/TS 11688. Il conglomerato bituminoso a caldo tipo usura con aggregati calcarei è posto in opera mediante macchina vibrofinitrice e subito costipato tramite rulli. La miscela impiegata deve essere qualificata in conformità al regolamento Ue 305/2011 sui prodotti da costruzione. L'Impresa aggiudicataria dell'appalto deve consegnare alla Direzione Lavori i dosaggi di tutti i componenti usati per il conglomerato bituminoso.

Tale materiale può essere previsto per interventi provvisori o su strade a basso volume di traffico caratterizzate da ridotte velocità di percorrenza e tracciato lineare e pianeggiante.

Ciascuna fornitura deve essere accompagnata dal documento di trasporto e dalla marcatura CE, attestante la conformità all'appendice ZA della norma europea armonizzata UNI EN 13108-1, da consegnare al momento della consegna in cantiere. Una volta accettato il conglomerato bituminoso da parte della Direzione Lavori, l'Impresa aggiudicataria dell'appalto, è vincolata al rigoroso utilizzo di tutte le sue componenti nel rispetto delle tolleranze riportate nel paragrafo Penali.

### 2.2.1 Aggregati

Gli aggregati lapidei costituiscono la matrice litica del conglomerato bituminoso a caldo di tipo usura con aggregati calcarei e sono composti da aggregati grossi, fini e filler proveniente dalla frazione fina (filler di recupero) 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). L'aggregato grosso ( $D > 4 \text{ mm}$ ;  $d \geq 1 \text{ mm}$ ) può essere di provenienza o natura petrografica diversa purché, per ogni tipologia, risultino soddisfatti i requisiti indicati nella Tabella 9. La designazione dell'aggregato grosso deve essere effettuata mediante le dimensioni dei setacci appartenenti al gruppo di base, più gruppo 2 della UNI EN 13043.

Parametro	Metodo di prova	Unità di misura	Valori richiesti	Categoria UNI EN 13043
Resistenza alla frammentazione	UNI EN 1097-2	[%]	$\leq 25$	LA <sub>25</sub>
Percentuale di particelle frantumate	UNI EN 933-5	[%]	100	C <sub>100/0</sub>
Passante allo staccio 0,063 mm	UNI EN 933-1	[%]	$\leq 2$	f <sub>2</sub>
Resistenza al gelo e disgelo	UNI EN 1367-1	[%]	$\leq 1$	F <sub>1</sub>
Coefficiente di appiattimento	UNI EN 933-3	[%]	$\leq 25$	FI <sub>25</sub>
Coefficiente di forma	UNI EN 933-4	[%]	$\leq 25$	SI <sub>25</sub>
Assorbimento d'acqua	UNI EN 1097-6	[%]	$\leq 2$	WA <sub>242</sub>

Tabella 9. Caratteristiche dell'aggregato grosso di origine calcarea per conglomerato bituminoso a caldo tipo usura

L'aggregato fine ( $D \leq 4 \text{ mm}$ ;  $d = 0 \text{ mm}$ ) deve essere costituito esclusivamente da sabbie di frantumazione e può essere di provenienza o natura petrografica diversa purché, per ogni tipologia, risultino soddisfatti i requisiti indicati nella Tabella 10. Per motivi di congruenza con le pezzature fini attualmente prodotte in Italia, è permesso l'impiego come aggregato fine anche di aggregati in frazione unica con dimensione massima D =

4 mm. La designazione dell'aggregato fine deve essere effettuata mediante le dimensioni dei setacci appartenenti al gruppo di base, più gruppo 2 della UNI EN 13043.

Parametro	Metodo di prova	Unità di misura	Valori richiesti	Categoria UNI EN 13043
Equivalente in sabbia	UNI EN 933-8	[%]	$\geq 70$	SE <sub>70</sub>
Indice di plasticità	UNI CEN ISO/TS 17892-12	-	Non plastico	-
Passante allo staccio 0,063 mm	UNI EN 933-1	[%]	$\leq 5$	f <sub>5</sub>

Tabella 10. Caratteristiche dell'aggregato fine per conglomerato bituminoso a caldo tipo usura

Il filler, frazione per la maggior parte passante allo staccio 0,063 mm, può essere costituito da polvere di roccia preferibilmente calcarea, da cemento, calce idrata, calce idraulica e ceneri volanti. Il filler deve inoltre soddisfare i requisiti indicati in Tabella 11. La granulometria del filler deve essere conforme a quella prevista della norma UNI EN 13043.

Parametro	Metodo di prova	Unità di misura	Valori richiesti	Categoria UNI EN 13043
Indice di plasticità	UNI CEN ISO/TS 17892-12	-	Non plastico	-
Porosità del filler secco compattato (Rigden)	UNI EN 1097-4	[%]	38 ÷ 45	V <sub>38/45</sub>
Passante al setaccio 0,063	-	[%]	$\geq 70$	-
Stiffening Power	UNI EN 13179-1	[°C]	8 ÷ 25	Δ <sub>R&amp;B</sub> 8/25

Tabella 11. Caratteristiche del filler per conglomerato bituminoso a caldo tipo usura

Il paragrafo 1.2 (Certificati di prequalifica e relative penali) specifica le modalità di presentazione e accettazione della documentazione di qualifica.

## 2.2.2 Additivi

Gli additivi come attivanti d'adesione costituiti da sostanze tensioattive o calce che favoriscono l'adesione bitume-aggregato possono essere impiegati nel conglomerato bituminoso per migliorare la durabilità all'acqua.

La scelta del tipo e del dosaggio di additivo deve essere stabilita in modo da garantire le caratteristiche di resistenza allo spogliamento e di durabilità all'azione dell'acqua richieste per la miscela.

L'Impresa aggiudicataria dell'appalto è tenuta a presentare alla Direzione Lavori la scheda tecnica e di sicurezza dell'additivo per l'identificazione delle proprie caratteristiche e le modalità di impiego. Inoltre, si deve riportare, in apposito certificato rilasciato da un laboratorio conto terzi o dal produttore, lo spettro infrarosso dell'additivo, acquisito in trasmissione tramite Spettrometro Infrarosso (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FT-IR*) nell'intervallo delle frequenze tra 4000 e 400 cm<sup>-1</sup>, indicando le bande caratteristiche del prodotto e quelle individuabili nella miscela bitume-additivo. L'attivante di adesione scelto deve presentare caratteristiche chimiche stabili nel tempo anche se sottoposto a temperatura elevata (180°C).

Nel caso dell'utilizzo di calce, l'Impresa aggiudicataria dell'appalto è tenuta a presentare alla Direzione Lavori la marcatura CE della calce secondo la UNI EN 459-1.

Il dosaggio dell'additivo deve essere specificato obbligatoriamente tra le caratteristiche del conglomerato bituminoso.

## 2.2.3 Bitume

Il bitume deve appartenere alle classi di penetrazione 50/70 oppure 70/100, definite dalla UNI EN 12591. La preferenza di impiego, specificata dalla Direzione Lavori in fase di progetto, è per la classe 50/70 per le stagioni più calde, mentre la classe 70/100 è raccomandata nelle stagioni più fredde. Le proprietà dei bitumi ed i relativi metodi di prova sono indicate nella Tabella 12.

Classe del bitume UNI EN 12591			50/70	70/100
Parametro	Metodo di prova	Unità di misura	Valori richiesti	Valori richiesti
Penetrazione a 25°C	UNI EN 1426	[× 0,1 mm]	50 – 70	70 – 100
Punto di rammollimento	UNI EN 1427	[°C]	46 – 54	43 – 51
Punto di rottura (Fraass)	UNI EN 12593	[°C]	≤ - 8	≤ - 10
Viscosità dinamica 160°C	UNI EN 13302	[mPa · s]	50 – 200	50 – 200
Solubilità	UNI EN 12592	[%]	≥ 99	≥ 99
Resistenza all'invecchiamento RTFOT	UNI EN 12607-1			
Variazione di massa	UNI EN 12607-1	[%]	≤ 0,5	≤ 0,8
Penetrazione residua a 25°C	UNI EN 1426	[%]	≥ 50	≥ 46
Variazione della temperatura di rammollimento	UNI EN 1427	[°C]	≤ 11	≤ 11

Tabella 12. Caratteristiche del bitume tradizionale

Il paragrafo 1.2 (Certificati di prequalifica e relative penali) specifica le modalità di presentazione e accettazione della documentazione di qualifica.

## 2.2.4 Miscela di progetto

La miscela degli aggregati da adottarsi per la produzione del conglomerato bituminoso deve avere una composizione granulometrica contenuta nei fusi riportati in Tabella 13. La percentuale di bitume deve essere compresa nei limiti indicati nella stessa tabella. I fusi AC14 e AC12 si riferiscono a uno spessore dello strato compreso tra 4 e 5 cm, mentre il fuso AC8 si riferisce a uno spessore dello strato di 3 cm.

Fuso granulometrico			
Classe di conglomerato bituminoso	AC14	AC12	AC8
Apertura setacci UNI [mm]	Passante totale in peso [%]		
20	100	100	-
14	90 - 100	-	-
12,5	-	90 – 100	100
10	75 - 90	-	-
8	-	72 – 84	90 – 100
6,3	55 - 75	-	75 – 88
4	-	44 – 55	53 – 66
2	25 - 40	26 – 36	30 – 43
0,5	15 - 25	14 – 20	17 – 25
0,25	10 - 20	10 – 15	11 – 17
0,063	5 - 10	6,0 – 10	6,0 - 10
Contenuto di bitume			
Contenuto di bitume riferito alla miscela [%]	4,0 - 5,5	4,7 - 5,8	4,9 - 6,0
Contenuto di bitume riferito agli aggregati [%]	4,2 - 5,8	4,9 - 6,2	5,2 - 6,4

I valori del contenuto di bitume devono essere adeguati agli aggregati utilizzati moltiplicandoli per il fattore:  $a = 2,650/\rho_a$ , dove  $\rho_a$  è la massa volumica media degli aggregati, in Mg/m³ determinata secondo la UNI EN 1097-6.

Tabella 13. Fuso di progetto e intervallo del contenuto di bitume per conglomerato bituminoso a caldo tipo usura

Le caratteristiche del conglomerato bituminoso devono essere determinate tramite il metodo volumetrico (UNI EN 12697-31, UNI EN 12697-23) e ricavate dalla media di almeno tre campioni considerando un coefficiente di variazione  $\leq 0,15$  (deviazione standard/media).

Secondo il metodo volumetrico (Tabella 14), i provini devono essere compattati mediante compattatore giratorio ad un numero di giri totali  $N_3$ . La densità di ogni provino compattato a  $N_3$  giri deve essere misurata secondo quanto stabilito dalla UNI EN 12697-6 procedura C (massa volumica apparente, provino sigillato  $\rho_{bseal}$ ) e procedura D (massa volumica apparente con metodo geometrico  $\rho_{bdim}$ ). Il rapporto tra densità del provino sigillato  $\rho_{bseal}$  a  $N_3$  giri e densità geometrica del provino  $\rho_{bdim}$  a  $N_3$  giri è usato come fattore correttivo ( $f = \rho_{bseal} / \rho_{bdim}$ ) di tutte le densità geometriche registrate durante il processo di compattazione (densità corretta = densità geometrica  $\times f$ ). La densità corretta e la densità massima teorica  $\rho_m$  (UNI EN 12697-5) sono usate per il calcolo dei vuoti  $V_m$  del provino durante il processo di compattazione. La verifica della percentuale dei vuoti  $V_m$  calcolati secondo la UNI EN 12697-8 deve essere eseguita a tre livelli di compattazione:  $N_1$  (iniziale, post-stesa),  $N_2$  (intermedio, post-rullatura),  $N_3$  (finale, previsionale post-traffico).

I vuoti nell'aggregato minerale *VMA* e i vuoti riempiti di bitume *VFB* devono essere calcolati secondo la UNI EN 12697-8 in riferimento al livello di compattazione  $N_2$ .

La miscela di progetto deve verificare i requisiti volumetrici e meccanici riportati in Tabella 14.

Quando prodotto in laboratorio, il conglomerato bituminoso deve essere confezionato in accordo alla UNI EN 12697-35.

Condizioni di compattazione			
Parametro	Unità di misura	Normativa di riferimento	Valori richiesti
Angolo di rotazione esterno	[°]	SHRP Designation M-002	$1,25 \pm 0,02$
Velocità di rotazione	[rotazioni/min]	UNI EN 12697-31	30
Pressione verticale	[kPa]	UNI EN 12697-31	600
Diametro della fustella	[mm]	UNI EN 12697-31	100
Massa del campione	[kg]	-	1,100
Temperatura di compattazione (conglomerato bituminoso con bitume 50/70 o 70/100)	[°C]	UNI EN 12697-35	temperatura operativa $\pm 10$
Proprietà volumetriche e meccaniche			
Parametro	Unità di misura	Normativa di riferimento	Valori richiesti
$V_m$ a 10 rotazioni ( $N_1$ )	[%]	UNI EN 12697-8	11 - 15
$V_m$ a 100 rotazioni ( $N_2$ )	[%]	UNI EN 12697-8	3 - 6
<i>VMA</i> a 100 rotazioni ( $N_2$ )	[%]	UNI EN 12697-8	> 12
<i>VFB</i> a 100 rotazioni ( $N_2$ )	[%]	UNI EN 12697-8	65 ÷ 80
$V_m$ a 180 rotazioni ( $N_3$ )	[%]	UNI EN 12697-8	> 2
Resistenza a trazione indiretta a 25°C a $N_2$ (ITS)	[N/mm <sup>2</sup> ]	UNI EN 12697-23	0,75 - 1,50
Coef. di trazione indiretta <sup>1</sup> a 25°C a $N_2$ (CTI)	[N/mm <sup>2</sup> ]	-	$\geq 70$
Sensibilità all'acqua (ITSR)	[%]	UNI EN 12697-12	$\geq 80$

<sup>1</sup>  $CTI = \frac{\pi \cdot D \cdot ITS}{2 \cdot d_v}$  dove  $D$  è il diametro del provino e  $d_v$  è lo schiacciamento verticale registrato in corrispondenza del carico massimo

Tabella 14. Caratteristiche della miscela di progetto per conglomerato bituminoso a caldo tipo usura

Il paragrafo 1.2 (Certificati di prequalifica e relative penali) specifica le modalità di presentazione e accettazione della documentazione di qualifica.

L'Impresa aggiudicataria dell'appalto deve dichiarare l'intervallo di temperatura di stesa del prodotto affinché siano garantite le prestazioni richieste. Il produttore deve inoltre dichiarare la ricetta del conglomerato bituminoso, il dosaggio e il tipo di additivo eventualmente impiegato.

Per progetti con produzione superiore a 4.000 tonnellate, l'Impresa aggiudicataria dell'appalto deve consegnare settimanalmente alla Direzione Lavori i rapporti di prova di granulometria e contenuto di bitume eseguiti ogni 1.000 tonnellate di produzione che possono essere rilasciati da un laboratorio conto terzi o dal fornitore.

## 2.2.5 Produzione della miscela

Il conglomerato bituminoso è confezionato mediante impianti fissi automatizzati, di idonee caratteristiche, mantenuti sempre perfettamente funzionanti in ogni loro parte.

La produzione di ciascun impianto non deve 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.

L'impianto deve garantire uniformità di produzione ed essere in grado di realizzare una miscela rispondente alle caratteristiche dichiarate di progetto. Ogni impianto deve assicurare il riscaldamento del bitume alla temperatura opportuna a mantenere una viscosità uniforme fino al momento della miscelazione, nonché il perfetto dosaggio sia del bitume che di eventuali additivi.

La zona destinata allo stoccaggio degli inerti deve essere preventivamente e convenientemente scelta per evitare la contaminazione da sostanze argillose e ristagni di acqua che possono compromettere la pulizia degli aggregati. Inoltre, i cumuli delle diverse classi dovranno essere separati tra di loro e l'operazione di rifornimento nei predosatori eseguita con la massima cura. Si deve far uso di almeno 4 classi di aggregati con predosatori in numero corrispondente alle classi impiegate.

Il tempo di miscelazione è stabilito in funzione delle caratteristiche dell'impianto, in misura tale da permettere un completo ed uniforme rivestimento degli inerti con il legante.

La temperatura degli aggregati e del bitume all'atto della miscelazione deve garantire il raggiungimento delle prestazioni richieste della miscela a seguito della stesa. Per la verifica delle suddette temperature, gli essiccatore, le caldaie e le tramogge degli impianti devono essere muniti di termometri fissi perfettamente funzionanti e periodicamente tarati.

L'umidità degli aggregati all'uscita dell'essiccatore non deve superare lo 0,5% in peso.

## 2.2.6 Preparazione della superficie di stesa

La stesa del conglomerato bituminoso avviene solo dopo che sia stata accertata dalla Direzione Lavori la rispondenza del piano di posa ai requisiti di quota, sagoma, densità e portanza indicati in progetto. Il piano di posa deve risultare perfettamente pulito e privo di ogni residuo di qualsiasi natura.

Prima della realizzazione dello strato in conglomerato bituminoso è necessario preparare la superficie di stesa allo scopo di garantire una adeguata adesione all'interfaccia mediante l'applicazione di una emulsione bituminosa aventi caratteristiche specifiche (UNI EN 13808, UNI/TR 11362).

A seconda che lo strato di supporto sia un misto granulare, misto cementato oppure un conglomerato bituminoso (nuovo, fresato o usurato), la lavorazione corrispondente prende il nome rispettivamente di impregnazione (mano di ancoraggio) e mano d'attacco.

Entrambe le lavorazioni sono dettagliate rispettivamente nei paragrafi 9.1 e 9.2.

## 2.2.7 Posa in opera della miscela

La posa in opera del conglomerato bituminoso è effettuata a mezzo di macchine vibrofinitrici dei tipi approvati dalla Direzione Lavori in perfetto stato di efficienza e dotate di automatismi di autolivellamento. La Direzione Lavori si riserva la facoltà di poter far variare la tecnologia ritenuta non opportuna.

Le vibrofinitrici non devono mai operare a velocità di stesa superiori a 5 m/min e devono comunque lasciare uno strato finito perfettamente sagomato, privo di sgranamenti, fessurazioni, esente da difetti dovuti a segregazione degli elementi litoidi più grossi.

Durante la stesa si deve porre la massima cura alla formazione dei giunti longitudinali e trasversali.

Nel caso di costruzione di due strisciati adiacenti, il giunto longitudinale è preferibilmente ottenuto mediante tempestivo affiancamento di una striscia alla precedente o con l'impiego di due vibrofinitrici. Qualora ciò non sia possibile, se il bordo risulta danneggiato o arrotondato si deve procedere al taglio verticale (rettifica) con idonea attrezzatura e ad una successiva spruzzatura di emulsione bituminosa cationica a rapida rottura per assicurare la saldatura delle due strisciati. Nel caso in cui il nuovo strato sia in adiacenza ad uno strato esistente, prima della stesa si deve provvedere alla rettifica del bordo dello strato esistente e alla spruzzatura con emulsione bituminosa cationica a rapida rottura per assicurare la saldatura della nuova striscia all'esistente.

Il giunto trasversale, di inizio o fine produzione giornaliera o inizio o fine sezione, deve essere realizzato tramite taglio verticale (rettifica) con idonea attrezzatura e ad una successiva spruzzatura di emulsione bituminosa cationica a rapida rottura.

Tutti i giunti devono essere sigillati dopo la compattazione tramite percolazione di emulsione bituminosa cationica a rapida rottura ed eventuale saturazione superficiale con sabbia o filler. La sigillatura con emulsione bituminosa deve essere eseguita anche sulle sponde della striscia di margine laterale.

La sovrapposizione dei giunti tra i vari strati sovrapposti deve essere programmata e realizzata in maniera che essi risultino tra loro sfalsati di almeno 20 cm e non cadano mai in corrispondenza delle due fasce della corsia di marcia normalmente interessate dalla traccia dei veicoli.

Il trasporto del conglomerato bituminoso dall'impianto di confezionamento al cantiere di stesa deve avvenire mediante mezzi di trasporto di adeguata portata, efficienti e veloci, sempre dotati di telone di copertura per evitare un eccessivo raffreddamento del prodotto e la formazione di croste.

La temperatura del conglomerato bituminoso all'atto della stesa, controllata immediatamente dietro la vibrofinitrice, deve rispettare l'intervallo di temperatura dichiarato per lo specifico prodotto.

La stesa del conglomerato bituminoso deve avvenire in maniera continua e senza interruzioni fino a completo esaurimento del materiale trasportato, evitando problemi causati dal possibile raffreddamento superficialmente del materiale. La stesa del conglomerato bituminoso deve essere sospesa quando le condizioni meteorologiche generali possono pregiudicare la perfetta riuscita del lavoro. Gli strati eventualmente compromessi devono essere immediatamente rimossi e successivamente ricostruiti a spese dell'Impresa.

La compattazione del conglomerato bituminoso deve iniziare appena steso dalla vibrofinitrice e condotta a termine senza interruzioni.

L'addensamento dovrà essere realizzato con un rullo vibrante tandem di massimo 10 tonnellate, seguito da un eventuale rullo gommato con almeno cinque ruote e peso di almeno 12 tonnellate a discrezione della direzione lavori. Il rullo gommato deve operare in un intervallo di temperatura tale da non ormaiare lo strato e, allo stesso tempo, evitare che il conglomerato si attacchi allo pneumatico.

A chiudere la fase di compattazione, il rullo tandem provvede all'eventuale finitura in modalità statica. I rulli in fase di compattazione non dovranno mai procedere con velocità superiori a 5 km/h.

La compattazione deve essere condotta con la metodologia più adeguata a ottenere uniforme addensamento in ogni punto ed evitare fessurazioni e scorrimenti nello strato appena steso.

Eventuali principi di sgranature o aree con affioramento superficiale di aggregati grossi indice di segregazione della miscela, specialmente nei pressi delle zone di partenza o fermata della vibrofinitrice o attigue a pozetti o aree soggette a lavorazioni a mano, devono essere rese saldamente coese con sigillatura, anche manuale, con emulsione bituminosa e filler o sabbia.

## 2.2.8 Controlli

Il controllo della qualità del conglomerato bituminoso è effettuato mediante prove di laboratorio sui materiali costituenti, sulla miscela, sulle carote estratte dalla pavimentazione e sulla superficie dello strato per verificarne le caratteristiche di accettabilità. La Tabella 15 mostra il tipo di campione, l'ubicazione, la frequenza dei prelievi e le prove che si devono eseguire per controllare tutto il processo di costruzione.

Controllo dei materiali e verifiche prestazionali			
Tipo di campione	Ubicazione del prelievo	Frequenza di prove	Requisiti
Aggregato grosso	Impianto	Inizio cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	Caratteristiche
Aggregato fine	Impianto	Inizio cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	Caratteristiche
Filler	Impianto	Inizio cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	Caratteristiche
Bitume	Cisterna	Inizio cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	Caratteristiche
Conglomerato bituminoso sfuso	Vibrofinitrice	Giornaliera o ogni 5000 m <sup>2</sup> di stesa cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	Temperatura di stesa, contenuto di bitume, granulometria, caratteristiche volumetriche e meccaniche, additivi
Carote	Pavimentazione	Ogni 250 m di stesa cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	Spessore, contenuto di vuoti ( $V_m = 2 - 8\%$ )
Superficie della pavimentazione	Pavimentazione	Ogni 250 m di stesa cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	Scostamento ( $\Delta \leq 5$ mm)

Tabella 15: Controlli da eseguire per il conglomerato bituminoso tipo usura con aggregati calcarei

La temperatura di stesa del conglomerato bituminoso a caldo deve essere controllata immediatamente dietro la vibrofinitrice all'atto della stesa e deve rispettare l'intervallo di temperatura dichiarato per lo specifico prodotto.

Ogni prelievo deve essere costituito da due campioni:

- uno utilizzato per i controlli presso un laboratorio conto terzi selezionato dalla Direzione Lavori;
- uno a disposizione dell'impresa aggiudicataria dell'appalto.

Per ogni campione di conglomerato bituminoso sfuso vengono determinate: la percentuale di bitume (UNI EN 12697-1), la granulometria degli aggregati estratti (UNI EN 12697-2) e la densità massima teorica (UNI EN 12697-5).

Con lo stesso materiale devono essere compattati tre provini con compattatore giratorio a  $N_3$  giri per le verifiche volumetriche e tre provini a  $N_2$  giri per la verifica dei valori *ITS* e *CTI*.

Le carote estratte dalla pavimentazione permettono le verifiche dello spessore e del contenuto di vuoti. La percentuale di vuoti è determinata sulla base della densità massima teorica (calcolata o misurata) sul più vicino campionamento di conglomerato bituminoso sfuso. In mancanza di valori misurati o calcolati può essere usata della densità massima teorica dichiarata. Lo spessore dello strato viene determinato facendo la media delle quattro altezze relative a due diametri ortogonali della circonferenza delle carote estratte. È raccomandato eseguire il primo carotaggio il giorno seguente l'inizio dei lavori.

Carote aggiuntive potranno essere prelevate a discrezione della Direzione Lavori per eventuali prove meccaniche (*ITS* e *CTI*).

Le eventuali irregolarità  $\Delta$  superficiali dovranno essere misurate in direzione longitudinale e trasversale tramite un regolo di 3 m (UNI EN 13036-7).

I controlli saranno effettuati per produzioni giornaliere superiori a 30 tonnellate.

## 2.2.9 Penali

Le detrazioni di seguito descritte sono applicate in punti percentuali sul prezzo di aggiudicazione lavori del conglomerato bituminoso (preparazione, materiale e stesa).

Il non rispetto dell'intervallo di temperatura di stesa dichiarato per lo specifico prodotto comporta il rifiuto del materiale.

Per i materiali costituenti, le caratteristiche compositive, volumetriche e meccaniche della miscela e delle carote estratte, la Direzione Lavori valuta l'accettabilità del conglomerato e le eventuali penali da applicare.

Il non rispetto del tipo e del dosaggio di additivo, la Direzione Lavori si riserva di stabilire l'accettabilità del conglomerato e le eventuali penali da applicare.

La curva granulometrica e il contenuto di bitume riscontrati dopo l'estrazione del conglomerato bituminoso sciolto, in riferimento alla ricetta (prodotto accettato dalla Direzione Lavori), deve rispettare le seguenti tolleranze:

- granulometria: per dimensione superiore o uguale a 4 mm si applica una tolleranza di  $\pm 5$  punti percentuali;
- granulometria: per dimensioni comprese tra 4 e 0,063 mm si applica una tolleranza di  $\pm 3$  punti percentuali;
- granulometria: al passante al setaccio 0,063 mm si applica una tolleranza di  $\pm 1,5$  punti percentuali;
- contenuto di bitume: si applica una tolleranza del  $\pm 5\%$  rispetto al valore dichiarato per la miscela di progetto (es. contenuto di bitume di progetto = 5%, intervallo di tolleranza 5,25-4,75%).

Nel caso di non conformità la Direzione Lavori può richiedere, in funzione del contesto, il rifacimento dello strato, opere di ripristino a spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto o l'applicazione di una detrazione

del 10% sul prezzo di aggiudicazione della lavorazione per lo strato interessato. La superficie di riferimento è calcolata considerando la lunghezza compresa tra la metà della distanza dalla misurazione precedente e la metà della distanza dalla misurazione successiva (oppure considerando la lunghezza del tronco omogeneo) moltiplicato per la larghezza dell'intervento.

Per lo spessore dello strato, determinato da misurazioni sulle carote estratte dalla pavimentazione è tollerata una carenza massima del 10 % rispetto allo spessore di progetto. Per carenze superiori al 10 %, è applicata una detrazione percentuale pari a:

$$\text{Detrazione percentuale per carenza di spessore} = 3 \cdot (c - 10)$$

dove  $c$  rappresenta la carenza di spessore rispetto al valore di progetto espressa in percentuale. Per esempio, se la differenza è del 13 % rispetto al valore di progetto, la penale sarà del  $(13 - 10) \cdot 3 = 9\%$ . Se la differenza supererà il 25 % (in diminuzione), la Direzione Lavori può richiedere il rifacimento dello strato a completa cura e spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto (per esempio, se lo spessore di progetto è pari a 4 cm, al di sotto 3 cm sarà richiesto il rifacimento). In alternativa alla rimozione e ricostruzione, la Direzione Lavori può autorizzare la stesa di uno strato di conguaglio (previa spruzzatura della mano di attacco) di spessore tale da consentire il raggiungimento lo spessore totale atteso. Per la ricarica potrà essere impiegato conglomerato bituminoso di tipo usura che non può comunque essere di spessore inferiore a 3 volte la dimensione massima degli aggregati. Nel rispetto delle quote finali di progetto, la Direzione Lavori valuta la possibilità di una fresatura parziale per aver modo di stendere lo strato di conguaglio nel rispetto del suo spessore minimo. La superficie a cui applicare la detrazione è calcolata considerando la lunghezza compresa tra la metà della distanza dalla carota precedente e la metà della distanza dalla carota successiva (oppure considerando la lunghezza del tronco omogeneo) moltiplicato per la larghezza dell'intervento.

Per valori dei vuoti determinati sulle carote superiori al 8 % è applicata una detrazione percentuale pari a:  
$$\text{Detrazione percentuale per vuoti eccesivi} = 2 \cdot s + s^2$$

dove  $s$  è lo scostamento (eccedenza) dei valori ottenuti dalle carote rispetto al valore limite del 8 %. Per esempio, se la percentuale dei vuoti rilevati dalla carota estratta è del 11 %, la detrazione da applicare è pari a  $2 \cdot (11 - 8) + (11 - 8)^2$  ossia del 15 %. Per valori dei vuoti superiori al 12 % la Direzione Lavori può richiedere il rifacimento dello strato a spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto. La superficie a cui applicare la detrazione è calcolata considerando la lunghezza compresa tra la metà della distanza dalla carota precedente e la metà della distanza dalla carota successiva (oppure considerando la lunghezza del tronco omogeneo) moltiplicato per la larghezza dell'intervento. Nel caso in cui siano presenti pendenze longitudinali superiori al 8 %, il valore limite della percentuale di vuoti per l'applicazione delle detrazioni è il 10 % mentre per la rimozione il 15 %.

La superficie dello strato deve presentarsi priva di irregolarità ed ondulazioni. È tollerato uno scostamento massimo di 5 mm al di sopra del quale la Direzione Lavori può richiedere, in funzione del contesto, il rifacimento dello strato, opere di ripristino a spese dell'impresa aggiudicataria dell'appalto o l'applicazione di una detrazione del 10% sul prezzo di aggiudicazione della lavorazione per lo strato interessato. La superficie di riferimento è calcolata considerando la lunghezza compresa tra la metà della distanza dalla misurazione precedente e la metà della distanza dalla misurazione successiva (oppure considerando la lunghezza del tronco omogeneo) moltiplicato per la larghezza dell'intervento.

Salvo casi particolari che andranno giudicati dalla Direzione Lavori, le penali precedentemente indicate sono cumulabili.

## 2.3 Conglomerato bituminoso a caldo tipo usura con 30% di aggregati non carbonatici e bitume modificato

**Elenco prezzi: AC08 NV 5; AC12 oppure AC14 NV 6.**

Il conglomerato bituminoso a caldo tipo usura con 30% di aggregati non carbonatici (percentuale espressa in volume sulla miscela di inerti) e bitume modificato (modifica di tipo hard con polimeri elastomerici SBS, contenuto di polimero  $\geq 5\%$ ) è costituito da una miscela di inerti vergini (pietrischi, graniglie, sabbie e filler), eventuali additivi, impastata a caldo con bitume modificato in impianti di tipo fisso automatizzati. La modifica del bitume mediante l'introduzione di polimeri permette vantaggi significativi sia dal punto di vista della resistenza meccanica che delle caratteristiche funzionali. In generale, i miglioramenti ottenuti tramite la modifica del bitume con polimeri riguardano la resistenza alle deformazioni permanenti, resistenza a rottura, proprietà elastiche, suscettibilità termica, flessibilità alle basse temperature, coesione alle alte temperature e resistenza all'acqua e allo spogliamento. È ammesso l'uso di conglomerato bituminoso di recupero solo se proveniente dalla demolizione di strati in conglomerato bituminoso con bitume modificato SBS e fino al 10% in peso sulla miscela totale nel rispetto della norma UNI EN 13108-8 e UNI/TS 11688.

Il conglomerato bituminoso è posto in opera mediante macchina vibrofinitrice e subito costipato tramite rulli. La miscela impiegata deve essere qualificata in conformità al regolamento Ue 305/2011 sui prodotti da costruzione. L'Impresa aggiudicataria dell'appalto deve consegnare alla Direzione Lavori i dosaggi di tutti i componenti usati per il conglomerato bituminoso.

Ciascuna fornitura dovrà essere accompagnata dal documento di trasporto e dalla etichetta CE, attestante la conformità all'appendice ZA della norma europea armonizzata UNI EN 13108-1, da consegnare al momento della consegna in cantiere.

Una volta accettato il conglomerato bituminoso da parte della Direzione Lavori, l'Impresa aggiudicataria dell'appalto, è vincolata al rigoroso utilizzo di tutte le sue componenti nel rispetto delle tolleranze riportate nel paragrafo Penali.

### 2.3.1 Aggregati

Gli aggregati lapidei costituiscono la matrice litica del conglomerato bituminoso a caldo di tipo usura con 30% di aggregati non carbonatici (percentuale espressa in volume sulla miscela di inerti) e bitume modificato e sono composti da aggregati grossi, fini e filler proveniente dalla frazione fina (filler di recupero) 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). L'aggregato grosso ( $D \leq 45 \text{ mm}$ ;  $d \geq 2 \text{ mm}$ ) può essere di provenienza o natura petrografica diversa purché, per almeno il 30% in volume sulla miscela totale degli aggregati, risultino soddisfatti i requisiti indicati nella Tabella 16. La designazione dell'aggregato grosso deve essere effettuata mediante le dimensioni dei setacci appartenenti al gruppo di base, più gruppo 2 della UNI EN 13043.

Parametro	Metodo di prova	Unità di misura	Valori richiesti	Categoria UNI EN 13043
Resistenza alla frammentazione	UNI EN 1097-2	[%]	≤ 20	LA <sub>20</sub>
Percentuale di particelle frantumate	UNI EN 933-5	[%]	100	C <sub>100/0</sub>
Passante allo staccio 0,063 mm	UNI EN 933-1	[%]	≤ 2	f <sub>2</sub>
Resistenza al gelo e disgelo	UNI EN 1367-1	[%]	≤ 1	F <sub>1</sub>
Coefficiente di appiattimento	UNI EN 933-3	[%]	≤ 15	FI <sub>15</sub>
Coefficiente di forma	UNI EN 933-4	[%]	≤ 15	SI <sub>15</sub>
Resistenza alla levigabilità	UNI EN 1097-8	[-]	≥ 50	PSV <sub>50</sub>
Assorbimento d'acqua	UNI EN 1097-6	[%]	≤ 2	WA <sub>242</sub>

Tabella 16. Caratteristiche dell'aggregato grosso non carbonatica per conglomerato bituminoso a caldo tipo usura

Nel caso in cui, per la produzione del conglomerato sia necessario un ulteriore apporto di aggregato grosso, esso può essere di provenienza o natura petrografica diversa purché risultino soddisfatti i requisiti indicati nella Tabella 17. La designazione dell'aggregato grosso deve essere effettuata mediante le dimensioni dei setacci appartenenti al gruppo di base, più gruppo 2 della UNI EN 13043.

Parametro	Metodo di prova	Unità di misura	Valori richiesti	Categoria UNI EN 13043
Resistenza alla frammentazione	UNI EN 1097-2	[%]	≤ 25	LA <sub>25</sub>
Percentuale di particelle frantumate	UNI EN 933-5	[%]	100	C <sub>100/0</sub>
Passante allo staccio 0,063 mm	UNI EN 933-1	[%]	≤ 2	f <sub>2</sub>
Resistenza al gelo e disgelo	UNI EN 1367-1	[%]	≤ 1	F <sub>1</sub>
Coefficiente di appiattimento	UNI EN 933-3	[%]	≤ 25	FI <sub>25</sub>
Coefficiente di forma	UNI EN 933-4	[%]	≤ 25	SI <sub>25</sub>
Assorbimento d'acqua	UNI EN 1097-6	[%]	≤ 2	WA <sub>242</sub>

Tabella 17. Caratteristiche dell'aggregato grosso addizionale (origine calcarea) per conglomerato bituminoso a caldo tipo usura

L'aggregato fine ( $D \leq 2$  mm;  $d = 0$  mm) deve essere costituito esclusivamente da sabbie di frantumazione e potrà essere di provenienza o natura petrografica diversa purché, per ogni tipologia, risultino soddisfatti i requisiti indicati nella Tabella 18. Per motivi di congruenza con le pezzature fini attualmente prodotte in Italia, è permesso l'impiego come aggregato fine anche di aggregati in frazione unica con dimensione massima  $D = 4$  mm. La designazione dell'aggregato fine deve essere effettuata mediante le dimensioni dei setacci appartenenti al gruppo di base, più gruppo 2 della UNI EN 13043.

Parametro	Metodo di prova	Unità di misura	Valori richiesti	Categoria UNI EN 13043
Equivalente in sabbia	UNI EN 933-8	[%]	≥ 70	SE <sub>70</sub>
Indice di plasticità	UNI CEN ISO/TS 17892-12	-	Non plastico	-
Passante allo staccio 0,063 mm	UNI EN 933-1	[%]	≤ 5	f <sub>5</sub>

Tabella 18. Caratteristiche dell'aggregato fine per conglomerato bituminoso a caldo tipo usura

Il filler, frazione per la maggior parte passante allo staccio 0,063 mm, può essere costituito da polvere di roccia preferibilmente calcarea, da cemento, calce idrata, calce idraulica, ceneri volanti. Il filler deve inoltre soddisfare i requisiti indicati in Tabella 19. La granulometria del filler deve essere conforme a quella prevista della norma UNI EN 13043.

Parametro	Metodo di prova	Unità di misura	Valori richiesti	Categoria UNI EN 13043
Indice di plasticità	UNI CEN ISO/TS 17892-12	-	Non plastico	-
Porosità del filler secco compattato (Rigden)	UNI EN 1097-4	[%]	≥ 38	V <sub>38/45</sub>
Passante al setaccio 0,063	-	[%]	≥ 70	-
Stiffening Power	UNI EN 13179-1	[°C]	8 ÷ 25	Δ <sub>R&amp;B</sub> 8/25

Tabella 19. Caratteristiche del filler per conglomerato bituminoso a caldo tipo usura

Il paragrafo 1.2 (Certificati di prequalifica e relative penali) specifica le modalità di presentazione e accettazione della documentazione di qualifica.

Resta salva la facoltà della Direzione Lavori di verificare con controlli di accettazione i requisiti dichiarati dal produttore.

### 2.3.2 Additivi

Gli additivi come attivanti d'adesione costituiti da sostanze tensioattive o calce che favoriscono l'adesione bitume-aggregato possono essere impiegati nel conglomerato bituminoso per migliorare la durabilità all'acqua. La scelta del tipo e del dosaggio di additivo deve essere stabilita in modo da garantire le caratteristiche di resistenza allo spogliamento e di durabilità all'azione dell'acqua richieste per la miscela.

L'Impresa aggiudicataria dell'appalto è tenuta a presentare alla Direzione Lavori la scheda tecnica e di sicurezza dell'additivo per l'identificazione delle proprie caratteristiche e le modalità di impiego. Inoltre, si deve riportare, in apposito certificato rilasciato da un laboratorio conto terzi o dal produttore, lo spettro infrarosso dell'additivo, acquisito in trasmissione tramite Spettrometro Infrarosso (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FT-IR*) nell'intervallo delle frequenze tra 4000 e 400 cm<sup>-1</sup>, indicando le bande caratteristiche del prodotto e quelle individuabili nella miscela bitume-additivo. L'attivante di adesione scelto deve presentare caratteristiche chimiche stabili nel tempo anche se sottoposto a temperatura elevata (180°C).

Nel caso dell'utilizzo di calce, l'Impresa aggiudicataria dell'appalto è tenuta a presentare alla Direzione Lavori la marcatura CE della calce secondo la UNI EN 459-1. Il dosaggio dell'additivo deve essere specificato obbligatoriamente tra le caratteristiche del conglomerato bituminoso.

### 2.3.3 Bitume modificato

Il legante deve essere costituito da bitume modificato con polimeri elastomerici SBS che ne modificano la struttura fisica e le caratteristiche chimiche e meccaniche. Le proprietà del bitume modificato ed i relativi metodi di prova sono indicate nella Tabella 20.

Classe del bitume modificato UNI EN 14023			PmB 45/80-70	
Parametro	Metodo di prova	Unità di misura	Valori richiesti	Classe
Penetrazione a 25°C	UNI EN 1426	[× 0.1 mm]	45 ÷ 80	4
Punto di rammollimento	UNI EN 1427	[°C]	≥ 70	4
Punto di rottura (Fraass)	UNI EN 12593	[°C]	≤ - 12	6
Viscosità dinamica 180°C	UNI EN 13302	[mPa · s]	50 ÷ 200	-
Ritorno elastico a 25°C	UNI EN 13398	[%]	≥ 80	2
Coesione (Force Ductility Test at 10°C)	EN 13589 EN 13703	[J/cm <sup>2</sup> ]	≥ 2	6
Stabilità allo stoccaggio (Δ pen)	UNI EN 133399	[× 0.1 mm]	≤ 9	2
Stabilità allo stoccaggio (Δ R&B)	UNI EN 133399	[°C]	≤ 5	2
Resistenza all'invecchiamento RTFOT	UNI EN 12607-1			
Variazione di massa	UNI EN 12607-1	[%]	≤ 0,5	3
Penetrazione residua a 25°C	UNI EN 1426	[%]	≥ 60	7
Variazione della temperatura di rammollimento	UNI EN 1427	[°C]	≤ 8	2

Tabella 20. Caratteristiche del bitume modificato per conglomerato bituminoso a caldo tipo usura

Il paragrafo 1.2 (Certificati di prequalifica e relative penali) specifica le modalità di presentazione e accettazione della documentazione di qualifica.

Resta salva la facoltà della Direzione Lavori di verificare con controlli di accettazione i requisiti dichiarati dal produttore.

### 2.3.4 Miscela di progetto

La miscela degli aggregati da adottare per la produzione del conglomerato bituminoso deve avere una composizione granulometrica contenuta nei fusi riportati in Tabella 21. La percentuale di bitume deve essere compresa nei limiti indicati nella stessa tabella. I fusi AC14 e AC12 si riferiscono a uno spessore dello strato compreso tra 4 e 5 cm, mentre il fuso AC8 si riferisce a uno spessore dello strato di 3 cm. Il fuso AC 14 è raccomandato per la viabilità principale.

Fuso granulometrico			
Classe di conglomerato bituminoso	AC14	AC12	AC8
Apertura setacci UNI [mm]	Passante totale in peso [%]		
20	100	100	-
14	90 - 100	-	-
12,5	-	90 - 100	100
10	75 - 90	-	-
8	-	72 - 84	90 - 100
6,3	55 - 75	-	75 - 88
4	-	44 - 55	53 - 66
2	25 - 40	26 - 36	30 - 43
0,5	15 - 25	14 - 20	17 - 25
0,25	10 - 20	10 - 15	11 - 17
0,063	5 - 10	6,0 - 10	6,0 - 10
Contenuto di bitume			
Contenuto di bitume riferito alla miscela [%]	4,7 - 5,8	4,7 - 5,8	4,9 - 6,0
Contenuto di bitume riferito agli aggregati [%]	4,9 - 6,2	4,9 - 6,2	5,2 - 6,4
I valori del contenuto di bitume devono essere adeguati agli aggregati utilizzati moltiplicandoli per il fattore: $a = 2,650/\rho_a$ , dove $\rho_a$ è la massa volumica apparente degli aggregati, in Mg/m³ determinata secondo la UNI EN 1097-6.			

Tabella 21. Fuso di progetto e intervallo del contenuto di bitume per conglomerato bituminoso a caldo tipo usura

Le caratteristiche del conglomerato bituminoso devono essere determinate tramite il metodo volumetrico (UNI EN 12697-31, UNI EN 12697-23) e ricavate dalla media di almeno tre campioni considerando un coefficiente di variazione  $\leq 0,15$  (deviazione standard/media).

Secondo il metodo volumetrico (Tabella 22), i provini devono essere compattati mediante compattatore giratorio ad un numero di giri totali  $N_3$ . La densità di ogni provino compattato a  $N_3$  giri deve essere misurata secondo quanto stabilito dalla UNI EN 12697-6 procedura C (massa volumica apparente, provino sigillato  $\rho_{bseal}$ ) e procedura D (massa volumica apparente con metodo geometrico  $\rho_{bdim}$ ). Il rapporto tra densità del provino sigillato  $\rho_{bseal}$  a  $N_3$  giri e densità geometrica del provino  $\rho_{bdim}$  a  $N_3$  giri è usato come fattore correttivo ( $f = \rho_{bseal} / \rho_{bdim}$ ) di tutte le densità geometriche registrate durante il processo di compattazione ( $densità corretta = densità geometrica \times f$ ). La densità corretta e la densità massima teorica  $\rho_m$  (UNI EN 12697-5) sono usate per il calcolo dei vuoti  $V_m$  del provino durante il processo di compattazione. La verifica della percentuale dei vuoti  $V_m$  calcolati secondo la UNI EN 12697-8 deve essere eseguita a tre livelli di compattazione:  $N_1$  (iniziale, post-stesa),  $N_2$  (intermedio, post-rullatura),  $N_3$  (finale, previsionale post-traffico).

I vuoti nell'aggregato minerale *VMA* e i vuoti riempiti di bitume *VFB* devono essere calcolati secondo la UNI EN 12697-8 in riferimento al livello di compattazione *N<sub>2</sub>*.

La miscela di progetto deve verificare i requisiti volumetrici e meccanici riportati in Tabella 22.

Quando prodotto in laboratorio, il conglomerato bituminoso deve essere confezionato in accordo alla UNI EN 12697-35.

Condizioni di compattazione			
Parametro	Unità di misura	Normativa di riferimento	Valori richiesti
Angolo di rotazione esterno	[°]	SHRP Designation M-002	1,25 ± 0,02
Velocità di rotazione	[rotazioni/min]	UNI EN 12697-31	30
Pressione verticale	[kPa]	UNI EN 12697-31	600
Diametro della fustella	[mm]	UNI EN 12697-31	100
Massa del campione	[kg]	-	1,100
Temperatura di compattazione (conglomerato bituminoso con bitume modificato)	[°C]	UNI EN 12697-35	temperatura operativa ± 10
Proprietà volumetriche e meccaniche			
Parametro	Unità di misura	Normativa di riferimento	Valori richiesti
<i>V<sub>m</sub></i> a 10 rotazioni ( <i>N<sub>1</sub></i> )	[%]	UNI EN 12697-8	11 – 15
<i>V<sub>m</sub></i> a 100 rotazioni ( <i>N<sub>2</sub></i> )	[%]	UNI EN 12697-8	3 – 6
<i>VMA</i> a 100 rotazioni ( <i>N<sub>2</sub></i> )	[%]	UNI EN 12697-8	> 12
<i>VFB</i> a 100 rotazioni ( <i>N<sub>2</sub></i> )	[%]	UNI EN 12697-8	65 – 80
<i>V<sub>m</sub></i> a 180 rotazioni ( <i>N<sub>3</sub></i> )	[%]	UNI EN 12697-8	> 2
Resistenza a trazione indiretta a 25°C a <i>N<sub>2</sub></i> ( <i>ITS</i> )	[N/mm <sup>2</sup> ]	UNI EN 12697-23	0,95 – 1,80
Coef. Di trazione indiretta <sup>1</sup> a 25°C a <i>N<sub>2</sub></i> ( <i>CTI</i> )	[N/mm <sup>2</sup> ]	-	≥ 100
Sensibilità all'acqua ( <i>ITSR</i> )	[%]	UNI EN 12697-12	≥ 90

<sup>1</sup> *CTI* =  $\frac{\pi \cdot D \cdot ITS}{2 \cdot d_v}$  dove *D* è il diametro del provino e *d<sub>v</sub>* è lo schiacciamento verticale registrato in corrispondenza del carico massimo

Tabella 22. Caratteristiche della miscela di progetto per conglomerato bituminoso a caldo tipo usura

Il paragrafo 1.2 (Certificati di prequalifica e relative penali) specifica le modalità di presentazione e accettazione della documentazione di qualifica.

L'Impresa aggiudicataria dell'appalto deve dichiarare l'intervallo di temperatura di stesa del prodotto affinché siano garantite le prestazioni richieste. Il produttore deve inoltre dichiarare la ricetta del conglomerato bituminoso, il dosaggio e il tipo di additivo eventualmente impiegato.

Per progetti con produzione superiore a 4.000 tonnellate, l'Impresa aggiudicataria dell'appalto deve consegnare settimanalmente alla Direzione Lavori i rapporti di prova di granulometria e contenuto di bitume eseguiti ogni 1.000 tonnellate di produzione che potranno essere rilasciati da un laboratorio conto terzi o dal fornitore.

### 2.3.5 Produzione della miscela

Il conglomerato bituminoso è confezionato mediante impianti fissi automatizzati, di idonee caratteristiche, mantenuti sempre perfettamente funzionanti in ogni loro parte.

La produzione di ciascun impianto non deve 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.

L'impianto deve garantire uniformità di produzione ed essere in grado di realizzare una miscela rispondente alle caratteristiche dichiarate di progetto. Ogni impianto deve assicurare il riscaldamento del bitume alla temperatura opportuna a mantenere una viscosità uniforme fino al momento della miscelazione, nonché il perfetto dosaggio sia del bitume che di eventuali additivi.

La zona destinata allo stoccaggio degli inerti deve essere preventivamente e convenientemente scelta per evitare la contaminazione da sostanze argillose e ristagni di acqua che possono compromettere la pulizia degli aggregati. Inoltre, i cumuli delle diverse classi dovranno essere separati tra di loro e l'operazione di rifornimento nei predosatori eseguita con la massima cura. Si deve far uso di almeno 4 classi di aggregati con predosatori in numero corrispondente alle classi impiegate.

Il tempo di miscelazione è stabilito in funzione delle caratteristiche dell'impianto, in misura tale da permettere un completo ed uniforme rivestimento degli inerti con il legante.

La temperatura degli aggregati e del bitume all'atto della miscelazione deve garantire il raggiungimento delle prestazioni richieste della miscela a seguito della stesa. Per la verifica delle suddette temperature, gli essiccatore, le caldaie e le tramogge degli impianti devono essere muniti di termometri fissi perfettamente funzionanti e periodicamente tarati.

L'umidità degli aggregati all'uscita dell'essiccatore non deve superare lo 0,5% in peso.

### 2.3.6 Preparazione della superficie di stesa

La stesa del conglomerato bituminoso avviene solo dopo che sia stata accertata dalla Direzione Lavori la rispondenza del piano di posa ai requisiti di quota, sagoma, densità e portanza indicati in progetto. Il piano di posa deve risultare perfettamente pulito e privo di ogni residuo di qualsiasi natura.

Prima della realizzazione dello strato in conglomerato bituminoso è necessario preparare la superficie di stesa allo scopo di garantire una adeguata adesione all'interfaccia mediante l'applicazione di una emulsione bituminosa aventi caratteristiche specifiche (UNI EN 13808, UNI/TR 11362).

A seconda che lo strato di supporto sia un misto granulare, misto cementato oppure un conglomerato bituminoso (nuovo, fresato o usurato), la lavorazione corrispondente prende il nome rispettivamente di impregnazione (mano di ancoraggio) e mano d'attacco.

Entrambe le lavorazioni sono dettagliate rispettivamente nei paragrafi 9.1 e 9.2.

### 2.3.7 Posa in opera della miscela

La posa in opera del conglomerato bituminoso è effettuata a mezzo di macchine vibrofinitrici dei tipi approvati dalla Direzione Lavori in perfetto stato di efficienza e dotate di automatismi di autolivellamento. La Direzione Lavori si riserva la facoltà di poter far variare la tecnologia ritenuta non opportuna.

Le vibrofinitrici non devono mai operare a velocità di stesa superiori a 5 m/min e devono comunque lasciare uno strato finito perfettamente sagomato, privo di sgranamenti, fessurazioni, esente da difetti dovuti a segregazione degli elementi litoidi più grossi.

Durante la stesa si deve porre la massima cura alla formazione dei giunti longitudinali e trasversali.

Nel caso di costruzione di due strisce adiacenti, il giunto longitudinale sarà preferibilmente ottenuto mediante tempestivo affiancamento di una striscia alla precedente o con l'impiego di due vibrofinitri. Qualora ciò non sia possibile, se il bordo risulta danneggiato o arrotondato si deve procedere al taglio verticale (rettifica) con idonea attrezzatura e ad una successiva spruzzatura di emulsione bituminosa cationica a rapida rottura per assicurare la saldatura delle due strisce. Nel caso in cui il nuovo strato sia in adiacenza ad uno strato esistente, prima della stesa si deve provvedere alla rettifica del bordo dello strato esistente e alla spruzzatura con emulsione bituminosa cationica a rapida rottura per assicurare la saldatura della nuova striscia all'esistente.

Il giunto trasversale, di inizio o fine produzione giornaliera o inizio o fine sezione, deve essere realizzato tramite taglio verticale (rettifica) con idonea attrezzatura e ad una successiva spruzzatura di emulsione bituminosa cationica a rapida rottura.

Tutti i giunti devono essere sigillati dopo la compattazione tramite percolazione di emulsione bituminosa cationica a rapida rottura ed eventuale saturazione superficiale con sabbia o filler. La sigillatura con emulsione bituminosa deve essere eseguita anche sulle sponde della striscia di margine laterale.

La sovrapposizione dei giunti tra i vari strati sovrapposti deve essere programmata e realizzata in maniera che essi risultino tra loro sfalsati di almeno 20 cm e non cadano mai in corrispondenza delle due fasce della corsia di marcia normalmente interessate dalla traccia dei veicoli.

Il trasporto del conglomerato bituminoso dall'impianto di confezionamento al cantiere di stesa deve avvenire mediante mezzi di trasporto di adeguata portata, efficienti e veloci, sempre dotati di telone di copertura per evitare un eccessivo raffreddamento del prodotto e la formazione di croste.

La temperatura del conglomerato bituminoso all'atto della stesa, controllata immediatamente dietro la vibrofinitrice, deve rispettare l'intervallo di temperatura dichiarato per lo specifico prodotto.

La stesa del conglomerato bituminoso deve avvenire in maniera continua e senza interruzioni fino a completo esaurimento del materiale trasportato, evitando problemi causati dal possibile raffreddamento superficialmente del materiale. La stesa del conglomerato bituminoso deve essere sospesa quando le condizioni meteorologiche generali possono pregiudicare la perfetta riuscita del lavoro. Gli strati eventualmente compromessi devono essere immediatamente rimossi e successivamente ricostruiti a spese dell'Impresa.

La compattazione del conglomerato bituminoso deve iniziare appena steso dalla vibrofinitrice e condotta a termine senza interruzioni.

L'addensamento deve essere realizzato con un rullo vibrante tandem di massimo 10 tonnellate, seguito da un eventuale rullo gommato con almeno cinque ruote e peso di almeno 12 tonnellate a discrezione della Direzione Lavori. Il rullo gommato deve operare in un intervallo di temperatura tale da non ormaiare lo strato e, allo stesso tempo, evitare che il conglomerato si attacchi allo pneumatico.

A chiudere la fase di compattazione, il rullo tandem provvede all'eventuale finitura in modalità statica. I rulli in fase di compattazione non devono mai procedere con velocità superiori a 5 km/h.

La compattazione deve essere condotta con la metodologia più adeguata a ottenere uniforme addensamento in ogni punto ed evitare fessurazioni e scorrimenti nello strato appena steso.

Eventuali principi di sgranature o aree con affioramento superficiale di aggregati grossi indice di segregazione della miscela, specialmente nei pressi delle zone di partenza o fermata della vibrofinitrice o attigue a pozzetti o aree soggette a lavorazioni a mano, devono essere rese saldamente coese con sigillatura, anche manuale, con emulsione bituminosa e filler o sabbia.

### 2.3.8 Controlli

Il controllo della qualità del conglomerato bituminoso è effettuato mediante prove di laboratorio su materiali costituenti, miscela, carote e superficie dello strato per verificare le caratteristiche di accettabilità. La Tabella 23 mostra il tipo di campione, l'ubicazione, la frequenza dei prelievi e le prove che si devono eseguire per controllare tutto il processo di costruzione.

Controllo dei materiali e verifiche prestazionali			
Tipo di campione	Ubicazione del controllo	Frequenza del controllo	Requisiti
Aggregato grosso	Impianto	Inizio cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	Caratteristiche
Aggregato fine	Impianto	Inizio cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	Caratteristiche
Filler	Impianto	Inizio cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	Caratteristiche
Bitume	Cisterna	Inizio cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	Caratteristiche
Conglomerato bituminoso sfuso	Vibrofinitrice	Giornaliera o ogni 5000 m <sup>2</sup> di stesa cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	Temperatura di stesa, contenuto di bitume, granulometria, caratteristiche volumetriche e meccaniche, additivi
Carote	Pavimentazione	Ogni 250 m di stesa cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	Spessore, contenuto di vuoti ( $V_m = 2 - 8\%$ )
Superficie della pavimentazione	Pavimentazione	Ogni 250 m di stesa cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	Pendulum Test Value (PTV $\geq 55$ )
Superficie della pavimentazione	Pavimentazione	Ogni 250 m di stesa cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	Macrotexuture depth (MTD = 0,4 – 1,0)
Superficie della pavimentazione	Pavimentazione	Ogni 250 m di stesa cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	Scostamento ( $\Delta \leq 5$ mm)

Tabella 23. Controlli per il conglomerato bituminoso di tipo usura con 30% di aggregati non carbonatici e bitume modificato

La temperatura di stesa del conglomerato bituminoso a caldo tipo usura con 30% di aggregati non carbonatici e bitume modificato deve essere controllata immediatamente dietro la vibrofinitrice all'atto della stesa e deve rispettare l'intervallo di temperatura dichiarato per lo specifico prodotto.

Ogni prelievo deve essere costituito da due campioni:

- uno utilizzato per i controlli presso un laboratorio conto terzi selezionato dalla Direzione Lavori;
- uno a disposizione dell'impresa aggiudicataria dell'appalto.

Per ogni campione di conglomerato bituminoso sfuso vengono determinate: la percentuale di bitume (UNI EN 12697-1), la granulometria degli aggregati estratti (UNI EN 12697-2) e la densità massima teorica (UNI EN 12697-5).

Con lo stesso materiale dovranno essere compattati tre provini con compattatore giratorio a N<sub>3</sub> giri per le verifiche volumetriche e tre provini a N<sub>2</sub> giri per la verifica dei valori ITS e CTI.

Le carote estratte dalla pavimentazione permettono le verifiche dello spessore e del contenuto di vuoti. La percentuale di vuoti è determinata sulla base della densità massima teorica (calcolata o misurata) sul più vicino campionamento di conglomerato bituminoso sfuso. In mancanza di valori misurati o calcolati può

essere usata della densità massima teorica dichiarata. Lo spessore dello strato viene determinato facendo la media delle quattro altezze relative a due diametri ortogonali della circonferenza delle carote estratte. È raccomandato eseguire il primo carotaggio il giorno seguente l'inizio dei lavori.

Carote aggiuntive possono essere prelevate a discrezione della Direzione Lavori per eventuali prove meccaniche (*ITS e CTI*).

La macrotessitura e la resistenza allo slittamento/derapaggio sulla superficie stradale devono essere verificate rispettivamente con la tecnica volumetrica ad impronta (UNI EN 13036-1) e il metodo del pendolo (UNI EN 13036-4) tra il trentesimo e il sessantesimo giorno dall'apertura al traffico.

Le eventuali irregolarità  $\Delta$  superficiali devono essere misurate in direzione longitudinale e trasversale tramite un regolo di 3 m (UNI EN 13036-7).

Per progetti con produzione superiore a 4.000 tonnellate, l'Impresa aggiudicataria dell'appalto deve consegnare settimanalmente alla Direzione Lavori i rapporti di prova di granulometria e contenuto di bitume eseguiti ogni 1.000 tonnellate di produzione che potranno essere rilasciati da un laboratorio conto terzi o dal fornitore.

I controlli saranno effettuati per produzioni giornaliere superiori a 30 tonnellate.

### 2.3.9 Penali

Le detrazioni di seguito descritte sono applicate in punti percentuali sul prezzo di aggiudicazione lavori del conglomerato bituminoso a caldo tipo usura con 30% di aggregati non carbonatici (preparazione, materiale e stesa) e bitume modificato.

Il non rispetto dell'intervallo di temperatura di stesa dichiarato per lo specifico prodotto comporta il rifiuto del materiale.

Per i materiali costituenti, le caratteristiche composite, volumetriche e meccaniche della miscela e delle carote estratte, la Direzione Lavori valuta l'accettabilità del conglomerato e le eventuali penali da applicare.

Il non rispetto del tipo e del dosaggio di additivo, la Direzione Lavori si riserva di stabilire l'accettabilità del conglomerato e le eventuali penali da applicare.

Nell'ambito di progetti con produzione superiore a 4.000 tonnellate, la non consegna settimanale da parte dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto dei rapporti di prova di granulometria e contenuto di bitume eseguiti ogni 1.000 tonnellate di produzione, rilasciati da un laboratorio conto terzi o dal fornitore, comporta il rifiuto del materiale.

La curva granulometrica, il contenuto di aggregati non carbonatici e il contenuto di bitume riscontrati dopo l'estrazione del conglomerato bituminoso sciolto, in riferimento alla ricetta (prodotto accettato dalla Direzione Lavori), deve rispettare le seguenti tolleranze:

- granulometria: per dimensione superiore o uguale a 4 mm si applica una tolleranza di  $\pm 5$  punti percentuali;
- granulometria: per dimensioni comprese tra 4 e 0,063 mm si applica una tolleranza di  $\pm 3$  punti percentuali;
- granulometria: al passante al setaccio 0,063 mm si applica una tolleranza di  $\pm 1,5$  punti percentuali;

- contenuto di aggregati non carbonatici: è tollerata una carenza massima di 10 punti percentuali;
- contenuto di bitume: si applica una tolleranza del  $\pm 5\%$  rispetto al valore dichiarato per la miscela di progetto (es.: contenuto di bitume di progetto = 5%, intervallo di tolleranza 5,25-4,75%).

Nel caso di non conformità la Direzione Lavori può richiedere, in funzione del contesto, il rifacimento dello strato, opere di ripristino a spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto o l'applicazione di una detrazione del 10% sul prezzo di aggiudicazione lavori della lavorazione per lo strato interessato. La superficie di riferimento è calcolata considerando la lunghezza compresa tra la metà della distanza dalla misurazione precedente e la metà della distanza dalla misurazione successiva (oppure considerando la lunghezza del tronco omogeneo) moltiplicato per la larghezza dell'intervento.

Per lo spessore dello strato, determinato da misurazioni sulle carote estratte dalla pavimentazione è tollerata una carenza massima del 10 % rispetto allo spessore di progetto. Per carenze superiori al 10 %, è applicata una detrazione percentuale pari a:

$$\text{Detrazione percentuale per carenza di spessore} = 3 \times (c - 10)$$

dove  $c$  rappresenta la carenza di spessore rispetto al valore di progetto espressa in percentuale. Per esempio, se la differenza è del 13 % rispetto al valore di progetto, la penale sarà del  $(13 - 10) \cdot 3 = 9\%$ . Se la differenza supererà il 25 % (in diminuzione), la Direzione Lavori può richiedere il rifacimento dello strato a completa cura e spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto (per esempio, se lo spessore di progetto è pari a 4 cm, al di sotto 3 cm sarà richiesto il rifacimento). In alternativa alla rimozione e ricostruzione, la Direzione Lavori potrà autorizzare la stesa di uno strato di conguaglio (previa spruzzatura della mano di attacco) di spessore tale da consentire il raggiungimento lo spessore totale atteso. Per la ricarica può essere impiegato lo stesso conglomerato bituminoso che non può comunque essere di spessore inferiore a cm 3 (spessore minimo in funzione della dimensione massima). Nel rispetto delle quote finali di progetto, la Direzione Lavori valuta la possibilità di una fresatura parziale per aver modo di stendere lo strato di conguaglio nel rispetto del suo spessore minimo. La superficie a cui applicare la detrazione è calcolata considerando la lunghezza compresa tra la metà della distanza dalla carota precedente e la metà della distanza dalla carota successiva (oppure considerando la lunghezza del tronco omogeneo) moltiplicato per la larghezza dell'intervento.

Per valori dei vuoti determinati sulle carote superiori al 8 % verrà applicata una detrazione percentuale pari a:

$$\text{Detrazione percentuale per vuoti eccesivi} = 2 \cdot s + s^2$$

dove  $s$  è lo scostamento (eccedenza) dei valori ottenuti dalle carote rispetto al valore limite del 8 %. Per esempio, se la percentuale dei vuoti rilevati dalla carota estratta è del 11 %, la detrazione da applicare è pari a  $2 \cdot (11 - 8) + (11 - 8)^2$  ossia del 15 %. Per valori dei vuoti superiori al 12 % la Direzione Lavori può richiedere il rifacimento dello strato a spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto. La superficie a cui applicare la detrazione è calcolata considerando la lunghezza compresa tra la metà della distanza dalla carota precedente e la metà della distanza dalla carota successiva (oppure considerando la lunghezza del tronco omogeneo) moltiplicato per la larghezza dell'intervento. Nel caso in cui siano presenti pendenze longitudinali superiori al 8 %, il valore limite della percentuale di vuoti per l'applicazione delle detrazioni è il 10 % mentre per la rimozione il 15 %.

La superficie dello strato deve presentarsi priva di irregolarità ed ondulazioni. È tollerato uno scostamento massimo di 5 mm al di sopra del quale la Direzione Lavori può richiedere, in funzione del contesto, il rifacimento dello strato, opere di ripristino a spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto o l'applicazione

di una detrazione del 10% sul prezzo di aggiudicazione della lavorazione per lo strato interessato. La superficie di riferimento è calcolata considerando la lunghezza compresa tra la metà della distanza dalla misurazione precedente e la metà della distanza dalla misurazione successiva (oppure considerando la lunghezza del tronco omogeneo) moltiplicato per la larghezza dell'intervento.

Per valori PTV inferiori a 55 è applicata una detrazione dell'1% per ogni unità in meno. Valori PTV inferiori a 50 comportano in funzione del contesto, il rifacimento dello strato, opere di ripristino a spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto o l'applicazione di una detrazione del 10% sul prezzo di aggiudicazione della lavorazione per lo strato interessato. La superficie a cui applicare la detrazione è calcolata considerando la lunghezza compresa tra la metà della distanza dalla misurazione precedente e la metà della distanza dalla misurazione successiva (oppure considerando la lunghezza del tronco omogeneo) moltiplicato per la larghezza dell'intervento.

Per valori MTD inferiori a 0,40 o superiori a 1,00 è applicata una detrazione dell'1% per ogni 5 decimi di scostamento. Valori MTD inferiori a 0,25 o superiori a 1,15 comportano, in funzione del contesto, il rifacimento dello strato, opere di ripristino a spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto o l'applicazione di una detrazione del 10% sul prezzo di aggiudicazione della lavorazione per lo strato interessato. La superficie a cui applicare la detrazione è calcolata considerando la lunghezza compresa tra la metà della distanza dalla misurazione precedente e la metà della distanza dalla misurazione successiva (oppure considerando la lunghezza del tronco omogeneo) moltiplicato per la larghezza dell'intervento.

Salvo casi particolari che andranno giudicati dalla Direzione Lavori, le penali precedentemente indicate sono cumulabili.



Capitolato Speciale d'Appalto per la Manutenzione  
Straordinaria di Pavimentazioni Stradali  
Versione 23-10-2022

GEAT s.r.l.

Sede legale:

Viale Lombardia 17 – 47838 Riccione (RN)

tel.: 0541/668011 - fax: 0541/643613

PEC: geat@legal-pec.it - www.geat.it

### 3 Strato di binder a caldo

### 3.1 Conglomerato bituminoso a caldo tipo binder tradizionale

#### **Elenco prezzi: NV 7.**

Il conglomerato bituminoso a caldo tipo binder tradizionale è costituito da una miscela di inerti vergini (pietrischi, graniglie, sabbie e filler), eventuali additivi, impastata con bitume a caldo in impianti di tipo fisso automatizzati. È ammesso l'uso di conglomerato bituminoso di recupero fino al 20% in peso sulla miscela totale nel rispetto della norma UNI EN 13108-8 e UNI/TS 11688. Il conglomerato bituminoso a caldo tipo binder tradizionale è posto in opera mediante macchina vibrofinitrice e subito costipato tramite rulli. La miscela impiegata deve essere qualificata in conformità al regolamento UE 305/2011 sui prodotti da costruzione. L'Impresa aggiudicataria dell'appalto deve consegnare alla Direzione Lavori i dosaggi di tutti i componenti usati per il conglomerato bituminoso.

Ciascuna fornitura deve essere accompagnata dal documento di trasporto e dalla marcatura CE, attestante la conformità all'appendice ZA della norma europea armonizzata UNI EN 13108-1, da consegnare al momento della consegna in cantiere.

Una volta accettato il conglomerato bituminoso da parte della Direzione Lavori, l'Impresa aggiudicataria dell'appalto, è vincolata al rigoroso utilizzo di tutte le sue componenti nel rispetto delle tolleranze riportate nel paragrafo Penali.

#### 3.1.1 Aggregati

Gli aggregati lapidei costituiscono la matrice litica del conglomerato bituminoso e sono composti da aggregati grossi, fini e filler proveniente dalla frazione fina (filler di recupero) o di additivazione.

Gli aggregati grossi e fini sono costituiti da elementi ottenuti dalla lavorazione di materiali naturali (rocce, aggregati naturali tondegianti, aggregati naturali a spigoli vivi). L'aggregato grosso ( $D \leq 45$  mm;  $d \geq 2$  mm) può essere di provenienza o natura petrografica diversa purché, per ogni tipologia, risultino soddisfatti i requisiti indicati nella Tabella 24. La designazione dell'aggregato grosso deve essere effettuata mediante le dimensioni dei setacci appartenenti al gruppo di base, più gruppo 2 della UNI EN 13043.

Parametro	Metodo di prova	Unità di misura	Valori richiesti	Categoria UNI EN 13043
Resistenza alla frammentazione	UNI EN 1097-2	[%]	$\leq 25$	LA <sub>25</sub>
Percentuale di particelle frantumate	UNI EN 933-5	[%]	100	C <sub>100/0</sub>
Percentuale di particelle frantumate*	UNI EN 933-5	[%]	-	C <sub>90/3</sub>
Passante allo staccio 0,063 mm	UNI EN 933-1	[%]	$\leq 2$	f <sub>2</sub>
Resistenza al gelo e disgelo	UNI EN 1367-1	[%]	$\leq 1$	F <sub>1</sub>
Coefficiente di appiattimento	UNI EN 933-3	[%]	$\leq 25$	FI <sub>25</sub>
Coefficiente di forma	UNI EN 933-4	[%]	$\leq 25$	SI <sub>25</sub>
Assorbimento d'acqua	UNI EN 1097-6	[%]	$\leq 2$	WA <sub>242</sub>

\*in misura inferiore al 20% in volume sul materiale granulare

Tabella 24. Caratteristiche dell'aggregato grosso

L'aggregato fine ( $D \leq 2$  mm;  $d = 0$  mm) deve essere costituito esclusivamente da sabbie di frantumazione e può essere di provenienza o natura petrografica diversa purché, per ogni tipologia, risultino soddisfatti i requisiti indicati nella Tabella 25. Per motivi di congruenza con le pezzature fini attualmente prodotte in Italia, è permesso l'impiego come aggregato fine anche di aggregati in frazione unica con dimensione massima D =

4 mm. La designazione dell'aggregato fine deve essere effettuata mediante le dimensioni dei setacci appartenenti al gruppo di base, più gruppo 2 della UNI EN 13043.

Parametro	Metodo di prova	Unità di misura	Valori richiesti	Categoria UNI EN 13043
Equivalente in sabbia	UNI EN 933-8	[%]	$\geq 70$	SE <sub>70</sub>
Indice di plasticità	UNI CEN ISO/TS 17892-12	-	Non plastico	-
Passante allo staccio 0,063 mm	UNI EN 933-1	[%]	$\leq 5$	f <sub>5</sub>

Tabella 25. Caratteristiche dell'aggregato fine

Il filler, frazione per la maggior parte passante allo staccio 0,063 mm, può essere costituito da polvere di roccia preferibilmente calcarea, da cemento, calce idrata, calce idraulica e ceneri volanti. Il filler deve inoltre soddisfare i requisiti indicati in Tabella 26. La granulometria del filler deve essere conforme a quella prevista della norma UNI EN 13043.

Parametro	Metodo di prova	Unità di misura	Valori richiesti	Categoria UNI EN 13043
Indice di plasticità	UNI CEN ISO/TS 17892-12	-	Non plastico	-
Porosità del filler secco compattato (Rigden)	UNI EN 1097-4	[%]	$\geq 38$	V <sub>38/45</sub>
Passante al setaccio 0,063 mm	-	[%]	$\geq 70$	-
Stiffening Power	UNI EN 13179-1	[°C]	8 – 25	Δ <sub>R&amp;B8/25</sub>

Tabella 26. Caratteristiche del filler

Il paragrafo 1.2 (Certificati di prequalifica e relative penali) specifica le modalità di presentazione e accettazione della documentazione di prequalifica.

### 3.1.2 Additivi

Gli additivi come attivanti d'adesione costituiti da sostanze tensioattive o calce che favoriscono l'adesione bitume-aggregato possono essere impiegati nel conglomerato bituminoso per migliorare la durabilità all'acqua.

La scelta del tipo e del dosaggio di additivo deve essere stabilita in modo da garantire le caratteristiche di resistenza allo spogliamento e di durabilità all'azione dell'acqua richieste per la miscela.

L'Impresa aggiudicataria dell'appalto è tenuta a presentare alla Direzione Lavori la scheda tecnica e di sicurezza dell'additivo per l'identificazione delle proprie caratteristiche e le modalità di impiego. Inoltre, si deve riportare, in apposito certificato rilasciato da un laboratorio conto terzi o dal produttore, lo spettro infrarosso dell'additivo, acquisito in trasmissione tramite Spettrometro Infrarosso (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FT-IR*) nell'intervallo delle frequenze tra 4000 e 400 cm<sup>-1</sup>, indicando le bande caratteristiche del prodotto e quelle individuabili nella miscela bitume-additivo. L'attivante di adesione scelto deve presentare caratteristiche chimiche stabili nel tempo anche se sottoposto a temperatura elevata (180°C).

Nel caso dell'utilizzo di calce, l'Impresa aggiudicataria dell'appalto è tenuta a presentare alla Direzione Lavori la marcatura CE della calce secondo la UNI EN 459-1.

Il dosaggio dell'additivo deve essere specificato obbligatoriamente tra le caratteristiche del conglomerato bituminoso.

### 3.1.3 Bitume

Il bitume deve appartenere alle classi di penetrazione 50/70 oppure 70/100, definite dalla UNI EN 12591. La preferenza di impiego, specificata dalla Direzione Lavori in fase di progetto, è per la classe 50/70 per le stagioni più calde, mentre la classe 70/100 è raccomandata nelle stagioni più fredde. Le proprietà dei bitumi ed i relativi metodi di prova sono indicate nella Tabella 27.

Classe del bitume UNI EN 12591			50/70	70/100
Parametro	Metodo di prova	Unità di misura	Valori richiesti	Valori richiesti
Penetrazione a 25°C	UNI EN 1426	[× 0,1 mm]	50 – 70	70 – 100
Punto di rammollimento	UNI EN 1427	[°C]	46 – 54	43 – 51
Punto di rottura (Fraass)	UNI EN 12593	[°C]	≤ - 8	≤ - 10
Viscosità dinamica 160°C	UNI EN 13302	[mPa · s]	50 – 200	50 – 200
Solubilità	UNI EN 12592	[%]	≥ 99	≥ 99
Resistenza all'invecchiamento RTFOT	UNI EN 12607-1			
Variazione di massa	UNI EN 12607-1	[%]	≤ 0,5	≤ 0,8
Penetrazione residua a 25°C	UNI EN 1426	[%]	≥ 50	≥ 46
Variazione della temperatura di rammollimento	UNI EN 1427	[°C]	≤ 11	≤ 11

Tabella 27. Caratteristiche del bitume tradizionale

Il paragrafo 1.2 (Certificati di prequalifica e relative penali) specifica le modalità di presentazione e accettazione della documentazione di prequalifica.

### 3.1.4 Miscela di progetto

La miscela degli aggregati da adottare per la produzione del conglomerato bituminoso a caldo di tipo binder tradizionale deve avere una composizione granulometrica contenuta nei fusi riportati in Tabella 28. La percentuale di bitume deve essere compresa nei limiti indicati nella stessa tabella. Il fuso AC20 si riferisce a uno spessore dello strato compreso tra 7 e 12 cm, mentre il fuso AC16 si riferisce a uno spessore dello strato compreso tra 5 e 7 cm.

Fuso granulometrico		
Classe di conglomerato bituminoso	AC20	AC16
Apertura setacci UNI [mm]		Passante totale in peso [%]
31,5	100	-
20	90 – 100	100
16	-	90 – 100
10	56 – 68	73 – 85
4	37 – 48	45 – 56
2	23 – 33	28 – 38
0,5	11 – 17	16 – 24
0,25	6 – 12	11 – 18
0,063	4,0 – 7,0	4,0 – 8,0
Contenuto di bitume		
Contenuto di bitume riferito alla miscela [%]	4,0 – 5,5	4,0 – 5,5
Contenuto di bitume riferito agli aggregati [%]	4,2 – 5,8	4,2 – 5,8

I valori del contenuto di bitume devono essere adeguati agli aggregati utilizzati moltiplicandoli per il fattore:  
 $a = 2,650 / \rho_a$ , dove  $\rho_a$  è la massa volumica apparente degli aggregati, in Mg/m³ determinata secondo la UNI EN 1097-6.

Tabella 28. Fuso di progetto e intervallo del contenuto di bitume

Le caratteristiche del conglomerato bituminoso devono essere determinate tramite il metodo volumetrico (UNI EN 12697-31, UNI EN 12697-23) e ricavate dalla media di almeno tre campioni considerando un coefficiente di variazione ≤ 0,15 (deviazione standard/media).

Secondo il metodo volumetrico (Tabella 29), i provini devono essere compattati mediante compattatore giratorio ad un numero di giri totali  $N_3$ . La densità di ogni provino compattato a  $N_3$  giri deve essere misurata secondo quanto stabilito dalla UNI EN 12697-6 procedura C (massa volumica apparente, provino sigillato  $\rho_{bseal}$ ) e procedura D (massa volumica apparente con metodo geometrico  $\rho_{bdim}$ ). Il rapporto tra densità del provino sigillato  $\rho_{bseal}$  a  $N_3$  giri e densità geometrica del provino  $\rho_{bdim}$  a  $N_3$  giri deve essere usato come fattore correttivo ( $f = \rho_{bseal} / \rho_{bdim}$ ) di tutte le densità geometriche registrate durante il processo di compattazione (*densità corretta = densità geometrica × f*). La densità corretta e la densità massima teorica  $\rho_m$  (UNI EN 12697-5) devono essere usate per il calcolo dei vuoti  $V_m$  del provino durante il processo di compattazione. La verifica della percentuale dei vuoti  $V_m$  calcolati secondo la UNI EN 12697-8 deve essere eseguita a tre livelli di compattazione:  $N_1$  (iniziale, post-stesa),  $N_2$  (intermedio, post-rullatura),  $N_3$  (finale, previsionale post-traffico).

I vuoti nell'aggregato minerale *VMA* e i vuoti riempiti di bitume *VFB* devono essere calcolati secondo la UNI EN 12697-8 in riferimento al livello di compattazione  $N_2$ .

La miscela di progetto deve verificare i requisiti volumetrici e meccanici riportati in Tabella 29.

Quando prodotto in laboratorio, il conglomerato bituminoso deve essere confezionato in accordo alla UNI EN 12697-35.

Condizioni di compattazione			
Parametro	Unità di misura	Normativa di riferimento	Valori richiesti
Angolo di rotazione esterno	[°]	SHRP Designation M-002	1,25 ± 0,02
Velocità di rotazione	[rotazioni/min]	UNI EN 12697-31	30
Pressione verticale	[kPa]	UNI EN 12697-31	600
Diametro della fustella	[mm]	UNI EN 12697-31	100 (per AC16)
Massa del campione	[kg]	-	1,100 (per AC16)
Diametro della fustella	[mm]	UNI EN 12697-31	150 (per AC20)
Massa del campione	[kg]	-	4,500 (per AC20)
Temperatura di compattazione (conglomerato bituminoso con bitume 50/70 o 70/100)	[°C]	UNI EN 12697-35	temperatura operativa ± 10
Proprietà volumetriche e meccaniche			
Parametro	Unità di misura	Normativa di riferimento	Valori richiesti
$V_m$ a 10 rotazioni ( $N_1$ )	[%]	UNI EN 12697-8	11 – 15
$V_m$ a 100 rotazioni ( $N_2$ )	[%]	UNI EN 12697-8	3 – 6
<i>VMA</i> a 100 rotazioni ( $N_2$ )	[%]	UNI EN 12697-8	> 12
<i>VFB</i> a 100 rotazioni ( $N_2$ )	[%]	UNI EN 12697-8	65 – 80
$V_m$ a 180 rotazioni ( $N_3$ )	[%]	UNI EN 12697-8	≥ 2
Resistenza a trazione indiretta a 25°C a $N_2$ (ITS)	[N/mm²]	UNI EN 12697-23	0,75 – 1,50
Coef. Di trazione indiretta <sup>1</sup> a 25°C a $N_2$ (CTI)	[N/mm²]	-	≥ 70
Sensibilità all'acqua (ITSR)	[%]	UNI EN 12697-12	≥ 80

<sup>1</sup>  $CTI = \frac{\pi \cdot D \cdot ITS}{2 \cdot d_v}$  dove  $D$  è il diametro del provino e  $d_v$  è lo schiacciamento verticale registrato in corrispondenza del carico massimo

Tabella 29. Caratteristiche della miscela di progetto

Il paragrafo 1.2 (Certificati di prequalifica e relative penali) specifica le modalità di presentazione e accettazione della documentazione di prequalifica.

L'Impresa aggiudicataria dell'appalto deve dichiarare l'intervallo di temperatura di stesa del prodotto affinché siano garantite le prestazioni richieste. Il produttore deve inoltre dichiarare la ricetta del conglomerato bituminoso, il dosaggio e il tipo di additivo eventualmente impiegato.

Per progetti con produzione superiore a 4.000 tonnellate, l'Impresa aggiudicataria dell'appalto deve consegnare settimanalmente alla Direzione Lavori i rapporti di prova di granulometria e contenuto di bitume

eseguiti ogni 1.000 tonnellate di produzione che possono essere rilasciati da un laboratorio conto terzi o dal fornitore.

### 3.1.5 Produzione della miscela

Il conglomerato bituminoso è confezionato mediante impianti fissi automatizzati, di idonee caratteristiche, mantenuti sempre perfettamente funzionanti in ogni loro parte.

La produzione di ciascun impianto non deve essere spinta oltre la sua potenzialità, per garantire il perfetto essiccamiento, l'uniforme riscaldamento della miscela ed una perfetta vagliatura che assicuri una idonea riclassificazione delle singole classi degli aggregati.

L'impianto deve garantire uniformità di produzione ed essere in grado di realizzare una miscela rispondente alle caratteristiche dichiarate di progetto. Ogni impianto deve assicurare il riscaldamento del bitume alla temperatura opportuna a mantenere una viscosità uniforme fino al momento della miscelazione, nonché il perfetto dosaggio sia del bitume che di eventuali additivi.

La zona destinata allo stoccaggio degli inerti deve essere preventivamente e convenientemente scelta per evitare la contaminazione da sostanze argillose e ristagni di acqua che possono compromettere la pulizia degli aggregati. Inoltre, i cumuli delle diverse classi dovranno essere separati tra di loro e l'operazione di rifornimento nei predosatori eseguita con la massima cura. Si deve far uso di almeno 4 classi di aggregati con predosatori in numero corrispondente alle classi impiegate.

Il tempo di miscelazione è stabilito in funzione delle caratteristiche dell'impianto, in misura tale da permettere un completo ed uniforme rivestimento degli inerti con il legante.

La temperatura degli aggregati e del bitume all'atto della miscelazione deve garantire il raggiungimento delle prestazioni richieste della miscela a seguito della stesa. Per la verifica delle suddette temperature, gli essiccatore, le caldaie e le tramogge degli impianti devono essere muniti di termometri fissi perfettamente funzionanti e periodicamente tarati.

L'umidità degli aggregati all'uscita dell'essiccatore non deve superare lo 0,5% in peso.

### 3.1.6 Preparazione della superficie di stesa

La stesa del conglomerato bituminoso avviene solo dopo che sia stata accertata dalla Direzione Lavori la rispondenza del piano di posa ai requisiti di quota, sagoma, densità e portanza indicati in progetto. Il piano di posa deve risultare perfettamente pulito e privo di ogni residuo di qualsiasi natura.

Prima della realizzazione dello strato in conglomerato bituminoso è necessario preparare la superficie di stesa allo scopo di garantire una adeguata adesione all'interfaccia mediante l'applicazione di una emulsione bituminosa aventi caratteristiche specifiche (UNI EN 13808, UNI/TR 11362).

A seconda che lo strato di supporto sia un misto granulare, misto cementato oppure un conglomerato bituminoso (nuovo, fresato o usurato), la lavorazione corrispondente prende il nome rispettivamente di impregnazione (mano di ancoraggio) e mano d'attacco.

Entrambe le lavorazioni sono dettagliate rispettivamente nei paragrafi 9.1 e 9.2.

### 3.1.7 Posa in opera della miscela

La posa in opera del conglomerato bituminoso è effettuata a mezzo di macchine vibrofinitrici dei tipi approvati dalla Direzione Lavori in perfetto stato di efficienza e dotate di automatismi di autolivellamento. La Direzione Lavori si riserva la facoltà di poter far variare la tecnologia ritenuta non opportuna.

Le vibrofinitrici non devono mai operare a velocità di stesa superiori a 5 m/min e devono comunque lasciare uno strato finito perfettamente sagomato, privo di sgranamenti, fessurazioni, esente da difetti dovuti a segregazione degli elementi litoidi più grossi.

Durante la stesa si deve porre la massima cura alla formazione dei giunti longitudinali e trasversali.

Nel caso di costruzione di due strisce adiacenti, il giunto longitudinale sarà preferibilmente ottenuto mediante tempestivo affiancamento di una striscia alla precedente o con l'impiego di due vibrofinitrici. Qualora ciò non sia possibile, se il bordo risulta danneggiato o arrotondato si deve procedere al taglio verticale (rettifica) con idonea attrezzatura e ad una successiva spruzzatura di emulsione bituminosa cationica a rapida rottura per assicurare la saldatura delle due strisce. Nel caso in cui il nuovo strato sia in adiacenza ad uno strato esistente, prima della stesa si deve provvedere alla rettifica del bordo dello strato esistente e alla spruzzatura con emulsione bituminosa cationica a rapida rottura per assicurare la saldatura della nuova striscia all'esistente.

Il giunto trasversale, di inizio o fine produzione giornaliera o inizio o fine sezione, deve essere realizzato tramite taglio verticale (rettifica) con idonea attrezzatura e ad una successiva spruzzatura di emulsione bituminosa cationica a rapida rottura.

La sovrapposizione dei giunti tra i vari strati sovrapposti deve essere programmata e realizzata in maniera che essi risultino tra loro sfalsati di almeno 20 cm e non cadano mai in corrispondenza delle due fasce della corsia di marcia normalmente interessate dalla traccia dei veicoli.

Il trasporto del conglomerato bituminoso dall'impianto di confezionamento al cantiere di stesa deve avvenire mediante mezzi di trasporto di adeguata portata, efficienti e veloci, sempre dotati di telone di copertura per evitare un eccessivo raffreddamento del prodotto e la formazione di croste.

La temperatura del conglomerato bituminoso all'atto della stesa, controllata immediatamente dietro la vibrofinitrice, deve rispettare l'intervallo di temperatura dichiarato per lo specifico prodotto.

La stesa del conglomerato bituminoso deve avvenire in maniera continua e senza interruzioni fino a completo esaurimento del materiale trasportato, evitando problemi causati dal possibile raffreddamento superficialmente del materiale. La stesa del conglomerato bituminoso deve essere sospesa quando le condizioni meteorologiche generali possono pregiudicare la perfetta riuscita del lavoro. Gli strati eventualmente compromessi devono essere immediatamente rimossi e successivamente ricostruiti a spese dell'Impresa.

La compattazione del conglomerato bituminoso deve iniziare appena steso dalla vibrofinitrice e condotta a termine senza interruzioni.

L'addensamento deve essere realizzato con un rullo vibrante tandem di almeno 8 tonnellate seguito da un rullo gommato con almeno cinque ruote e peso di almeno 12 tonnellate. Il rullo gommato deve operare in

un intervallo di temperatura tale da non ormaiare lo strato e, allo stesso tempo, evitare che il conglomerato si attacchi allo pneumatico.

A chiudere la fase di compattazione, il rullo tandem provvede all’eventuale finitura in modalità statica. I rulli in fase di compattazione non devono mai procedere con velocità superiori a 5 km/h.

La compattazione deve essere condotta con la metodologia più adeguata a ottenere uniforme addensamento in ogni punto ed evitare fessurazioni e scorrimenti nello strato appena steso.

Nel caso di doppi strati, se la sovrapposizione non avviene nell’arco delle 24 ore, è necessario applicare una mano di attacco di emulsione bituminosa rapida in ragione di 0,30 kg/m<sup>2</sup> di bitume residuo.

Eventuali principi di sgranature o aree con affioramento superficiale di aggregati grossi indice di segregazione della miscela, specialmente nei pressi delle zone di partenza o fermata della vibrofinitrice o attigue a pozzetti o aree soggette a lavorazioni a mano, devono essere rese saldamente coese con sigillatura, anche manuale, con emulsione bituminosa e filler o sabbia.

### 3.1.8 Controlli

Il controllo della qualità del conglomerato bituminoso è effettuato mediante prove di laboratorio sui materiali costituenti, sulla miscela, sulle carote estratte dalla pavimentazione e sulla superficie dello strato per verificarne le caratteristiche di accettabilità.

La Tabella 30 mostra il tipo di campione, l’ubicazione e la frequenza del controllo e i requisiti da rispettare durante tutto il processo di costruzione.

Controllo dei materiali e verifiche prestazionali			
Tipo di campione	Ubicazione del controllo	Frequenza del controllo	Requisiti
Aggregato grosso	Impianto	Inizio cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	Caratteristiche
Aggregato fine	Impianto	Inizio cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	Caratteristiche
Filler	Impianto	Inizio cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	Caratteristiche
Bitume	Cisterna	Inizio cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	Caratteristiche
Conglomerato bituminoso sfuso	Vibrofinitrice	Giornaliera o ogni 5000 m <sup>2</sup> di stesa o a discrezione della Direzione Lavori	Temperatura di stesa, contenuto di bitume, granulometria, caratteristiche volumetriche e meccaniche, additivi
Carote	Pavimentazione	Ogni 250 m di stesa o a discrezione della Direzione Lavori	Spessore, contenuto di vuoti ( $V_m = 2 - 8\%$ )
Superficie della pavimentazione	Pavimentazione	Ogni 250 m di stesa cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	Scostamento ( $\Delta \leq 5$ mm)

Tabella 30. Controlli da eseguire per il conglomerato bituminoso di tipo binder tradizionale

La temperatura di stesa del conglomerato bituminoso deve essere controllata immediatamente dietro la vibrofinitrice all’atto della stesa e deve rispettare l’intervallo di temperatura dichiarato per lo specifico prodotto.

Ogni prelievo deve essere costituito da due campioni:

- uno utilizzato per i controlli presso un laboratorio conto terzi selezionato dalla Direzione Lavori;
- uno a disposizione dell’Impresa aggiudicataria dell’appalto.

Per ogni campione di conglomerato bituminoso sfuso vengono determinate: la percentuale di bitume (UNI EN 12697-1), la granulometria degli aggregati estratti (UNI EN 12697-2) e la densità massima teorica (UNI EN 12697-5).

Con lo stesso materiale devono essere compattati tre provini con compattatore giratorio a  $N_3$  giri per le verifiche volumetriche e tre provini a  $N_2$  giri per la verifica dei valori *ITS* e *CTI*.

Le carote estratte dalla pavimentazione permettono le verifiche dello spessore e del contenuto di vuoti. La percentuale di vuoti è determinata sulla base della densità massima teorica (calcolata o misurata) sul più vicino campionamento di conglomerato bituminoso sfuso. In mancanza di valori misurati o calcolati può essere usata della densità massima teorica dichiarata. Lo spessore dello strato viene determinato facendo la media delle quattro altezze relative a due diametri ortogonali della circonferenza delle carote estratte. È raccomandato eseguire il primo carotaggio il giorno seguente l'inizio dei lavori. Carote aggiuntive possono essere prelevate a discrezione della Direzione Lavori per eventuali prove meccaniche (*ITS* e *CTI*).

Le eventuali irregolarità superficiali  $\Delta$  devono essere misurate in direzione longitudinale e trasversale tramite un regolo di 3 m (UN EN 13036-7).

Per progetti con produzione superiore a 4.000 tonnellate, l'Impresa aggiudicataria dell'appalto deve consegnare settimanalmente alla Direzione Lavori i rapporti di prova di granulometria e contenuto di bitume eseguiti ogni 1.000 tonnellate di produzione che potranno essere rilasciati da un laboratorio conto terzi o dal fornitore.

I controlli riferiti alla pavimentazione (spessore, contenuto di vuoti e regolarità) non sono effettuati nel caso in cui il conglomerato bituminoso sia impiegato per la risagomatura della pavimentazione stradale esistente.

I controlli sono effettuati per produzioni giornaliere superiori a 30 tonnellate.

### 3.1.9 Penali

Le detrazioni di seguito descritte sono applicate in punti percentuali sul prezzo di aggiudicazione lavori del conglomerato bituminoso (preparazione, materiale e stesa).

Il non rispetto dell'intervallo di temperatura di stesa dichiarato per lo specifico prodotto comporta il rifiuto del materiale.

Per i materiali costituenti, le caratteristiche compositive, volumetriche e meccaniche della miscela e delle carote estratte, la Direzione Lavori valuta l'accettabilità del conglomerato e le eventuali penali da applicare.

Il non rispetto del tipo e del dosaggio di additivo, la Direzione Lavori si riserva di stabilire l'accettabilità del conglomerato e le eventuali penali da applicare.

Nell'ambito di progetti con produzione superiore a 4.000 tonnellate, la non consegna settimanale da parte dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto dei rapporti di prova di granulometria e contenuto di bitume eseguiti ogni 1.000 tonnellate di produzione, rilasciati da un laboratorio conto terzi o dal fornitore, comporta il rifiuto del materiale.

La curva granulometrica e il contenuto di bitume riscontrati dopo l'estrazione del conglomerato bituminoso sciolto, in riferimento alla ricetta (prodotto accettato dalla Direzione Lavori), devono rispettare le seguenti tolleranze:

- granulometria: per dimensione superiore o uguale a 4 mm si applica una tolleranza di  $\pm 5$  punti percentuali;
- granulometria: per dimensioni comprese tra 4 e 0,063 mm si applica una tolleranza di  $\pm 3$  punti percentuali;
- granulometria: al passante al setaccio 0,063 mm si applica una tolleranza di  $\pm 1,5$  punti percentuali;
- contenuto di bitume: si applica una tolleranza del  $\pm 5\%$  rispetto al valore dichiarato per la miscela di progetto (es.: contenuto di bitume di progetto = 5%, intervallo di tolleranza 5,25-4,75%).

Nel caso di non conformità la Direzione Lavori può richiedere, in funzione del contesto, il rifacimento dello strato, opere di ripristino a spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto o l'applicazione di una detrazione del 10% sul prezzo di aggiudicazione della lavorazione per lo strato interessato. La superficie di riferimento è calcolata considerando la lunghezza compresa tra la metà della distanza dalla misurazione precedente e la metà della distanza dalla misurazione successiva (oppure considerando la lunghezza del tronco omogeneo) moltiplicato per la larghezza dell'intervento.

Per lo spessore dello strato, determinato da misurazioni sulle carote estratte dalla pavimentazione è tollerata una carenza massima del 10 % rispetto allo spessore di progetto. Per carenze superiori al 10 %, è applicata una detrazione percentuale pari a:

$$\text{Detrazione percentuale per carenza di spessore} = 3 \times (c - 10)$$

dove  $c$  rappresenta la carenza di spessore rispetto al valore di progetto espressa in percentuale. Per esempio, se lo strato è spesso 6,10 cm anziché 7,00 cm e quindi la carenza è del 13 % rispetto al valore di progetto, la penale in percentuale è del  $(13 - 10) \times 3 = 9\%$ . Se la differenza supera il 25 % (in diminuzione), la Direzione Lavori può richiedere il rifacimento dello strato a spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto. Per esempio, se lo spessore di progetto è pari a 7,00 cm, al di sotto di 5,25 cm può essere richiesto il rifacimento. In alternativa alla rimozione e ricostruzione, la Direzione Lavori può autorizzare la stesa di uno strato di conguaglio (previa spruzzatura della mano di attacco) di spessore tale da consentire il raggiungimento dello spessore totale atteso. Per la ricarica può essere impiegato conglomerato bituminoso di tipo binder o usura che non può comunque essere di spessore inferiore a cm 3. Nel rispetto delle quote finali di progetto, la Direzione Lavori valuta la possibilità di una fresatura parziale per aver modo di stendere lo strato di conguaglio nel rispetto del suo spessore minimo. Quando possibile, il conguaglio può essere realizzato incrementando lo spessore del sovrastante strato di usura purché questo non determini difficoltà di stesa e compattazione a causa di spessore eccessivo (mai superiore a 6 cm). La superficie a cui applicare la detrazione è calcolata considerando la lunghezza compresa tra la metà della distanza dalla carota precedente e la metà della distanza dalla carota successiva (oppure considerando la lunghezza del tronco omogeneo) moltiplicato per la larghezza dell'intervento.

Per valori dei vuoti determinati sulle carote superiori al 8 % è applicata una detrazione percentuale pari a:

$$\text{Detrazione percentuale per vuoti eccessivi} = 2 \cdot s + s^2$$

dove  $s$  è lo scostamento (eccedenza) dei valori ottenuti dalle carote rispetto al valore limite del 8 %. Per esempio, se la percentuale dei vuoti rilevati dalla carota estratta è del 11 %, la detrazione da applicare è pari a  $2 \cdot (11 - 8) + (11 - 8)^2$  ossia del 15 %. Per valori dei vuoti superiori al 12 % la Direzione Lavori può richiedere il rifacimento dello strato a spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto. La superficie a cui applicare la detrazione è calcolata considerando la lunghezza compresa tra la metà della distanza dalla carota precedente e la metà della distanza dalla carota successiva (oppure considerando la lunghezza del tronco omogeneo)

moltiplicato per la larghezza dell'intervento. Nel caso in cui siano presenti pendenze longitudinali superiori al 8 %, il valore limite della percentuale di vuoti per l'applicazione delle detrazioni è il 10 % mentre per la rimozione il 15 %.

La superficie dello strato deve presentarsi priva di irregolarità ed ondulazioni. È tollerato uno scostamento massimo di 5 mm al di sopra del quale la Direzione Lavori può richiedere, in funzione del contesto, il rifacimento dello strato, opere di ripristino a spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto o l'applicazione di una detrazione del 10% sul prezzo di aggiudicazione della lavorazione per lo strato interessato. La superficie di riferimento è calcolata considerando la lunghezza compresa tra la metà della distanza dalla misurazione precedente e la metà della distanza dalla misurazione successiva (oppure considerando la lunghezza del tronco omogeneo) moltiplicato per la larghezza dell'intervento.

Salvo casi particolari che andranno giudicati dalla Direzione Lavori, le penali precedentemente indicate sono cumulabili.

## 3.2 Conglomerato bituminoso a caldo tipo binder con bitume modificato

### **Elenco prezzi: NV 8.**

Il conglomerato bituminoso a caldo tipo binder con bitume modificato (modifica di tipo hard con polimeri elastomerici SBS, contenuto di polimero  $\geq 5\%$ ) è costituito da una miscela di inerti vergini (pietrischi, graniglie, sabbie e filler), eventuali additivi, impastata a caldo con bitume modificato in impianti di tipo fisso automatizzati. È ammesso l'uso di conglomerato bituminoso di recupero solo se proveniente dalla demolizione di strati in conglomerato bituminoso con bitume modificato SBS e fino al 20% in peso sulla miscela totale nel rispetto della norma UNI EN 13108-8 e UNI/TS 11688.

Il conglomerato bituminoso a caldo tipo binder con bitume modificato è posto in opera mediante macchina vibrofinitrice e subito costipato tramite rulli. La miscela impiegata deve essere qualificata in conformità al regolamento UE 305/2011 sui prodotti da costruzione. L'Impresa aggiudicataria dell'appalto deve consegnare alla Direzione Lavori i dosaggi di tutti i componenti usati per il conglomerato bituminoso.

Ciascuna fornitura deve essere accompagnata dal documento di trasporto e dalla marcatura CE, attestante la conformità all'appendice ZA della norma europea armonizzata UNI EN 13108-1, da consegnare al momento della consegna in cantiere.

Una volta accettato il conglomerato bituminoso da parte della Direzione Lavori, l'Impresa aggiudicataria dell'appalto, è vincolata al rigoroso utilizzo di tutte le sue componenti nel rispetto delle tolleranze riportate nel paragrafo Penali.

### 3.2.1 Aggregati

Gli aggregati lapidei costituiscono la matrice litica del conglomerato bituminoso e sono composti da aggregati grossi, fini e filler proveniente dalla frazione fina (filler di recupero) 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). L'aggregato grosso ( $D \leq 45 \text{ mm}$ ;  $d \geq 2 \text{ mm}$ ) può essere di provenienza o natura petrografica diversa purché, per ogni tipologia, risultino soddisfatti i requisiti indicati nella Tabella 31. La designazione dell'aggregato grosso deve essere effettuata mediante le dimensioni dei setacci appartenenti al gruppo di base, più gruppo 2 della UNI EN 13043.

Parametro	Metodo di prova	Unità di misura	Valori richiesti	Categoria UNI EN 13043
Resistenza alla frammentazione	UNI EN 1097-2	[%]	≤ 25	LA <sub>25</sub>
Percentuale di particelle frantumate	UNI EN 933-5	[%]	100	C <sub>100/0</sub>
Passante allo staccio 0,063 mm	UNI EN 933-1	[%]	≤ 2	f <sub>2</sub>
Resistenza al gelo e disgelo	UNI EN 1367-1	[%]	≤ 1	F <sub>1</sub>
Coefficiente di appiattimento	UNI EN 933-3	[%]	≤ 25	FI <sub>25</sub>
Coefficiente di forma	UNI EN 933-4	[%]	≤ 25	SI <sub>25</sub>
Assorbimento d'acqua	UNI EN 1097-6	[%]	≤ 2	WA <sub>242</sub>

Tabella 31. Caratteristiche dell'aggregato grosso per bituminoso a caldo tipo binder con bitume modificato

L'aggregato fine ( $D \leq 2$  mm;  $d = 0$  mm) deve essere costituito esclusivamente da sabbie di frantumazione e può essere di provenienza o natura petrografica diversa purché, per ogni tipologia, risultino soddisfatti i requisiti indicati nella Tabella 32. Per motivi di congruenza con le pezzature fini attualmente prodotte in Italia, è permesso l'impiego come aggregato fine anche di aggregati in frazione unica con dimensione massima  $D = 4$  mm. La designazione dell'aggregato fine dovrà essere effettuata mediante le dimensioni dei setacci appartenenti al gruppo di base, più gruppo 2 della UNI EN 13043.

Parametro	Metodo di prova	Unità di misura	Valori richiesti	Categoria UNI EN 13043
Equivalente in sabbia	UNI EN 933-8	[%]	≥ 70	SE <sub>70</sub>
Indice di plasticità	UNI CEN ISO/TS 17892-12	-	Non plastico	-
Passante allo staccio 0,063 mm	UNI EN 933-1	[%]	≤ 5	f <sub>5</sub>

Tabella 32. Caratteristiche dell'aggregato fine per conglomerato bituminoso a caldo tipo binder con bitume modificato

Il filler, frazione per la maggior parte passante allo staccio 0,063 mm, può essere costituito da polvere di roccia preferibilmente calcarea, da cemento, calce idrata, calce idraulica e ceneri volanti. Il filler deve inoltre soddisfare i requisiti indicati in Tabella 33. La granulometria del filler deve essere conforme a quella prevista della norma UNI EN 13043.

Parametro	Metodo di prova	Unità di misura	Valori richiesti	Categoria UNI EN 13043
Indice di plasticità	UNI CEN ISO/TS 17892-12	-	Non plastico	-
Porosità del filler secco compattato (Rigden)	UNI EN 1097-4	[%]	≥ 38	V <sub>38/45</sub>
Passante al setaccio 0,063 mm	-	[%]	≥ 70	-
Stiffening Power	UNI EN 13179-1	[°C]	8 ÷ 25	Δ <sub>R&amp;B</sub> 8/25

Tabella 33. Caratteristiche del filler per conglomerato bituminoso a caldo tipo binder con bitume modificato

Il paragrafo 1.2 (Certificati di prequalifica e relative penali) specifica le modalità di presentazione e accettazione della documentazione di qualifica.

### 3.2.2 Additivi

Gli additivi come attivanti d'adesione costituiti da sostanze tensioattive o calce che favoriscono l'adesione bitume-aggregato possono essere impiegati nel conglomerato bituminoso per migliorare la durabilità all'acqua.

La scelta del tipo e del dosaggio di additivo dovrà essere stabilita in modo da garantire le caratteristiche di resistenza allo spogliamento e di durabilità all'azione dell'acqua richieste per la miscela.

L'Impresa aggiudicataria dell'appalto è tenuta a presentare alla Direzione Lavori la scheda tecnica e di sicurezza dell'additivo per l'identificazione delle proprie caratteristiche e le modalità di impiego. Inoltre, si deve riportare, in apposito certificato rilasciato da un laboratorio conto terzi o dal produttore, lo spettro

infrarosso dell'additivo, acquisito in trasmissione tramite Spettrometro Infrarosso (Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FT-IR) nell'intervallo delle frequenze tra 4000 e 400 cm<sup>-1</sup>, indicando le bande caratteristiche del prodotto e quelle individuabili nella miscela bitume-additivo. L'attivante di adesione scelto deve presentare caratteristiche chimiche stabili nel tempo anche se sottoposto a temperatura elevata (180°C).

Nel caso dell'utilizzo di calce, l'Impresa aggiudicataria dell'appalto è tenuta a presentare alla Direzione Lavori la marcatura CE della calce secondo la UNI EN 459-1.

Il dosaggio dell'additivo deve essere specificato obbligatoriamente tra le caratteristiche del conglomerato bituminoso.

### 3.2.3 Bitume modificato

Il legante deve essere costituito da bitume modificato con polimeri elastomerici SBS che ne modificano la struttura fisica e le caratteristiche chimiche e meccaniche. Le proprietà del bitume modificato ed i relativi metodi di prova sono indicate nella Tabella 34.

Classe del bitume modificato UNI EN 14023			PmB 45/80-70	
Parametro	Metodo di prova	Unità di misura	Valori richiesti	Classe
Penetrazione a 25°C	UNI EN 1426	[× 0.1 mm]	45 – 80	4
Punto di rammollimento	UNI EN 1427	[°C]	≥ 70	4
Punto di rottura (Fraass)	UNI EN 12593	[°C]	≤ - 12	6
Viscosità dinamica 180°C	UNI EN 13302	[mPa · s]	50 – 200	-
Coesione (Force Ductility Test at 10°C)	EN 13589 EN 13703	[J/cm <sup>2</sup> ]	≥ 2	6
Ritorno elastico a 25°C	UNI EN 13398	[%]	≥ 80	2
Stabilità allo stoccaggio (Δ pen)	UNI EN 13399	[× 0.1 mm]	≤ 9	2
Stabilità allo stoccaggio (Δ R&B)	UNI EN 13399	[°C]	≤ 5	2
Resistenza all'invecchiamento RTFOT	UNI EN 12607-1			
Variazione di massa	UNI EN 12607-1	[%]	≤ 0,5	3
Penetrazione residua a 25°C	UNI EN 1426	[%]	≥ 60	7
Variazione della temperatura di rammollimento	UNI EN 1427	[°C]	≤ 8	2

Tabella 34. Caratteristiche del bitume modificato

Il paragrafo 1.2 (Certificati di prequalifica e relative penali) specifica le modalità di presentazione e accettazione della documentazione di qualifica.

Resta salva la facoltà della Direzione Lavori di verificare con controlli di accettazione i requisiti dichiarati dal produttore.

### 3.2.4 Miscela di progetto

La miscela degli aggregati da adottare per la produzione del conglomerato bituminoso deve avere una composizione granulometrica contenuta nei fusi riportati in Tabella 35. La percentuale di bitume deve essere compresa nei limiti indicati nella stessa tabella. Il fuso AC20 si riferisce a uno spessore dello strato compreso tra 7 e 12 cm, mentre il fuso AC16 si riferisce a uno spessore dello strato compreso tra 5 e 7 cm.

Fuso granulometrico		
Classe di conglomerato bituminoso riciclato a caldo	AC20	AC16
Apertura setacci UNI [mm]		
31,5	100	-
20	90 – 100	100
16	-	90 – 100
10	56 – 68	73 – 85
4	37 – 48	45 – 56
2	23 – 33	28 – 38
0,5	11 – 17	16 – 24
0,25	6 – 12	11 – 18
0,063	4,0 – 7,0	4,0 – 8,0
Contenuto di bitume		
Contenuto di bitume riferito alla miscela [%]	4,0 – 5,5	4,0 – 5,5
Contenuto di bitume riferito agli aggregati [%]	4,2 – 5,8	4,2 – 5,8

I valori del contenuto di bitume devono essere adeguati agli aggregati utilizzati moltiplicandoli per il fattore:  
 $\alpha = 2,650/\rho_a$ , dove  $\rho_a$  è la massa volumica apparente degli aggregati, in Mg/m<sup>3</sup> determinata secondo la UNI EN 1097-6.

Tabella 35. Fuso di progetto e intervallo del contenuto di bitume modificato

Le caratteristiche del conglomerato bituminoso devono essere determinate tramite il metodo volumetrico (UNI EN 12697-31, UNI EN 12697-23) e ricavate dalla media di almeno tre campioni considerando un coefficiente di variazione  $\leq 0,15$  (deviazione standard/media).

Secondo il metodo volumetrico (Tabella 36), i provini devono essere compattati mediante compattatore giratorio ad un numero di giri totali  $N_3$ . La densità di ogni provino compattato a  $N_3$  giri deve essere misurata secondo quanto stabilito dalla UNI EN 12697-6 procedura C (massa volumica apparente, provino sigillato  $\rho_{bseal}$ ) e procedura D (massa volumica apparente con metodo geometrico  $\rho_{bdim}$ ). Il rapporto tra densità del provino sigillato  $\rho_{bseal}$  a  $N_3$  giri e densità geometrica del provino  $\rho_{bdim}$  a  $N_3$  giri deve essere usato come fattore correttivo ( $f = \rho_{bseal} / \rho_{bdim}$ ) di tutte le densità geometriche registrate durante il processo di compattazione (*densità corretta = densità geometrica  $\times f$* ). La densità corretta e la densità massima teorica  $\rho_m$  (UNI EN 12697-5) devono essere usate per il calcolo dei vuoti  $V_m$  del provino durante il processo di compattazione. La verifica della percentuale dei vuoti  $V_m$  calcolati secondo la UNI EN 12697-8 deve essere eseguita a tre livelli di compattazione:  $N_1$  (iniziale, post-stesa),  $N_2$  (intermedio, post-rullatura),  $N_3$  (finale, previsionale post-traffico).

I vuoti nell'aggregato minerale *VMA* e i vuoti riempiti di bitume *VFB* devono essere calcolati secondo la UNI EN 12697-8 in riferimento al livello di compattazione  $N_2$ .

La miscela di progetto deve verificare i requisiti volumetrici e meccanici riportati in Tabella 36.

Quando prodotto in laboratorio, il conglomerato bituminoso deve essere confezionato e compattato nel rispetto delle reali temperature operative e in accordo alla UNI EN 12697-35.

Condizioni di compattazione			
Parametro	Unità di misura	Normativa di riferimento	Valori richiesti
Angolo di rotazione esterno	[°]	SHRP Designation M-002	1,25 ± 0,02
Velocità di rotazione	[rotazioni/min]	UNI EN 12697-31	30
Pressione verticale	[kPa]	UNI EN 12697-31	600
Diametro della fustella	[mm]	UNI EN 12697-31	100 (per AC16)
Massa del campione	[kg]	-	1,100 (per AC16)
Diametro della fustella	[mm]	UNI EN 12697-31	150 (per AC20)
Massa del campione	[kg]	-	4,500 (per AC20)
Temperatura di compattazione (conglomerato bituminoso con bitume modificato)	[°C]	-	temperatura operativa ± 10
Proprietà volumetriche e meccaniche			
Parametro	Unità di misura	Normativa di riferimento	Valori richiesti
$V_m$ a 10 rotazioni ( $N_1$ )	[%]	UNI EN 12697-8	11 - 15
$V_m$ a 100 rotazioni ( $N_2$ )	[%]	UNI EN 12697-8	3 - 6
VMA a 100 rotazioni ( $N_2$ )	[%]	UNI EN 12697-8	> 12
VFB a 100 rotazioni ( $N_2$ )	[%]	UNI EN 12697-8	65 - 80
$V_m$ a 180 rotazioni ( $N_3$ )	[%]	UNI EN 12697-8	≥ 2
Resistenza a trazione indiretta a 25°C a $N_2$ (ITS)	[N/mm²]	UNI EN 12697-23	0,95 - 1,80
Coef. di trazione indiretta <sup>1</sup> a 25°C a $N_2$ (CTI)	[N/mm²]	-	≥ 100
Sensibilità all'acqua (ITSR)	[%]	UNI EN 12697-12	≥ 90

<sup>1</sup>  $CTI = \frac{\pi \cdot D \cdot ITS}{2 \cdot d_v}$  dove  $D$  è il diametro del provino e  $d_v$  è lo schiacciamento verticale registrato in corrispondenza del carico massimo

Tabella 36. Caratteristiche della miscela di progetto

Il paragrafo 1.2 (Certificati di prequalifica e relative penali) specifica le modalità di presentazione e accettazione della documentazione di qualifica.

L'Impresa aggiudicataria dell'appalto deve dichiarare l'intervallo di temperatura di stesa del prodotto affinché siano garantite le prestazioni richieste. Il produttore deve inoltre dichiarare la ricetta del conglomerato bituminoso, il dosaggio e il tipo di additivo eventualmente impiegato.

Per progetti con produzione superiore a 4.000 tonnellate, l'Impresa aggiudicataria dell'appalto deve consegnare settimanalmente alla Direzione Lavori i rapporti di prova di granulometria e contenuto di bitume eseguiti ogni 1.000 tonnellate di produzione che possono essere rilasciati da un laboratorio conto terzi o dal fornitore.

### 3.2.5 Produzione della miscela

Il conglomerato bituminoso è confezionato mediante impianti fissi automatizzati, di idonee caratteristiche, mantenuti sempre perfettamente funzionanti in ogni loro parte.

La produzione di ciascun impianto non deve 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.

L'impianto deve garantire uniformità di produzione ed essere in grado di realizzare una miscela rispondente alle caratteristiche dichiarate di progetto. Ogni impianto deve assicurare il riscaldamento del bitume alla temperatura opportuna a mantenere una viscosità uniforme fino al momento della miscelazione, nonché il perfetto dosaggio sia del bitume che di eventuali additivi.

La zona destinata allo stoccaggio degli inerti deve essere preventivamente e convenientemente scelta per evitare la contaminazione da sostanze argillose e ristagni di acqua che possono compromettere la pulizia

degli aggregati. Inoltre, i cumuli delle diverse classi dovranno essere separati tra di loro e l'operazione di rifornimento nei predosatori eseguita con la massima cura. Si deve far uso di almeno 4 classi di aggregati con predosatori in numero corrispondente alle classi impiegate.

Il tempo di miscelazione è stabilito in funzione delle caratteristiche dell'impianto, in misura tale da permettere un completo ed uniforme rivestimento degli inerti con il legante.

La temperatura degli aggregati e del bitume all'atto della miscelazione deve garantire il raggiungimento delle prestazioni richieste della miscela a seguito della stesa. Per la verifica delle suddette temperature, gli essiccatori, le caldaie e le tramogge degli impianti devono essere muniti di termometri fissi perfettamente funzionanti e periodicamente tarati.

L'umidità degli aggregati all'uscita dell'essiccatore non deve superare lo 0,5% in peso.

### 3.2.6 Preparazione della superficie di stesa

La stesa del conglomerato bituminoso avviene solo dopo che sia stata accertata dalla Direzione Lavori la rispondenza del piano di posa ai requisiti di quota, sagoma, densità e portanza indicati in progetto. Il piano di posa deve risultare perfettamente pulito e privo di ogni residuo di qualsiasi natura.

Prima della realizzazione dello strato in conglomerato bituminoso è necessario preparare la superficie di stesa allo scopo di garantire una adeguata adesione all'interfaccia mediante l'applicazione di una emulsione bituminosa aventi caratteristiche specifiche (UNI EN 13808, UNI/TR 11362).

A seconda che lo strato di supporto sia un misto granulare, misto cementato oppure un conglomerato bituminoso (nuovo, fresato o usurato), la lavorazione corrispondente prende il nome rispettivamente di impregnazione (mano di ancoraggio) e mano d'attacco.

Entrambe le lavorazioni sono dettagliate rispettivamente nei paragrafi 9.1 e 9.2.

### 3.2.7 Posa in opera della miscela

La posa in opera del conglomerato bituminoso è effettuata a mezzo di macchine vibrofinitrici dei tipi approvati dalla Direzione Lavori in perfetto stato di efficienza e dotate di automatismi di autolivellamento. La Direzione Lavori si riserva la facoltà di poter far variare la tecnologia ritenuta non opportuna.

Le vibrofinitrici non devono mai operare a velocità di stesa superiori a 5 m/min e devono comunque lasciare uno strato finito perfettamente sagomato, privo di sgranamenti, fessurazioni, esente da difetti dovuti a segregazione degli elementi litoidi più grossi.

Durante la stesa si deve porre la massima cura alla formazione dei giunti longitudinali e trasversali.

Nel caso di costruzione di due strisce adiacenti, il giunto longitudinale sarà preferibilmente ottenuto mediante tempestivo affiancamento di una striscia alla precedente o con l'impiego di due vibrofinitrici. Qualora ciò non sia possibile, se il bordo risulta danneggiato o arrotondato si deve procedere al taglio verticale (rettifica) con idonea attrezzatura e ad una successiva spruzzatura di emulsione bituminosa cationica a rapida rottura per assicurare la saldatura delle due strisce. Nel caso in cui il nuovo strato sia in adiacenza ad uno strato esistente, prima della stesa si deve provvedere alla rettifica del bordo dello strato

esistente e alla spruzzatura con emulsione bituminosa cationica a rapida rottura per assicurare la saldatura della nuova striscia all'esistente.

Il giunto trasversale, di inizio o fine produzione giornaliera o inizio o fine sezione, deve essere realizzato tramite taglio verticale (rettifica) con idonea attrezzatura e ad una successiva spruzzatura di emulsione bituminosa cationica a rapida rottura.

La sovrapposizione dei giunti tra i vari strati sovrapposti deve essere programmata e realizzata in maniera che essi risultino tra loro sfalsati di almeno 20 cm e non cadano mai in corrispondenza delle due fasce della corsia di marcia normalmente interessate dalla traccia dei veicoli.

Il trasporto del conglomerato bituminoso dall'impianto di confezionamento al cantiere di stesa deve avvenire mediante mezzi di trasporto di adeguata portata, efficienti e veloci, sempre dotati di telone di copertura per evitare un eccessivo raffreddamento del prodotto e la formazione di croste.

La temperatura del conglomerato bituminoso all'atto della stesa, controllata immediatamente dietro la vibrofinitrice, deve rispettare l'intervallo di temperatura dichiarato per lo specifico prodotto.

La stesa del conglomerato bituminoso deve avvenire in maniera continua e senza interruzioni fino a completo esaurimento del materiale trasportato, evitando problemi causati dal possibile raffreddamento superficialmente del materiale. La stesa del conglomerato bituminoso deve essere sospesa quando le condizioni meteorologiche generali possono pregiudicare la perfetta riuscita del lavoro. Gli strati eventualmente compromessi devono essere immediatamente rimossi e successivamente ricostruiti a spese dell'Impresa.

La compattazione del conglomerato bituminoso deve iniziare appena steso dalla vibrofinitrice e condotta a termine senza interruzioni.

L'addensamento deve essere realizzato con un rullo vibrante tandem di almeno 8 tonnellate seguito da un rullo gommato con almeno cinque ruote e peso di almeno 12 tonnellate. Il rullo gommato deve operare in un intervallo di temperatura tale da non ormaiare lo strato e, allo stesso tempo, evitare che il conglomerato si attacchi allo pneumatico.

A chiudere la fase di compattazione, il rullo tandem provvede all'eventuale finitura in modalità statica. I rulli in fase di compattazione non devono mai procedere con velocità superiori a 5 km/h.

La compattazione deve essere condotta con la metodologia più adeguata a ottenere uniforme addensamento in ogni punto ed evitare fessurazioni e scorrimenti nello strato appena steso.

Nel caso di doppi strati, se la sovrapposizione non avviene nell'arco delle 24 ore, è necessario applicare una mano di attacco di emulsione bituminosa rapida in ragione di  $0,30 \text{ kg/m}^2$  di bitume residuo.

Eventuali principi di sgranature o aree con affioramento superficiale di aggregati grossi indice di segregazione della miscela, specialmente nei pressi delle zone di partenza o fermata della vibrofinitrice o attigue a pozzetti o aree soggette a lavorazioni a mano, devono essere rese saldamente coese con sigillatura, anche manuale, con emulsione bituminosa e filler o sabbia.

### 3.2.8 Controlli

Il controllo della qualità del conglomerato bituminoso è effettuato mediante prove di laboratorio sui materiali costituenti, sulla miscela, sulle carote estratte dalla pavimentazione e sulla superficie dello strato per verificarne le caratteristiche di accettabilità. La Tabella 37 mostra il tipo di campione, l'ubicazione e la frequenza del controllo e i requisiti da rispettare durante tutto il processo di costruzione.

Controllo dei materiali e verifiche prestazionali			
Tipo di campione	Ubicazione del controllo	Frequenza del controllo	Requisiti
Aggregato grosso	Impianto	Inizio cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	Caratteristiche
Aggregato fine	Impianto	Inizio cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	Caratteristiche
Filler	Impianto	Inizio cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	Caratteristiche
Bitume	Cisterna	Inizio cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	Caratteristiche
Conglomerato bituminoso sfuso	Vibrofinitrice	Giornaliera o ogni 5000 m <sup>2</sup> di stesa o a discrezione della Direzione Lavori	Temperatura di stesa, contenuto di bitume, granulometria, caratteristiche volumetriche e meccaniche, additivi
Carote	Pavimentazione	Ogni 250 m di stesa o a discrezione della Direzione Lavori	Spessore, contenuto di vuoti ( $V_m = 2 - 8\%$ )
Superficie della pavimentazione	Pavimentazione	Ogni 250 m di stesa cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	Scostamento ( $\Delta \leq 5$ mm)

Tabella 37. Controlli da eseguire per il conglomerato bituminoso di tipo binder con bitume modificato

La temperatura di stesa del conglomerato bituminoso deve essere controllata immediatamente dietro la vibrofinitrice all'atto della stesa e deve rispettare l'intervallo di temperatura dichiarato per lo specifico prodotto.

Ogni prelievo deve essere costituito da due campioni:

- uno utilizzato per i controlli presso un laboratorio conto terzi selezionato dalla Direzione Lavori;
- uno a disposizione dell'impresa aggiudicataria dell'appalto.

Per ogni campione di conglomerato bituminoso sfuso vengono determinate: la percentuale di bitume (UNI EN 12697-1), la granulometria degli aggregati estratti (UNI EN 12697-2) e la densità massima teorica (UNI EN 12697-5).

Con lo stesso materiale devono essere compattati tre provini con compattatore giratorio a N<sub>3</sub> giri per le verifiche volumetriche e tre provini a N<sub>2</sub> giri per la verifica dei valori *ITS* e *CTI*.

Le carote estratte dalla pavimentazione permettono le verifiche dello spessore e del contenuto di vuoti. La percentuale di vuoti è determinata sulla base della densità massima teorica (calcolata o misurata) sul più vicino campionamento di conglomerato bituminoso sfuso. In mancanza di valori misurati o calcolati può essere usata della densità massima teorica dichiarata. Lo spessore dello strato viene determinato facendo la media delle quattro altezze relative a due diametri ortogonali della circonferenza delle carote estratte. È raccomandato eseguire il primo carotaggio il giorno seguente l'inizio dei lavori. Carote aggiuntive potranno essere prelevate a discrezione della Direzione Lavori per eventuali prove meccaniche (*ITS* e *CTI*).

Le eventuali irregolarità superficiali  $\Delta$  devono essere misurate in direzione longitudinale e trasversale tramite un regolo di 3 m (UN EN 13036-7).

Per progetti con produzione superiore a 4.000 tonnellate, l'Impresa aggiudicataria dell'appalto deve consegnare settimanalmente alla Direzione Lavori i rapporti di prova di granulometria e contenuto di bitume eseguiti ogni 1.000 tonnellate di produzione che possono essere rilasciati da un laboratorio conto terzi o dal fornitore.

I controlli riferiti alla pavimentazione (spessore, contenuto di vuoti e regolarità) non sono effettuati nel caso in cui il conglomerato bituminoso sia impiegato per la risagomatura della pavimentazione stradale esistente.

I controlli sono effettuati per produzioni giornaliere superiori a 30 tonnellate.

### 3.2.9 Penali

Le detrazioni di seguito descritte saranno applicate in punti percentuali sul prezzo di aggiudicazione lavori del conglomerato bituminoso (preparazione, materiale e stesa).

Il non rispetto dell'intervallo di temperatura di stesa dichiarato per lo specifico prodotto comporta il rifiuto del materiale.

Per i materiali costituenti, le caratteristiche compositive, volumetriche e meccaniche della miscela e delle carote estratte, la Direzione Lavori valuta l'accettabilità del conglomerato e le eventuali penali da applicare.

Il non rispetto del tipo e del dosaggio di additivo, la Direzione Lavori si riserva di stabilire l'accettabilità del conglomerato e le eventuali penali da applicare.

Nell'ambito di progetti con produzione superiore a 4.000 tonnellate, la non consegna settimanale da parte dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto dei rapporti di prova di granulometria e contenuto di bitume eseguiti ogni 1.000 tonnellate di produzione, rilasciati da un laboratorio conto terzi o dal fornitore, comporta il rifiuto del materiale.

La curva granulometrica e il contenuto di bitume riscontrati dopo l'estrazione del conglomerato bituminoso sciolto, in riferimento alla ricetta (prodotto accettato dalla Direzione Lavori), deve rispettare le seguenti tolleranze:

- granulometria: per dimensione superiore o uguale a 4 mm si applica una tolleranza di  $\pm 5$  punti percentuali;
- granulometria: per dimensioni comprese tra 4 e 0,063 mm si applica una tolleranza di  $\pm 3$  punti percentuali;
- granulometria: al passante al setaccio 0,063 mm si applica una tolleranza di  $\pm 1,5$  punti percentuali;
- contenuto di bitume: si applica una tolleranza del  $\pm 5\%$  rispetto al valore dichiarato per la miscela di progetto (es.: contenuto di bitume di progetto = 5%, intervallo di tolleranza 5,25-4,75%).

Nel caso di non conformità la Direzione Lavori può richiedere, in funzione del contesto, il rifacimento dello strato, opere di ripristino a spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto o l'applicazione di una detrazione del 10% sul prezzo di aggiudicazione della lavorazione per lo strato interessato. La superficie di riferimento è calcolata considerando la lunghezza compresa tra la metà della distanza dalla misurazione precedente e la metà della distanza dalla misurazione successiva (oppure considerando la lunghezza del tronco omogeneo) moltiplicato per la larghezza dell'intervento.

Per lo spessore dello strato, determinato da misurazioni sulle carote estratte dalla pavimentazione è tollerata una carenza massima del 10 % rispetto allo spessore di progetto. Per carenze superiori al 10 %, è applicata una detrazione percentuale pari a:

$$\text{Detrazione percentuale per carenza di spessore} = 3 \times (c - 10)$$

dove  $c$  rappresenta la carenza di spessore rispetto al valore di progetto espresso in percentuale. Per esempio, se lo strato è spesso 6,10 cm anziché 7,00 cm e quindi la carenza è del 13 % rispetto al valore di progetto, la penale in percentuale è del  $(13 - 10) \times 3 = 9\%$ . Se la differenza supera il 25 % (in diminuzione), la Direzione Lavori può richiedere il rifacimento dello strato a spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto. Per esempio, se lo spessore di progetto è pari a 7,00 cm, al di sotto di 5,25 cm può essere richiesto il rifacimento. In alternativa alla rimozione e ricostruzione, la Direzione Lavori può autorizzare la stesa di uno strato di conguaglio (previa spruzzatura della mano di attacco) di spessore tale da consentire il raggiungimento dello spessore totale atteso. Per la ricarica può essere impiegato conglomerato bituminoso di tipo binder o usura che non può comunque essere di spessore inferiore a cm 3. Nel rispetto delle quote finali di progetto, la Direzione Lavori valuta la possibilità di una fresatura parziale per aver modo di stendere lo strato di conguaglio nel rispetto del suo spessore minimo. Quando possibile, il conguaglio può essere realizzato incrementando lo spessore del sovrastante strato di usura purché questo non determini difficoltà di stesa e compattazione a causa di spessore eccessivo (mai superiore a 6 cm). La superficie a cui applicare la detrazione è calcolata considerando la lunghezza compresa tra la metà della distanza dalla carota precedente e la metà della distanza dalla carota successiva (oppure considerando la lunghezza del tronco omogeneo) moltiplicato per la larghezza dell'intervento.

Per valori dei vuoti determinati sulle carote superiori al 8 % verrà applicata una detrazione percentuale pari a:

$$\text{Detrazione percentuale per vuoti eccessivi} = 2 \cdot s + s^2$$

dove  $s$  è lo scostamento (eccedenza) dei valori ottenuti dalle carote rispetto al valore limite del 8 %. Per esempio, se la percentuale dei vuoti rilevati dalla carota estratta è del 11 %, la detrazione da applicare è pari a  $2 \cdot (11 - 8) + (11 - 8)^2$  ossia del 15 %. Per valori dei vuoti superiori al 12 % la Direzione Lavori può richiedere il rifacimento dello strato a spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto. La superficie a cui applicare la detrazione è calcolata considerando la lunghezza compresa tra la metà della distanza dalla carota precedente e la metà della distanza dalla carota successiva (oppure considerando la lunghezza del tronco omogeneo) moltiplicato per la larghezza dell'intervento. Nel caso in cui siano presenti pendenze longitudinali superiori al 8 %, il valore limite della percentuale di vuoti per l'applicazione delle detrazioni è il 10 % mentre per la rimozione il 15 %.

La superficie dello strato deve presentarsi priva di irregolarità ed ondulazioni. È tollerato uno scostamento massimo di 5 mm al di sopra del quale la Direzione Lavori può richiedere, in funzione del contesto, il rifacimento dello strato, opere di ripristino a spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto o l'applicazione di una detrazione del 10% sul prezzo di aggiudicazione della lavorazione per lo strato interessato. La superficie di riferimento è calcolata considerando la lunghezza compresa tra la metà della distanza dalla misurazione precedente e la metà della distanza dalla misurazione successiva (oppure considerando la lunghezza del tronco omogeneo) moltiplicato per la larghezza dell'intervento.

Salvo casi particolari che andranno giudicati dalla Direzione Lavori, le penali precedentemente indicate sono cumulabili.

### 3.3 Conglomerato bituminoso con riciclaggio a caldo tipo binder

#### **Elenco prezzi: NV 9.**

Il conglomerato bituminoso a caldo tipo binder con riciclaggio a caldo è costituito da una miscela di inerti vergini (pietrischi, graniglie, sabbie e filler), eventuali additivi, impastata con bitume a caldo in impianti di tipo fisso automatizzati. È ammesso l'uso di conglomerato bituminoso di recupero senza limiti quantitativi nel rispetto della norma UNI EN 13108-8 e UNI/TS 11688. Il conglomerato bituminoso a caldo tipo binder con riciclaggio a caldo è posto in opera mediante macchina vibrofinitrice e subito costipato tramite rulli. La miscela impiegata dovrà essere qualificata in conformità al regolamento UE 305/2011 sui prodotti da costruzione. L'Impresa aggiudicataria dell'appalto deve consegnare alla Direzione Lavori i dosaggi di tutti i componenti usati per il conglomerato bituminoso.

Ciascuna fornitura deve essere accompagnata dal documento di trasporto e dalla marcatura CE, attestante la conformità all'appendice ZA della norma europea armonizzata UNI EN 13108-1, da consegnare al momento della consegna in cantiere.

Una volta accettato il conglomerato bituminoso tipo binder con riciclaggio a caldo da parte della Direzione Lavori, l'Impresa aggiudicataria dell'appalto, è vincolata al rigoroso utilizzo di tutte le sue componenti nel rispetto delle tolleranze riportate nel paragrafo Penali.

#### 3.3.1 Aggregati

Gli aggregati lapidei costituiscono la matrice litica del conglomerato bituminoso con riciclaggio a caldo di tipo binder e sono composti da aggregati grossi, fini e filler proveniente dalla frazione fina (filler di recupero) 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). L'aggregato grosso ( $D \leq 45$  mm;  $d \geq 2$  mm) può essere di provenienza o natura petrografica diversa purché, per ogni tipologia, risultino soddisfatti i requisiti indicati nella Tabella 38. La designazione dell'aggregato grosso dovrà essere effettuata mediante le dimensioni dei setacci appartenenti al gruppo di base, più gruppo 2 della UNI EN 13043.

Parametro	Metodo di prova	Unità di misura	Valori richiesti	Categoria UNI EN 13043
Resistenza alla frammentazione	UNI EN 1097-2	[%]	$\leq 25$	LA <sub>25</sub>
Percentuale di particelle frantumate	UNI EN 933-5	[%]	100	C <sub>100/0</sub>
Passante allo staccio 0,063 mm	UNI EN 933-1	[%]	$\leq 2$	f <sub>2</sub>
Resistenza al gelo e disgelo	UNI EN 1367-1	[%]	$\leq 1$	F <sub>1</sub>
Coefficiente di appiattimento	UNI EN 933-3	[%]	$\leq 25$	FI <sub>25</sub>
Coefficiente di forma	UNI EN 933-4	[%]	$\leq 25$	SI <sub>25</sub>
Assorbimento d'acqua	UNI EN 1097-6	[%]	$\leq 2$	WA <sub>242</sub>

Tabella 38. Caratteristiche dell'aggregato grosso per conglomerato bituminoso con riciclaggio a caldo tipo binder

L'aggregato fine ( $D \leq 2$  mm;  $d = 0$  mm) deve essere costituito esclusivamente da sabbie di frantumazione e potrà essere di provenienza o natura petrografica diversa purché, per ogni tipologia, risultino soddisfatti i requisiti indicati nella Tabella 39. Per motivi di congruenza con le pezzature fini attualmente prodotte in Italia, è permesso l'impiego come aggregato fine anche di aggregati in frazione unica con dimensione massima  $D =$

4 mm. La designazione dell'aggregato fine deve essere effettuata mediante le dimensioni dei setacci appartenenti al gruppo di base, più gruppo 2 della UNI EN 13043.

Parametro	Metodo di prova	Unità di misura	Valori richiesti	Categoria UNI EN 13043
Equivalente in sabbia	UNI EN 933-8	[%]	≥ 70	SE <sub>70</sub>
Indice di plasticità	UNI CEN ISO/TS 17892-12	-	Non plastico	-
Passante allo staccio 0,063 mm	UNI EN 933-1	[%]	≤ 5	f <sub>5</sub>

*Tabella 39. Caratteristiche dell'aggregato fine per conglomerato bituminoso con riciclaggio a caldo tipo binder*

Il filler, frazione per la maggior parte passante allo staccio 0,063 mm, può essere costituito da polvere di roccia preferibilmente calcarea, da cemento, calce idrata, calce idraulica, ceneri volanti. Il filler deve inoltre soddisfare i requisiti indicati in Tabella 40. La granulometria del filler deve essere conforme a quella prevista della norma UNI EN 13043.

Parametro	Metodo di prova	Unità di misura	Valori richiesti	Categoria UNI EN 13043
Indice di plasticità	UNI CEN ISO/TS 17892-12	-	Non plastico	-
Porosità del filler secco compattato (Rigden)	UNI EN 1097-4	[%]	≥ 38	V <sub>38/45</sub>
Passante al setaccio 0,063 mm	-	[%]	≥ 70	-
Stiffening Power	UNI EN 13179-1	[°C]	8 ÷ 25	Δ <sub>R&amp;B8/25</sub>

*Tabella 40. Caratteristiche del filler per conglomerato bituminoso con riciclaggio a caldo tipo binder*

Il paragrafo 1.2 (Certificati di prequalifica e relative penali) specifica le modalità di presentazione e accettazione della documentazione di qualifica.

### 3.3.2 Conglomerato bituminoso di recupero

Il conglomerato bituminoso di recupero (comunemente detto *fresato*) proviene dalla fresatura degli strati di rivestimento stradale in conglomerato bituminoso, dalla frantumazione di lastre in conglomerato bituminoso e da scarti di produzione e/o sovrapproduzione di conglomerato bituminoso (UNI EN 13108-8, UNI/TS 11688).

Al fine di omogeneizzare le caratteristiche del fresato, è raccomandato seguire un processo di frantumazione, vagliatura e divisione dello stesso in almeno due frazioni. Preferibilmente tali frazioni dovranno essere stoccate sotto coperture areate a protezione delle piogge e tali da favorire l'evaporazione dell'umidità. È consigliato produrre le frazioni a seconda delle esigenze di utilizzo in impianto per evitare che, a seguito del lungo stoccaggio, si generino placche.

Ogni frazione del conglomerato bituminoso di recupero deve essere qualificata in conformità alla norma UNI EN 13108-8.

In particolare, l'Impresa aggiudicataria dell'appalto è tenuta a presentare alla Direzione Lavori un apposito certificato, rilasciato da un laboratorio conto terzi o dal produttore, nel quale riportare il valore medio e la deviazione standard (come parametro di omogeneità) della dimensione massima, della granulometria degli aggregati estratti (UNI EN 12697-2) e del contenuto di bitume (UNI EN 12697-1). Per la deviazione standard della granulometria si considererà il passante riferito ad ogni singolo setaccio.

Se il quantitativo di fresato da utilizzare nell'intero progetto è inferiore a 2.500 t, i valori medi e le rispettive deviazioni standard dovranno essere calcolati sulla base di 5 campioni prelevati nel mucchio di origine del fresato (ogni singola frazione) che si intende usare. Se invece il quantitativo di fresato da utilizzare nell'intero

progetto è superiore a 2.500 t, il numero dei campioni da analizzare sarà pari al quantitativo totale di fresato da impiegare nel progetto, espresso in tonnellate, diviso 500.

Per il conglomerato bituminoso con riciclaggio a caldo è possibile impiegare come materiale costituente il fresato proveniente da qualunque strato della sovrastruttura stradale, a patto che la dimensione massima degli aggregati nel fresato non sia superiore alla dimensione massima di riferimento per la miscela di conglomerato bituminoso da produrre. Per restare a favore di sicurezza, è raccomandabile vagliare il fresato per eliminare eventuali elementi di dimensioni superiori alla dimensione massima prevista per la miscela (setaccio più piccolo tra quelli che permettono il 100% di materiale passante).

La percentuale di fresato deve essere obbligatoriamente dichiarata nello studio preliminare della miscela di progetto che l'impresa aggiudicataria dell'appalto è tenuta a presentare alla Direzione Lavori.

Una volta accettato il materiale da parte della Direzione Lavori, l'Impresa aggiudicataria dell'appalto è vincolata al monitoraggio dello stesso durante la produzione secondo le frequenze riportate nel paragrafo Controlli e ad aggiustare opportunamente la produzione in caso di variazioni significative. I rapporti di prova, rilasciati da un laboratorio conto terzi o dal produttore, devono essere consegnati settimanalmente alla Direzione Lavori.

Resta salva la facoltà della Direzione Lavori di verificare con controlli di accettazione i requisiti dichiarati dal produttore.

### 3.3.3 Additivi per riciclaggio a caldo

Gli additivi per riciclaggio a caldo sono prodotti che consentono di correggere le caratteristiche del bitume invecchiato contenuto nel fresato in termini di proprietà di adesione, consistenza e viscosità, migliorando perciò le prestazioni del conglomerato bituminoso finale.

Il loro dosaggio, da specificare obbligatoriamente nello studio della miscela, può variare a seconda delle condizioni di impiego, in funzione del contenuto, tipo e caratteristiche di bitume presente nel fresato e dalle prestazioni del conglomerato bituminoso di progetto. In maniera indicativa il dosaggio dovrà essere compreso tra il 2% e il 7% in peso rispetto al bitume invecchiato presente nel fresato.

L'impresa aggiudicataria dell'appalto è tenuta a presentare alla Direzione Lavori la scheda tecnica e di sicurezza dell'additivo per l'identificazione delle proprie caratteristiche e le modalità di impiego. Inoltre, si deve riportare, in apposito certificato rilasciato da un laboratorio conto terzi o dal produttore, lo spettro infrarosso dell'additivo acquisito in trasmissione tramite Spettrometro Infrarosso (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FT-IR*) nell'intervallo delle frequenze tra 4000 e 400 cm<sup>-1</sup>, indicando le bande caratteristiche del prodotto e quelle individuabili nella miscela bitume-additivo. In funzione dell'impiego, l'additivo per riciclaggio a caldo può essere disperso nel legante o spruzzato direttamente sul fresato, mediante attrezzature idonee a garantire l'esatto dosaggio e omogenea dispersione all'interno del conglomerato bituminoso. L'additivo per riciclaggio a caldo impiegato deve presentare caratteristiche stabili nel tempo anche se sottoposto a temperatura elevata (180°C).

### 3.3.4 Additivi

Gli additivi come attivanti d'adesione costituti da sostanze tensioattive o calce che favoriscono l'adesione bitume-aggregato possono essere impiegati nel conglomerato bituminoso per migliorare la durabilità all'acqua.

La scelta del tipo e del dosaggio di additivo deve essere stabilita in modo da garantire le caratteristiche di resistenza allo spogliamento e di durabilità all'azione dell'acqua richieste per la miscela.

L'Impresa aggiudicataria dell'appalto è tenuta a presentare alla Direzione Lavori la scheda tecnica e di sicurezza dell'additivo per l'identificazione delle proprie caratteristiche e le modalità di impiego. Inoltre, si deve riportare, in apposito certificato rilasciato da un laboratorio conto terzi o dal produttore, lo spettro infrarosso dell'additivo, acquisito in trasmissione tramite Spettrometro Infrarosso (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FT-IR*) nell'intervallo delle frequenze tra 4000 e 400 cm<sup>-1</sup>, indicando le bande caratteristiche del prodotto e quelle individuabili nella miscela bitume-additivo. L'attivante di adesione scelto deve presentare caratteristiche chimiche stabili nel tempo anche se sottoposto a temperatura elevata (180°C).

Nel caso dell'utilizzo di calce, l'Impresa aggiudicataria dell'appalto è tenuta a presentare alla Direzione Lavori la marcatura CE della calce secondo la UNI EN 459-1.

Il dosaggio dell'additivo deve essere specificato obbligatoriamente tra le caratteristiche del conglomerato bituminoso.

### 3.3.5 Bitume

Il bitume deve appartenere alle classi di penetrazione 50/70 oppure 70/100, definite dalla UNI EN 12591. La preferenza di impiego, specificata dalla Direzione Lavori in fase di progetto, è per la classe 50/70 per le stagioni più calde, mentre la classe 70/100 è raccomandata nelle stagioni più fredde. Le proprietà dei bitumi ed i relativi metodi di prova sono indicate nella Tabella 41.

Classe del bitume			50/70	70/100
Parametro	Metodo di prova	Unità di misura	Valori richiesti	Valori richiesti
Penetrazione a 25°C	UNI EN 1426	[× 0.1 mm]	50 - 70	70 - 100
Punto di rammollimento	UNI EN 1427	[°C]	46 - 54	43 - 51
Punto di rottura (Fraass)	UNI EN 12593	[°C]	≤ - 8	≤ - 10
Viscosità dinamica 160°C	UNI EN 13302	[mPa · s]	50 - 200	50 - 200
Solubilità	UNI EN 12592	[%]	≥ 99	≥ 99
Resistenza all'invecchiamento RTFOT	UNI EN 12607-1			
Variazione di massa	UNI EN 12607-1	[%]	≤ 0,5	≤ 0,8
Penetrazione residua a 25°C	UNI EN 1426	[%]	≥ 50	≥ 46
Variazione della temperatura di rammollimento	UNI EN 1427	[°C]	≤ 11	≤ 11

Tabella 41. Caratteristiche del bitume tradizionale

Il paragrafo 1.2 (Certificati di prequalifica e relative penali) specifica le modalità di presentazione e accettazione della documentazione di qualifica.

### 3.3.6 Miscela di progetto

La miscela degli aggregati da adottare per la produzione del conglomerato bituminoso deve avere una composizione granulometrica contenuta nei fusi riportati in Tabella 42. La percentuale di bitume deve essere compresa nei limiti indicati nella stessa tabella. Il fuso AC20 si riferisce a uno spessore dello strato compreso tra 7 e 12 cm, mentre il fuso AC16 si riferisce a uno spessore dello strato compreso tra 5 e 7 cm.

Fuso granulometrico		
Classe di conglomerato bituminoso	AC20	AC16
Apertura setacci UNI [mm]		
31,5	100	-
20	90 ÷ 100	100
16	-	90 ÷ 100
10	56 ÷ 68	73 ÷ 85
4	37 ÷ 48	45 ÷ 56
2	23 ÷ 33	28 ÷ 38
0,5	11 ÷ 17	16 ÷ 24
0,25	6 ÷ 12	11 ÷ 18
0,063	4,0 ÷ 9,0	4,0 ÷ 10,0
Contenuto di bitume		
Contenuto di bitume riferito alla miscela [%]	4,2 ÷ 5,7	4,2 ÷ 5,7
Contenuto di bitume riferito agli aggregati [%]	4,4 ÷ 6,0	4,4 ÷ 6,0

I valori del contenuto di bitume devono essere adeguati agli aggregati utilizzati moltiplicandoli per il fattore:  
 $\alpha = 2,650 / \rho_a$ , dove  $\rho_a$  è la massa volumica apparente degli aggregati, in Mg/m<sup>3</sup> determinata secondo la UNI EN 1097-6.

Tabella 42. Fuso di progetto e intervallo del contenuto di bitume per conglomerato bituminoso con riciclaggio a caldo tipo binder

Le caratteristiche del conglomerato bituminoso con riciclaggio a caldo tipo binder devono essere determinate tramite il metodo volumetrico (UNI EN 12697-31, UNI EN 12697-23) e ricavate dalla media di almeno tre campioni considerando un coefficiente di variazione  $\leq 0,15$  (deviazione standard/media).

Secondo il metodo volumetrico (Tabella 43), i provini devono essere compattati mediante compattatore giratorio ad un numero di giri totali  $N_3$ . La densità di ogni provino compattato a  $N_3$  giri deve essere misurata secondo quanto stabilito dalla UNI EN 12697-6 procedura C (massa volumica apparente, provino sigillato  $\rho_{bseal}$ ) e procedura D (massa volumica apparente con metodo geometrico  $\rho_{bdim}$ ). Il rapporto tra densità del provino sigillato  $\rho_{bseal}$  a  $N_3$  giri e densità geometrica del provino  $\rho_{bdim}$  a  $N_3$  giri è usato come fattore correttivo ( $f = \rho_{bseal} / \rho_{bdim}$ ) di tutte le densità geometriche registrate durante il processo di compattazione (densità corretta = densità geometrica  $\times f$ ). La densità corretta e la densità massima teorica  $\rho_m$  (UNI EN 12697-5) sono usate per il calcolo dei vuoti  $V_m$  del provino durante il processo di compattazione. La verifica della percentuale dei vuoti  $V_m$  calcolati secondo la UNI EN 12697-8 deve essere eseguita a tre livelli di compattazione:  $N_1$  (iniziale, post-stesa),  $N_2$  (intermedio, post-rullatura),  $N_3$  (finale, previsionale post-traffico).

I vuoti nell'aggregato minerale *VMA* e i vuoti riempiti di bitume *VFB* devono essere calcolati secondo la UNI EN 12697-8 in riferimento al livello di compattazione  $N_2$ . La miscela di progetto deve verificare i requisiti volumetrici e meccanici riportati in Tabella 43. Quando prodotto in laboratorio, il conglomerato bituminoso deve essere confezionato in accordo alla UNI EN 12697-35.

Condizioni di compattazione			
Parametro	Unità di misura	Normativa di riferimento	Valori richiesti
Angolo di rotazione esterno	[°]	SHRP Designation M-002	1,25 ± 0,02
Velocità di rotazione	[rotazioni/min]	UNI EN 12697-31	30
Pressione verticale	[kPa]	UNI EN 12697-31	600
Diametro della fustella	[mm]	UNI EN 12697-31	100 (per AC16)
Massa del campione	[kg]	-	1,100 (per AC16)
Diametro della fustella	[mm]	UNI EN 12697-31	150 (per AC20)
Massa del campione	[kg]	-	4,500 (per AC20)
Temperatura di compattazione	[°C]	UNI EN 12697-35	temperatura operativa ± 10
Proprietà volumetriche e meccaniche			
Parametro	Unità di misura	Normativa di riferimento	Valori richiesti
$V_m$ a 10 rotazioni ( $N_1$ )	[%]	UNI EN 12697-8	11 - 15
$V_m$ a 100 rotazioni ( $N_2$ )	[%]	UNI EN 12697-8	3 - 6
VMA a 100 rotazioni ( $N_2$ )	[%]	UNI EN 12697-8	> 12
VFB a 100 rotazioni ( $N_2$ )	[%]	UNI EN 12697-8	65 - 80
$V_m$ a 180 rotazioni ( $N_3$ )	[%]	UNI EN 12697-8	> 2
Resistenza a trazione indiretta a 25°C a $N_2$ (ITS)	[N/mm²]	UNI EN 12697-23	0,75 - 1,50
Coef. di trazione indiretta <sup>1</sup> a 25°C a $N_2$ (CTI)	[N/mm²]	-	≥ 70
Sensibilità all'acqua (ITSR)	[%]	UNI EN 12697-12	≥ 80

<sup>1</sup>  $CTI = \frac{\pi \cdot D \cdot ITS}{2 \cdot d_v}$  dove  $D$  è il diametro del provino e  $d_v$  è lo schiacciamento verticale registrato in corrispondenza del carico massimo

Tabella 43. Caratteristiche della miscela di progetto per conglomerato bituminoso con riciclaggio a caldo tipo binder

Il paragrafo 1.2 (Certificati di prequalifica e relative penali) specifica le modalità di presentazione e accettazione della documentazione di qualifica.

L'Impresa aggiudicataria dell'appalto deve dichiarare l'intervallo di temperatura di stesa del prodotto affinché siano garantite le prestazioni richieste. Il produttore deve inoltre dichiarare la ricetta del conglomerato bituminoso, il contenuto di fresato e le sue caratteristiche e il dosaggio e il tipo di additivi impiegati.

Per progetti con produzione superiore a 4.000 tonnellate, l'Impresa aggiudicataria dell'appalto deve consegnare settimanalmente alla Direzione Lavori i rapporti di prova di granulometria e contenuto di bitume eseguiti ogni 1.000 tonnellate di produzione che potranno essere rilasciati da un laboratorio conto terzi o dal fornitore.

Nel caso in cui non sia comprovata l'esperienza del produttore per tale miscela, la Direzione Lavori si riserva la possibilità di richiedere una verifica in campo prova esterno al cantiere di progetto.

### 3.3.7 Produzione della miscela

Il conglomerato bituminoso deve essere confezionato mediante impianti fissi automatizzati, di idonee caratteristiche, mantenuti sempre perfettamente funzionanti in ogni loro parte.

La produzione di ciascun impianto non deve 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.

L'impianto deve garantire uniformità di produzione ed essere in grado di realizzare una miscela rispondente alle caratteristiche dichiarate di progetto. Ogni impianto deve assicurare il riscaldamento del bitume alla

temperatura opportuna a mantenere una viscosità uniforme fino al momento della miscelazione, nonché il perfetto dosaggio sia del bitume che di eventuali additivi.

La zona destinata allo stoccaggio degli inerti sarà preventivamente e convenientemente scelta per evitare la contaminazione da sostanze argillose e ristagni di acqua che possono compromettere la pulizia degli aggregati. Inoltre, i cumuli delle diverse classi devono essere separati tra di loro e l'operazione di rifornimento nei predosatori eseguita con la massima cura. Si farà uso di almeno 4 classi di aggregati con predosatori in numero corrispondente alle classi impiegate.

Al fine di omogeneizzare le caratteristiche del fresato, è raccomandato seguire un processo di frantumazione, vagliatura e divisione dello stesso in almeno due frazioni. Preferibilmente tali frazioni dovranno essere stoccate sotto coperture areate a protezione delle piogge e tali da favorire l'evaporazione dell'umidità. Inoltre è consigliato produrre le frazioni a seconda delle esigenze di utilizzo in impianto per evitare che, a eseguito del lungo stoccaggio, si generino placche.

Il tempo di miscelazione è stabilito in funzione delle caratteristiche dell'impianto, in misura tale da permettere un completo ed uniforme rivestimento degli inerti con il legante.

La temperatura degli aggregati, del fresato e del bitume all'atto della miscelazione deve garantire il raggiungimento delle prestazioni richieste della miscela a seguito della stesa. Per la verifica delle suddette temperature, gli essiccatori, le caldaie e le tramogge degli impianti devono 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.

### 3.3.8 Preparazione della superficie di stesa

La stesa del conglomerato bituminoso avviene solo dopo che sia stata accertata dalla Direzione Lavori la rispondenza del piano di posa ai requisiti di quota, sagoma, densità e portanza indicati in progetto. Il piano di posa deve risultare perfettamente pulito e privo di ogni residuo di qualsiasi natura.

Prima della realizzazione dello strato in conglomerato bituminoso è necessario preparare la superficie di stesa allo scopo di garantire una adeguata adesione all'interfaccia mediante l'applicazione di una emulsione bituminosa aventi caratteristiche specifiche (UNI EN 13808, UNI/TR 11362).

A seconda che lo strato di supporto sia un misto granulare, misto cementato oppure un conglomerato bituminoso (nuovo, fresato o usurato), la lavorazione corrispondente prende il nome rispettivamente di impregnazione (mano di ancoraggio) e mano d'attacco.

Entrambe le lavorazioni sono dettagliate rispettivamente nei paragrafi 9.1 e 9.2.

### 3.3.9 Posa in opera della miscela

La posa in opera del conglomerato bituminoso è effettuata a mezzo di macchine vibrofinitrici dei tipi approvati dalla Direzione Lavori in perfetto stato di efficienza e dotate di automatismi di autolivellamento. La Direzione Lavori si riserva la facoltà di poter far variare la tecnologia ritenuta non opportuna.

Le vibrofinitrici non devono mai operare a velocità di stesa superiori a 5 m/min e devono comunque lasciare uno strato finito perfettamente sagomato, privo di sgranamenti, fessurazioni, esente da difetti dovuti a segregazione degli elementi litoidi più grossi.

Durante la stesa si deve porre la massima cura alla formazione dei giunti longitudinali e trasversali.

Nel caso di costruzione di due strisce adiacenti, il giunto longitudinale è preferibilmente ottenuto mediante tempestivo affiancamento di una striscia alla precedente o con l'impiego di due vibrofinitrici. Qualora ciò non sia possibile, se il bordo risulta danneggiato o arrotondato si deve procedere al taglio verticale (rettifica) con idonea attrezzatura e ad una successiva spruzzatura di emulsione bituminosa cationica a rapida rottura per assicurare la saldatura delle due strisce. Nel caso in cui il nuovo strato vada in adiacenza ad uno strato esistente, prima della stesa si deve provvedere alla rettifica del bordo dello strato esistente e alla spruzzatura con emulsione bituminosa cationica a rapida rottura per assicurare la saldatura della nuova striscia all'esistente.

Il giunto trasversale, di inizio o fine produzione giornaliera o inizio o fine sezione, deve essere realizzato tramite taglio verticale (rettifica) con idonea attrezzatura e ad una successiva spruzzatura di emulsione bituminosa cationica a rapida rottura.

La sovrapposizione dei giunti tra i vari strati sovrapposti deve essere programmata e realizzata in maniera che essi risultino tra loro sfalsati di almeno 20 cm e non cadano mai in corrispondenza delle due fasce della corsia di marcia normalmente interessata dai veicoli pesanti.

Il trasporto del conglomerato bituminoso dall'impianto di confezionamento al cantiere di stesa deve avvenire mediante mezzi di trasporto di adeguata portata, efficienti e veloci, sempre dotati di telone di copertura per evitare un eccessivo raffreddamento del prodotto e la formazione di croste.

La temperatura del conglomerato bituminoso all'atto della stesa, controllata immediatamente dietro la vibrofinitrice, deve rispettare l'intervallo di temperatura dichiarato per lo specifico prodotto.

La stesa del conglomerato bituminoso deve avvenire in maniera continua e senza interruzioni fino a completo esaurimento del materiale trasportato, evitando problemi causati dal possibile raffreddamento superficialmente del materiale. La stesa del conglomerato bituminoso dovrà essere sospesa quando le condizioni meteorologiche generali possono pregiudicare la perfetta riuscita del lavoro. Gli strati eventualmente compromessi dovranno essere immediatamente rimossi e successivamente ricostruiti a spese dell'impresa.

La compattazione del conglomerato bituminoso deve iniziare appena steso dalla vibrofinitrice e condotta a termine senza interruzioni.

L'addensamento deve essere realizzato con un rullo vibrante tandem di almeno 8 tonnellate seguito da un rullo gommato con almeno cinque ruote e peso di almeno 12 tonnellate. Il rullo gommato deve operare in un intervallo di temperatura tale da non ormaiare lo strato e, allo stesso tempo, evitare che il conglomerato si attacchi allo pneumatico.

A chiudere la fase di compattazione, il rullo tandem provvede all'eventuale finitura in modalità statica. I rulli in fase di compattazione non dovranno mai procedere con velocità superiori a 5 km/h.

Si deve inoltre avere cura che la compattazione sia condotta con la metodologia più adeguata per ottenere uniforme addensamento in ogni punto ed evitare fessurazioni e scorimenti nello strato appena steso.

Nel caso di doppi strati, la sovrapposizione deve avvenire nel minor tempo possibile, comunque nell'arco delle 24 ore successive, altrimenti sarà necessario applicare una mano di attacco di emulsione bituminosa rapida in ragione di 0,30 kg/m<sup>2</sup> di bitume residuo.

Eventuali principi di sgranature o aree con affioramento superficiale di aggregati grossi indice di segregazione della miscela, specialmente nei pressi delle zone di partenza o fermata della vibrofinitrice o attigue a pozetti o aree soggette a lavorazioni a mano, dovranno essere rese saldamente coese con sigillatura, anche manuale, con emulsione bituminosa e filler o sabbia.

### 3.3.10 Controlli

Il controllo della qualità del conglomerato bituminoso è effettuato mediante prove di laboratorio sui materiali costituenti, sulla miscela, sulle carote estratte dalla pavimentazione e sulla superficie dello strato per verificarne le caratteristiche di accettabilità. La Tabella 44 mostra il tipo di campione, l'ubicazione e la frequenza del controllo e i requisiti da rispettare durante tutto il processo di costruzione.

Controllo dei materiali e verifiche prestazionali			
Tipo di campione	Ubicazione del controllo	Frequenza del controllo	Requisiti
Aggregato grosso	Impianto	Inizio cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	Caratteristiche
Aggregato fine	Impianto	Inizio cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	Caratteristiche
Filler	Impianto	Inizio cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	Caratteristiche
Conglomerato bituminoso di recupero (fresato)	Impianto	Giornaliera o ogni 5000 m <sup>2</sup> di stesa o a discrezione della Direzione Lavori	Dimensione massima, granulometria degli aggregati, contenuto di bitume
Bitume	Cisterna	Inizio cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	Caratteristiche
Conglomerato bituminoso sfuso	Vibrofinitrice	Giornaliera o ogni 5000 m <sup>2</sup> di stesa o a discrezione della Direzione Lavori	Temperatura di stesa, contenuto di bitume, granulometria, caratteristiche volumetriche e additivi
Carote	Pavimentazione	Ogni 250 m di stesa o a discrezione della Direzione Lavori	Spessore, contenuto di vuoti ( $V_m = 2 - 8\%$ )
Superficie della pavimentazione	Pavimentazione	Ogni 250 m di stesa cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	Scostamento ( $\Delta \leq 5$ mm)

Tabella 44. Controlli da eseguire per il conglomerato bituminoso con riciclaggio a caldo tipo binder

La temperatura di stesa del conglomerato bituminoso con riciclaggio a caldo tipo binder dovrà essere controllata immediatamente dietro la vibrofinitrice all'atto della stesa e deve rispettare l'intervallo di temperatura dichiarato per lo specifico prodotto.

Ogni prelievo deve essere costituito da due campioni:

- uno utilizzato per i controlli presso un laboratorio conto terzi selezionato dalla Direzione Lavori;
- uno a disposizione dell'impresa aggiudicataria dell'appalto.

Per ogni campione di conglomerato bituminoso sfuso vengono determinate: la percentuale di bitume (UNI EN 12697-1), la granulometria degli aggregati estratti (UNI EN 12697-2) e la densità massima teorica (UNI EN 12697-5).

Con lo stesso materiale dovranno essere compattati tre provini con compattatore giratorio a N<sub>3</sub> giri per le verifiche volumetriche e tre provini a N<sub>2</sub> giri per la verifica dei valori ITS e CTI.

Le carote estratte dalla pavimentazione permettono le verifiche dello spessore e del contenuto di vuoti. La percentuale di vuoti è determinata sulla base della densità massima teorica (calcolata o misurata) sul più vicino campionamento di conglomerato bituminoso sfuso. In mancanza di valori misurati o calcolati può essere usata della densità massima teorica dichiarata. Lo spessore dello strato viene determinato facendo la media delle quattro altezze relative a due diametri ortogonali della circonferenza delle carote estratte. È raccomandato eseguire il primo carotaggio il giorno seguente l'inizio dei lavori.

Carote aggiuntive potranno essere prelevate a discrezione della Direzione Lavori per eventuali prove meccaniche (*ITS* e *CTI*).

Le eventuali irregolarità  $\Delta$  superficiali dovranno essere misurate in direzione longitudinale e trasversale tramite un regolo di 3 m (UN EN 13036-7).

Nel caso in cui non sia comprovata l'esperienza del produttore per tale miscela, la Direzione Lavori si riserva la possibilità di richiedere una verifica in campo prova esterno al cantiere di progetto.

Per progetti con produzione superiore a 4.000 tonnellate, l'impresa aggiudicataria dell'appalto deve consegnare settimanalmente alla Direzione Lavori i rapporti di prova di granulometria e contenuto di bitume eseguiti ogni 1.000 tonnellate di produzione che possono essere rilasciati da un laboratorio conto terzi o dal fornitore.

I controlli riferiti alla pavimentazione (spessore, contenuto di vuoti e regolarità) non saranno effettuati nel caso in cui il conglomerato bituminoso sia impiegato per la risagomatura della pavimentazione stradale esistente.

I controlli saranno effettuati per produzioni giornaliere superiori a 30 tonnellate.

### 3.3.11 Penali

Le detrazioni di seguito descritte sono applicate in punti percentuali sul prezzo di aggiudicazione lavori del conglomerato bituminoso a caldo tipo binder con riciclaggio a caldo (preparazione, materiale e stesa).

Il non rispetto dell'intervallo di temperatura di stesa dichiarato per lo specifico prodotto comporta il rifiuto del materiale.

Per i materiali costituenti, le caratteristiche compositive, volumetriche e meccaniche della miscela e delle carote estratte, la Direzione Lavori valuta l'accettabilità del conglomerato e le eventuali penali da applicare.

Il non rispetto del tipo e del dosaggio di additivo, la Direzione Lavori si riserva di stabilire l'accettabilità del conglomerato e le eventuali penali da applicare.

Nell'ambito di progetti con produzione superiore a 4.000 tonnellate, la non consegna settimanale da parte dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto dei rapporti di prova di granulometria e contenuto di bitume eseguiti ogni 1.000 tonnellate di produzione, rilasciati da un laboratorio conto terzi o dal fornitore, comporta il rifiuto del materiale.

La curva granulometrica e il contenuto di bitume riscontrati dopo l'estrazione del conglomerato bituminoso sciolto, in riferimento alla ricetta (prodotto accettato dalla Direzione Lavori), deve rispettare le seguenti tolleranze:

- granulometria: per dimensione superiore o uguale a 4 mm si applica una tolleranza di  $\pm 5$  punti percentuali;
- granulometria: per dimensioni comprese tra 4 e 0,063 mm si applica una tolleranza di  $\pm 3$  punti percentuali;
- granulometria: al passante al setaccio 0,063 mm si applica una tolleranza di  $\pm 1,5$  punti percentuali;
- contenuto di bitume: si applica una tolleranza del  $\pm 5\%$  rispetto al valore dichiarato per la miscela di progetto (es.: contenuto di bitume di progetto = 5%, intervallo di tolleranza 5,25-4,75%).

Nel caso di non conformità la Direzione Lavori può richiedere, in funzione del contesto, il rifacimento dello strato, opere di ripristino a spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto o l'applicazione di una detrazione del 10% sul prezzo di aggiudicazione della lavorazione per lo strato interessato. La superficie di riferimento è calcolata considerando la lunghezza compresa tra la metà della distanza dalla misurazione precedente e la metà della distanza dalla misurazione successiva (oppure considerando la lunghezza del tronco omogeneo) moltiplicato per la larghezza dell'intervento.

Per lo spessore dello strato, determinato da misurazioni sulle carote estratte dalla pavimentazione è tollerata una carenza massima del 10 % rispetto allo spessore di progetto. Per carenze superiori al 10 %, è applicata una detrazione percentuale pari a:

$$\text{Detrazione percentuale per carenza di spessore} = 3 \times (c - 10)$$

dove  $c$  rappresenta la carenza di spessore rispetto al valore di progetto espressa in percentuale. Per esempio, se lo strato è spesso 6,10 cm anziché 7,00 cm e quindi la carenza è del 13 % rispetto al valore di progetto, la penale in percentuale è del  $(13 - 10) \times 3 = 9\%$ . Se la differenza supera il 25 % (in diminuzione), la Direzione Lavori può richiedere il rifacimento dello strato a spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto. Per esempio, se lo spessore di progetto è pari a 7,00 cm, al di sotto di 5,25 cm può essere richiesto il rifacimento. In alternativa alla rimozione e ricostruzione, la Direzione Lavori può autorizzare la stesa di uno strato di conguaglio (previa spruzzatura della mano di attacco) di spessore tale da consentire il raggiungimento dello spessore totale atteso. Per la ricarica può essere impiegato conglomerato bituminoso di tipo binder o usura che non potrà comunque essere di spessore inferiore a cm 3. Nel rispetto delle quote finali di progetto, la Direzione Lavori valuta la possibilità di una fresatura parziale per aver modo di stendere lo strato di conguaglio nel rispetto del suo spessore minimo. Quando possibile, il conguaglio può essere realizzato incrementando lo spessore del sovrastante strato di usura purché questo non determini difficoltà di stesa e compattazione a causa di spessore eccessivo (mai superiore a 6 cm). La superficie a cui applicare la detrazione è calcolata considerando la lunghezza compresa tra la metà della distanza dalla carota precedente e la metà della distanza dalla carota successiva (oppure considerando la lunghezza del tronco omogeneo) moltiplicato per la larghezza dell'intervento.

Per valori dei vuoti determinati sulle carote superiori al 8 % verrà applicata una detrazione percentuale pari a:

$$\text{Detrazione percentuale per vuoti eccessivi} = 2 \cdot s + s^2$$

dove  $s$  è lo scostamento (eccedenza) dei valori ottenuti dalle carote rispetto al valore limite del 8 %. Per esempio, se la percentuale dei vuoti rilevati dalla carota estratta è del 11 %, la detrazione da applicare è pari a  $2 \cdot (11 - 8) + (11 - 8)^2$  ossia del 15 %. Per valori dei vuoti superiori al 12 % la Direzione Lavori può richiedere il rifacimento dello strato a spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto. La superficie a cui applicare la detrazione è calcolata considerando la lunghezza compresa tra la metà della distanza dalla carota precedente

e la metà della distanza dalla carota successiva (oppure considerando la lunghezza del tronco omogeneo) moltiplicato per la larghezza dell'intervento. Nel caso in cui siano presenti pendenze longitudinali superiori al 8 %, il valore limite della percentuale di vuoti per l'applicazione delle detrazioni è il 10 % mentre per la rimozione il 15 %.

La superficie dello strato deve presentarsi priva di irregolarità ed ondulazioni. È tollerato uno scostamento massimo di 5 mm al di sopra del quale la Direzione Lavori può richiedere, in funzione del contesto, il rifacimento dello strato, opere di ripristino a spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto o l'applicazione di una detrazione del 10% sul prezzo di aggiudicazione della lavorazione per lo strato interessato. La superficie di riferimento è calcolata considerando la lunghezza compresa tra la metà della distanza dalla misurazione precedente e la metà della distanza dalla misurazione successiva (oppure considerando la lunghezza del tronco omogeneo) moltiplicato per la larghezza dell'intervento.

Salvo casi particolari che andranno giudicati dalla Direzione Lavori, le penali precedentemente indicate sono cumulabili.



Capitolato Speciale d'Appalto per la Manutenzione  
Straordinaria di Pavimentazioni Stradali  
Versione 23-10-2022

GEAT s.r.l.

Sede legale:

Viale Lombardia 17 – 47838 Riccione (RN)

tel.: 0541/668011 - fax: 0541/643613

PEC: geat@legal-pec.it - www.geat.it

## 4 Strato di binder o base a freddo

## 4.1 Conglomerato bituminoso riciclato a freddo in impianto per viabilità principale

### **Elenco prezzi: NV 10.**

Il conglomerato bituminoso riciclato a freddo in impianto è costituito da conglomerato bituminoso di recupero (comunemente chiamato fresato), filler di integrazione ed eventuali inerti vergini (pietrischi, graniglie, sabbie), il tutto impastato a freddo in impianti di tipo fisso o mobile con emulsione di bitume modificato e cemento.

Il conglomerato bituminoso riciclato a freddo è posto in opera mediante macchina vibrofinitrice e subito costipato tramite rulli (rullo tandem vibrante e rullo gommato). Esso può essere impiegato sia per strati di base che di binder in funzione delle disposizioni di progetto. È raccomandato uno spessore dello strato superiore a 10 cm e, quando superiore a 20 cm, è consigliata la realizzazione in due strati. Il piano di posa deve avere una portanza di almeno  $M_d = 80 \text{ N/mm}^2$  al primo ciclo misurata con piastra statica tra 0,15 e 0,25 N/mm<sup>2</sup>.

Una volta accettato il conglomerato bituminoso da parte della Direzione Lavori, l'Impresa aggiudicataria dell'appalto, è vincolata al rigoroso utilizzo di tutte le sue componenti nel rispetto delle tolleranze riportate nel paragrafo Penali.

### 4.1.1 Aggregati

Gli aggregati lapidei possono essere impiegati ad integrazione del fresato per l'ottenimento di prestazioni della miscela adeguate. Essi comprendono aggregati grossi, fini (o in frazione unica) e filler proveniente dalla frazione fina (filler di recupero) 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). L'aggregato grosso ( $D \leq 45 \text{ mm}$ ;  $d \geq 2 \text{ mm}$ ) può essere di provenienza o natura petrografica diversa purché, per ogni tipologia, risultino soddisfatti i requisiti indicati nella (Tabella 45). La designazione dell'aggregato grosso deve essere effettuata mediante le dimensioni dei setacci appartenenti al gruppo di base, più gruppo 2 della UNI EN 13043.

Parametro	Metodo di prova	Unità di misura	Valori richiesti	Categoria UNI EN 13043
Resistenza alla frammentazione	UNI EN 1097-2	[%]	$\leq 30$	LA <sub>30</sub>
Percentuale di particelle frantumate	UNI EN 933-5	[%]	100	C <sub>100/0</sub>
Resistenza al gelo e disgelo	UNI EN 1367-1	[%]	$\leq 1$	F <sub>1</sub>
Coefficiente di appiattimento	UNI EN 933-3	[%]	$\leq 25$	FI <sub>25</sub>
Coefficiente di forma	UNI EN 933-4	[%]	$\leq 25$	SI <sub>25</sub>
Assorbimento d'acqua	UNI EN 1097-6	[%]	$\leq 2$	WA <sub>242</sub>

*Tabella 45. Caratteristiche dell'aggregato grosso per conglomerato bituminoso riciclato a freddo*

L'aggregato fine ( $D \leq 2 \text{ mm}$ ;  $d = 0 \text{ mm}$ ) è costituito da sabbia di provenienza o natura petrografica diversa purché, per ogni tipologia, risulti con indice di plasticità pari a 0 (UNI CEN ISO/TS 17892-12). Per motivi di congruenza con le pezzature fini attualmente prodotte in Italia, è permesso l'impiego come aggregato fine anche di aggregati in frazione unica con dimensione massima  $D = 4 \text{ mm}$  (Tabella 46). La designazione dell'aggregato fine deve essere effettuata mediante le dimensioni dei setacci appartenenti al gruppo di base, più gruppo 2 della UNI EN 13043.

Parametro	Metodo di prova	Unità di misura	Valori richiesti	Categoria UNI EN 13043
Indice di plasticità	UNI CEN ISO/TS 17892-12	-	Non plastico	-

*Tabella 46. Caratteristiche dell'aggregato fine per conglomerato bituminoso riciclato a freddo*

Il filler, frazione per la maggior parte passante allo staccio 0,063 mm, può essere costituito da polvere di roccia preferibilmente calcarea, da cemento, calce idrata, calce idraulica, ceneri volanti. Il filler deve inoltre soddisfare i requisiti indicati in Tabella 47. La granulometria del filler deve essere conforme a quella prevista della norma UNI EN 13043.

Parametro	Metodo di prova	Unità di misura	Valori richiesti	Categoria UNI EN 13043
Indice di plasticità	UNI CEN ISO/TS 17892-12	-	Non plastico	-
Porosità del filler secco compattato (Rigden)	UNI EN 1097-4	[%]	$\geq 38$	V <sub>38/45</sub>
Passante al setaccio 0,063 mm	-	[%]	$\geq 70$	-
Stiffening Power	UNI EN 13179-1	[°C]	$8 \div 25$	$\Delta_{R\&B} 8/25$

*Tabella 47. Caratteristiche del filler per conglomerato bituminoso riciclato a freddo*

Possono essere impiegati anche aggregati in frazione unica purché nel rispetto delle caratteristiche sopra elencate per le varie pezzature.

Il paragrafo 1.2 (Certificati di prequalifica e relative penali) specifica le modalità di presentazione e accettazione della documentazione di qualifica.

Tale documentazione deve essere inoltre integrata dalla granulometria degli aggregati impiegati come integrazione.

#### 4.1.2 Conglomerato bituminoso di recupero

Il conglomerato bituminoso di recupero (comunemente chiamato fresato) proviene dalla fresatura degli strati di rivestimento stradale in conglomerato bituminoso, dalla frantumazione di lastre in conglomerato bituminoso e da scarti di produzione e/o sovrapproduzione di conglomerato bituminoso (UNI EN 13108-8, UNI/TS 11688).

Al fine di omogeneizzare le caratteristiche del fresato, è raccomandato seguire un processo di frantumazione, vagliatura e divisione dello stesso in almeno due frazioni. Preferibilmente tali frazioni devono essere stoccate sotto coperture areate a protezione delle piogge e tali da favorire l'evaporazione dell'umidità. È consigliato produrre le frazioni a seconda delle esigenze di utilizzo in impianto per evitare che, a seguito del lungo stoccaggio, si generino placche.

Ogni frazione del conglomerato bituminoso di recupero deve essere qualificata in conformità alla norma UNI EN 13242.

In particolare, l'Impresa aggiudicataria dell'appalto è tenuta a presentare alla Direzione Lavori un apposito certificato rilasciato da un laboratorio conto terzi o dal produttore, nel quale riportare il valore medio e la deviazione standard (come parametro di omogeneità) della dimensione massima, coefficiente di forma e appiattimento, della granulometria degli aggregati estratti (UNI EN 12697-2), del contenuto di bitume (UNI EN 12697-1) e della granulometria tal quale eseguita per via umida. Per la deviazione standard della granulometria si considererà il passante riferito ad ogni singolo setaccio.

Se il quantitativo di fresato da utilizzare nell'intero progetto è inferiore a 2.500 t, i valori medi e le rispettive deviazioni standard dovranno essere calcolati sulla base di 5 campioni prelevati nel mucchio di origine del

fresato (ogni singola frazione) che si intende usare. Se invece il quantitativo di fresato da utilizzare nell'intero progetto è superiore a 2.500 t, il numero dei campioni da analizzare sarà pari al quantitativo totale di fresato da impiegare nel progetto, espresso in tonnellate, diviso 500.

Per lo strato di conglomerato bituminoso riciclato a freddo in impianto è possibile impiegare come materiale costituente il fresato proveniente da qualunque strato della sovrastruttura stradale, a patto che la dimensione massima del fresato tal quale non sia superiore alla dimensione massima di riferimento per la miscela di conglomerato bituminoso da produrre. È raccomandabile vagliare il fresato per eliminare eventuali elementi di dimensioni superiori alla dimensione massima prevista per la miscela (setaccio più piccolo tra quelli che permettono il 100% di materiale passante).

Il coefficiente di forma e appiattimento devono essere entrambe < 30%.

La percentuale di fresato deve essere obbligatoriamente dichiarata nello studio preliminare della miscela di progetto che l'Impresa aggiudicataria dell'appalto è tenuta a presentare alla Direzione Lavori.

Resta salva la facoltà della Direzione Lavori di verificare con controlli di accettazione i requisiti dichiarati dal produttore.

#### 4.1.3 Emulsione di bitume modificato per riciclaggio a freddo in impianto

L'emulsione bituminosa impiegata per il riciclaggio a freddo in impianto deve avere caratteristiche specifiche (UNI EN 13808, UNI/TR 11362).

Il materiale da impiegare per il riciclaggio a freddo in impianto è una emulsione bituminosa cationica sovrastabilizzata rispondente alle specifiche indicate nella Tabella 48. È ammesso anche l'utilizzo di emulsioni bituminose cationiche diversamente diluite a condizione che non varino gli indicatori di qualità (valutati sul bitume residuo) ed il dosaggio del bitume residuo prescritto.

Emulsione di bitume modificato per riciclaggio a freddo in impianto				
Parametro	Metodo di prova	Unità di misura	Valori richiesti	Classe UNI EN 13808
Polarità	UNI EN 1430	-	positiva	2
Contenuto di bitume	UNI EN 1428	[%]	60 ± 2	6
Sedimentazione a 7 giorni	UNI EN 12847	[%]	≤ 10	3
Adesività	UNI EN 13614	[%]	≥ 90	3
Viscosità a 40°C	UNI EN 12846	[s]	15-70	3
Indice di rottura	UNI EN 13075-1	-	≥ 150	-
Stabilità alla miscelazione con cemento	UNI EN 12848	[g]	≤ 2	10
Bitume residuo				
Penetrazione a 25°C	UNI EN1426	[0,1 × mm]	≤ 100	3
Punto di rammollimento	UNI EN1427	[°C]	≥ 55	2
Coesione a 10°C	UNI EN 13589 UNI EN 13703	[J/cm²]	≥ 2	5
Ritorno elastico	UNI EN 13398	[%]	≥ 50	3

Tabella 48. Caratteristiche dell'emulsione di bitume modificato per riciclaggio a freddo in impianto

L'Impresa appaltatrice deve dichiarare la temperatura di impiego dell'emulsione bituminosa.

Il paragrafo 1.2 (Certificati di prequalifica e relative penali) specifica le modalità di presentazione e accettazione della documentazione di qualifica.

#### 4.1.4 Cemento

Il cemento impiegato deve far parte delle seguenti tipologie:

- CEM I cemento Portland
- CEM II cemento Portland composito
- CEM III cemento d'altoforno;
- CEM IV cemento pozzolanico.

Nel caso in cui il fresato tal quale risulti particolarmente carente di filler è raccomandato l'uso di cemento CEM II o integrazione con filler ad attività pozzolanica.

L'Impresa aggiudicataria dell'appalto è tenuta a presentare la documentazione attestante la conformità del cemento che intende impiegare secondo la UNI EN 197-1.

Le caratteristiche del cemento devono includere la granulometria.

Il paragrafo 1.2 (Certificati di prequalifica e relative penali) specifica le modalità di presentazione e accettazione della documentazione di qualifica.

#### 4.1.5 Calce

Per il miglioramento delle prestazioni meccaniche del conglomerato bituminoso riciclato a freddo in impianto e per facilitare l'asciugatura del fresato è possibile prevedere l'impiego di calce.

L'Impresa aggiudicataria dell'appalto è tenuta a presentare la documentazione attestante la conformità della calce che intende impiegare secondo la UNI EN 459-1.

Il paragrafo 1.2 (Certificati di prequalifica e relative penali) specifica le modalità di presentazione e accettazione della documentazione di qualifica.

Le caratteristiche della calce devono includere la granulometria.

#### 4.1.6 Acqua

L'acqua impiegata deve essere esente da impurità dannose, conforme alla norma UNI EN 1008.

#### 4.1.7 Miscela di progetto

Per la miscela di fresato (tal quale), aggregati vergini, filler minerale e attivo di integrazione si raccomanda una composizione granulometrica contenuta nei fusi riportati in Tabella 49 o di seguire la distribuzione di Fuller  $P_i = 100 \cdot \left(\frac{d_i}{D}\right)^{0,45}$  dove  $P_i$  è il passante al setaccio  $i$ -esimo,  $d_i$  è il setaccio  $i$ -esimo e  $D$  è la dimensione massima. Il fuso AC20 è raccomandato per spessori tra 10 e 15 mentre il fuso AC30 per spessori tra 15 a 20 cm.

Fuso granulometrico		
Classe di conglomerato bituminoso	AC20	AC30
Apertura setacci UNI [mm]	Passante totale in peso [%]	
40	-	100
31,5	100	90 - 100
20	90 - 100	-
16	-	60 - 90
10	50 - 80	40 - 80
4	30 - 55	-
2	20 - 40	20 - 40
0,5	10 - 25	10 - 25
0,25	-	-
0,063	3,0 - 8,0	3,0 - 8,0

Tabella 49. Fuso granulometrico in funzione della dimensione massima per il conglomerato bituminoso riciclato a freddo in impianto

La granulometria della miscela granulare (esclusi i leganti idraulici) pre e post-estrazione e la granulometria del prodotto (inclusi i leganti idraulici) post-estrazione devono essere dichiarate in apposito certificato rilasciato da un laboratorio conto terzi o dal produttore.

Una volta accettato il prodotto da parte della Direzione Lavori, l'Impresa è vincolata al monitoraggio della granulometria tale quale (prelievo su nastro pre-impasto), della granulometria del prodotto post-estrazione e del contenuto d'acqua (UNI CEN ISO/TS 17892-1:2005) durante la produzione secondo le frequenze riportate nel paragrafo Controlli e ad aggiustare opportunamente la produzione in caso di variazioni significative.

I rapporti di prova della granulometria della miscela granulare, del prodotto e del contenuto d'acqua, rilasciati da un laboratorio conto terzi o dal produttore, devono essere consegnati settimanalmente alla Direzione Lavori.

Le caratteristiche del conglomerato bituminoso riciclato a freddo in impianto devono essere determinate tramite il metodo volumetrico (UNI EN 12697-31, UNI EN 12697-23) con energia di compattazione di 100 giri e ricavate dalla media di almeno tre campioni considerando un coefficiente di variazione  $\leq 0,15$  (deviazione standard/media).

Le percentuali ottimali di acqua, emulsione di bitume modificato, cemento e dell'eventuale integrazione di inerti sono stabilite mediante uno specifico studio in laboratorio o devono comunque verificare i requisiti richiesti in Tabella 50. Nel caso in cui gli elementi più grossolani impediscono la produzione di provini geometricamente regolari deve essere eliminato il trattenuto al setaccio da 20 mm.

Prima di definire la giusta combinazione di leganti, deve essere determinato il contenuto ottimale di acqua sulla miscela granulare con il 2% in peso di cemento, secondo le indicazioni della Tabella 50. I provini con diverso contenuto di acqua devono essere compattati con compattatore giratorio (UNI EN 12697-31) secondo i parametri di Tabella 50. Ogni provino deve essere pesato prima e dopo la compattazione al fine di determinare la percentuale di (eventuale) acqua espulsa.

I provini così ottenuti devono essere essiccati fino a massa costante (pesate intervallate di almeno un'ora differiscono tra loro di meno dello 0,1%) in stufa a 40°C e sottoposti a prova per la valutazione della massa volumica (UNI EN 12697-6/procedura D). Il contenuto ottimo di acqua è quello che permette di raggiungere il valore più elevato di massa volumica della miscela (secca) e un quantitativo di acqua espulsa durante la compattazione minore dello 0,5%.

Secondo la stessa procedura di compattazione e con il contenuto di acqua ottimo, devono essere confezionati provini con differenti quantità (percentuali riferite al peso degli inerti) di emulsione bituminosa e cemento, come indicato nella Tabella 50. Tra le combinazioni possibili si dovrà tenere in considerazione solo quelle che permettono un rapporto bitume/cemento > 1.

Nel contenuto ottimo di acqua della miscela occorre considerare anche l'acqua apportata dall'emulsione.

I provini così confezionati devono subire una maturazione a 40 °C per 72 ore in aria (condizione non sigillata) e successivamente devono essere sottoposti a prova di resistenza a trazione indiretta (UNI EN 12697-23), dopo un condizionamento per 4 ore in camera climatica a 25 °C. Tali provini devono fornire:

- resistenza a trazione indiretta ITS ≥ 0,40 N/mm<sup>2</sup>
- coefficiente di trazione indiretta CTI ≥ 50 N/mm<sup>2</sup>

Per le miscele che soddisfano i requisiti di ITS e CTI, occorre produrre altre serie di provini sui quali determinare:

- modulo di rigidezza in configurazione di trazione indiretta ITSM a 20°C (spostamento orizzontale imposto 5±0.2 µm) secondo la UNI EN 12697-26 su provini compattati a 100 giri e maturati 3 giorni a 40°C;
- perdita di resistenza (ITSR) secondo la UNI EN 12697-12 su provini compattati a 50 giri (serie "asciutta" maturata 3 giorni a 40°C in aria in condizione sigillata, serie "bagnata" maturata 3 giorni a 40°C immersa in acqua).

La miscela ottima di progetto è quella che fornisce il modulo di rigidezza a 20 °C più piccolo tra quelli che risultano maggiori di 3000 MPa e resistenza a trazione indiretta dopo imbibizione maggiore del 80% di quella ottenuta su provini non immersi in acqua. Sulla miscela ottima si deve determinare la densità geometrica secca misurata con compattatore giratorio ad una energia di compattazione pari a 100 giri che costituisce il riferimento per il controllo della densità in sito.

Condizioni di compattazione			
Parametro	Unità di misura	Normativa di riferimento	Valori richiesti
Angolo di rotazione esterno	[°]	SHRP Designation M-002	1,25 ± 0,02
Velocità di rotazione	[rotazioni/min]	UNI EN 12697-31	30
Pressione verticale	[kPa]	UNI EN 12697-31	600
Energia	[num. rotazioni]	UNI EN 12697-31	100 (ottimo di acqua, ITS, CTI, ITSM) 50 (ITSR)
Diametro della fustella	[mm]	UNI EN 12697-31	150
Tipo di fustella	-	-	non drenata
Campione umido	[kg]	-	2,800
Dimensione massima	[mm]	-	30
Studio del contenuto ottimo di acqua			
Contenuto di cemento	[% su peso inerti]	2	Densità secca massima e acqua espulsa < 0.5%
Contenuto di acqua	[% su peso inerti]	3, 4, 5, 6	
Studio del contenuto ottimo di leganti			
Contenuto di acqua	[% su peso inerti]	ottimo	ITS ≥ 0,40 MPa; CTI ≥ 50 MPa; ITSR ≥ 80 % ITSM ≥ 3000 MPa
Contenuto di cemento <sup>2</sup>	[% su peso inerti]	1,5; 2,0 e 2,5	
Contenuto di emulsione <sup>2</sup>	[% su peso inerti]	4,0; 4,5 e 5,0	

<sup>1</sup>  $CTI = \frac{\pi \cdot D \cdot ITS}{2 \cdot d_v}$  dove D è il diametro del provino e  $d_v$  è lo schiacciamento verticale registrato in corrispondenza del carico massimo

<sup>2</sup> Tra le combinazioni possibili si dovrà tenere in considerazione solo quelle che permettono un rapporto bitume/cemento > 1

Tabella 50. Caratteristiche della miscela di progetto per il conglomerato bituminoso riciclato a freddo in impianto

Il possesso dei requisiti elencati in Tabella 50 è verificato dalla Direzione Lavori in base ai valori riportati su certificati di prova attestanti i requisiti stabiliti rilasciati da un laboratorio conto terzi o dal produttore.

Il produttore deve dichiarare la ricetta del conglomerato bituminoso, il contenuto di fresato e le sue caratteristiche e il dosaggio e il tipo di aggregati o filler (minerale o attivo) di integrazione.

Nel caso in cui non sia comprovata l'esperienza del produttore per tale miscela, la Direzione Lavori si riserva la possibilità di richiedere una verifica in campo prova esterno al cantiere di progetto.

Il paragrafo 1.2 (Certificati di prequalifica e relative penali) specifica le modalità di presentazione e accettazione della documentazione di qualifica.

Per progetti con produzione superiore a 4.000 tonnellate, l'Impresa aggiudicataria dell'appalto deve consegnare settimanalmente alla Direzione Lavori i rapporti di prova, riferiti al prodotto finale, di granulometria, contenuto di acqua e contenuto di bitume eseguiti ogni 1.000 tonnellate di produzione che potranno essere rilasciati da un laboratorio conto terzi o dal produttore.

#### 4.1.8 Produzione della miscela

Il conglomerato bituminoso riciclato a freddo è confezionato mediante impianti fissi o mobili (installabili anche in cantiere) automatizzati, di idonee caratteristiche, mantenuti sempre perfettamente funzionanti in ogni loro parte. Gli impianti non richiedono gli apparati per il riscaldamento, la rielezione degli inerti e di aspirazione e filtraggio dei fumi. A tale fine possono essere impiegati anche impianti per i misti cementati adattati per il riciclaggio a freddo con emulsione bituminosa.

La produzione dell'impianto non deve essere spinta oltre la sua potenzialità, per garantire l'omogeneità della miscela e il corretto ricoprimento degli inerti.

L'impianto deve garantire uniformità di produzione ed essere in grado di realizzare una miscela rispondente alle caratteristiche dichiarate di progetto. Ogni impianto deve assicurare il mantenimento dell'emulsione bituminosa alla temperatura dichiarata ed a viscosità uniforme fino al momento della miscelazione, nonché il perfetto dosaggio sia dell'emulsione che di eventuali additivi.

La zona destinata allo stoccaggio degli inerti deve essere preventivamente e convenientemente scelta per evitare la contaminazione da sostanze argillose e ristagni di acqua che possono compromettere la pulizia degli aggregati. Inoltre, i cumuli delle diverse classi dovranno essere separati tra di loro e l'operazione di rifornimento nei predosatori eseguita con la massima cura.

Al fine di omogeneizzare le caratteristiche del fresato, è raccomandato seguire un processo di frantumazione, vagliatura e divisione dello stesso in almeno due frazioni. Preferibilmente tali frazioni devono essere stoccate sotto coperture areate a protezione delle piogge e tali da favorire l'evaporazione dell'umidità. Inoltre, è consigliato produrre le frazioni a seconda delle esigenze di utilizzo in impianto per evitare che, a eseguito del lungo stoccaggio, si generino placche.

Il tempo di miscelazione è stabilito in funzione delle caratteristiche dell'impianto, in misura tale da permettere un completo ed uniforme rivestimento degli inerti con il legante.

#### 4.1.9 Preparazione della superficie di stesa

La stesa del conglomerato bituminoso avviene solo dopo che sia stata accertata dalla Direzione Lavori la rispondenza del piano di posa ai requisiti di quota, sagoma, densità e portanza indicati in progetto. Il piano di posa deve risultare perfettamente pulito e privo di ogni residuo di qualsiasi natura.

Prima della realizzazione dello strato in conglomerato bituminoso è necessario preparare la superficie di stesa allo scopo di garantire una adeguata adesione all'interfaccia mediante l'applicazione di una emulsione bituminosa aventi caratteristiche specifiche (UNI EN 13808, UNI/TR 11362).

A seconda che lo strato di supporto sia un misto granulare, misto cementato oppure un conglomerato bituminoso (nuovo, fresato o usurato), la lavorazione corrispondente prende il nome rispettivamente di impregnazione (mano di ancoraggio) e mano d'attacco.

Entrambe le lavorazioni sono dettagliate rispettivamente nei paragrafi 9.1 e 9.2.

#### 4.1.10 Posa in opera della miscela

La posa in opera del conglomerato bituminoso riciclato a freddo è effettuata a mezzo di macchine vibrofinitrici dei tipi approvati dalla Direzione Lavori in perfetto stato di efficienza e dotate di automatismi di autolivellamento.

La Direzione Lavori si riserva la facoltà di poter far variare la tecnologia ritenuta non opportuna.

Le vibrofinitrici non devono mai operare a velocità di stesa superiori a 5 m/min e devono comunque lasciare uno strato finito perfettamente sagomato, privo di sgranamenti, fessurazioni, esente da difetti dovuti a segregazione degli elementi litoidi più grossi.

Durante la realizzazione si deve porre la massima cura alla formazione dei giunti longitudinali e trasversali.

Nel caso di costruzione di due strisce adiacenti, il giunto longitudinale deve essere preferibilmente ottenuto mediante tempestivo affiancamento di una striscia alla precedente o con l'impiego di due vibrofinitrici. Qualora ciò non sia possibile, se il bordo risulta danneggiato o arrotondato si deve procedere al taglio verticale (rettifica) con idonea attrezzatura e ad una successiva spruzzatura di emulsione bituminosa cationica a rapida rottura per assicurare la saldatura delle due strisce. Nel caso in cui il nuovo strato sia in adiacenza ad uno strato esistente, prima della stesa si deve provvedere alla rettifica del bordo dello strato esistente e alla spruzzatura con emulsione bituminosa cationica a rapida rottura per assicurare la saldatura della nuova striscia all'esistente.

Il giunto trasversale, di inizio o fine produzione giornaliera o inizio o fine sezione, deve essere realizzato tramite taglio verticale (rettifica) con idonea attrezzatura e ad una successiva spruzzatura di emulsione bituminosa cationica a rapida rottura.

La sovrapposizione dei giunti tra i vari strati sovrapposti deve essere programmata e realizzata in maniera che essi risultino tra loro sfalsati di almeno 20 cm e non cadano mai in corrispondenza delle due fasce della corsia di marcia normalmente interessate dalla traccia dei veicoli.

Il trasporto del conglomerato bituminoso dall'impianto di confezionamento al cantiere di stesa deve avvenire mediante mezzi di trasporto di adeguata portata, efficienti e veloci, sempre dotati di telone di copertura per evitare l'asciugatura del prodotto e la formazione di croste.

La stesa del conglomerato bituminoso deve avvenire in maniera continua e senza interruzioni fino a completo esaurimento del materiale trasportato. La stesa del conglomerato bituminoso deve essere sospesa quando le condizioni meteorologiche generali possono pregiudicare la perfetta riuscita del lavoro. Gli strati eventualmente compromessi devono essere immediatamente rimossi e successivamente ricostruiti a spese dell'Impresa.

La compattazione del conglomerato bituminoso deve iniziare appena steso dalla vibrofinitrice e condotta a termine senza interruzioni.

L'addensamento deve essere realizzato con un rullo vibrante tandem di almeno 9 tonnellate seguito da un rullo gommato con almeno cinque ruote e peso di almeno 18 tonnellate. Il rullo gommato deve operare in continuità.

A chiudere la fase di compattazione, il rullo tandem provvede all'eventuale finitura in modalità statica. I rulli in fase di compattazione non dovranno mai procedere con velocità superiori a 5 km/h.

La compattazione deve essere condotta con la metodologia più adeguata a ottenere uniforme addensamento in ogni punto ed evitare fessurazioni e scorrimenti nello strato appena steso.

Nel caso di doppi strati, se la sovrapposizione non avviene nell'arco delle 24 ore, è necessario applicare una mano di attacco di emulsione bituminosa rapida in ragione di 0,30 kg/m<sup>2</sup> di bitume residuo e successivo spargimento di graniglia o sabbia o filler.

Ultimato il costipamento, compatibilmente con le attività di cantiere, lo strato deve essere fatto maturare almeno un giorno, favorendo l'evaporazione dell'acqua, prima di essere sigillato.

Se lo strato deve essere transitato da mezzi d'opera o è prevista pioggia, il conglomerato bituminoso riciclato a freddo deve essere immediatamente protetto con una mano di attacco di emulsione bituminosa rapida in ragione di 0,45 kg/m<sup>2</sup> di bitume residuo se ricoperto da strato di usura o 1,0 kg/m<sup>2</sup> se ricoperto da strato di binder e successivo spargimento di graniglia o sabbia o filler.

Le operazioni devono essere sospese con temperatura dell'aria inferiore ai 15°C e comunque quando le condizioni meteorologiche generali possono pregiudicare la perfetta riuscita del lavoro.

Eventuali principi di sgranature o aree con affioramento superficiale di aggregati grossi indice di segregazione della miscela, specialmente nei pressi delle zone di partenza o fermata della vibrofinitrice o attigue a pozzetti o aree soggette a lavorazioni a mano, dovranno essere rese saldamente coese con sigillatura, anche manuale, con emulsione bituminosa e filler o sabbia.

#### 4.1.11 Controlli

Il controllo della qualità del conglomerato bituminoso è effettuato mediante prove di laboratorio sui materiali costituenti, sulla miscela, sulle carote estratte dalla pavimentazione e sulla superficie dello strato per verificarne le caratteristiche di accettabilità. La Tabella 51 mostra il tipo di campione, l'ubicazione e la frequenza del controllo e i requisiti da rispettare durante tutto il processo.

Controllo dei materiali e verifiche prestazionali			
Tipo di campione	Ubicazione del controllo	Frequenza del controllo	Requisiti
Aggregato grosso	Impianto	Inizio cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	Caratteristiche
Aggregato fine	Impianto	Inizio cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	Caratteristiche
Filler	Impianto	Inizio cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	Caratteristiche
Miscela granulare	Impianto	Giornaliera o ogni 5000 m <sup>2</sup> di stesa o a discrezione della Direzione Lavori	Granulometria pre e post estrazione, contenuto di acqua
Emulsione di bitume modificato	Cisterna	Inizio cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	Caratteristiche
Conglomerato bituminoso sfuso	Vibrofinitrice	Giornaliera o ogni 5000 m <sup>2</sup> di stesa o a discrezione della Direzione Lavori	Contenuto di bitume, contenuto di acqua, granulometria, densità secca e proprietà meccaniche
Carote	Pavimentazione	Ogni 250 m di stesa o a discrezione della Direzione Lavori	Densità secca, spessore
Superficie della pavimentazione	Pavimentazione	Ogni 250 m di stesa cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	E <sub>LWD</sub> dopo compattazione a 25°C ≥ 60 MPa, Densità secca
Superficie della pavimentazione	Pavimentazione	Ogni 250 m di stesa cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	Scostamento ( $\Delta \leq 5$ mm)

Tabella 51. Controlli da eseguire per il conglomerato bituminoso riciclato a freddo in impianto

Ogni prelievo deve essere costituito da due campioni:

- uno utilizzato per i controlli presso un laboratorio conto terzi selezionato dalla Direzione Lavori;
- uno a disposizione dell'impresa aggiudicataria dell'appalto.

Per ogni campione di conglomerato bituminoso sfuso vengono determinate: la percentuale di bitume apportato dall'emulsione (UNI EN 12697-1), il contenuto di acqua, la granulometria degli aggregati estratti (UNI EN 12697-2) e la densità massima teorica (UNI EN 12697-5). In particolare, la percentuale di bitume apportato dall'emulsione è calcolata come differenza tra il contenuto di bitume totale del prodotto e il contenuto di bitume del fresato impiegato.

Con lo stesso materiale devono essere compattati tre provini con compattatore giratorio a 100 giri per la verifica dei valori di densità secca, *ITS* e *CTI*.

Le carote estratte dalla pavimentazione permettono le verifiche dello spessore e della densità secca. Lo spessore dello strato viene determinato facendo la media delle quattro altezze relative a due diametri ortogonali della circonferenza delle carote estratte tenendo in considerazione il possibile sgranamento sul fondo. È raccomandato eseguire il primo carotaggio il giorno seguente l'inizio dei lavori.

Carote aggiuntive possono essere prelevate a discrezione della Direzione Lavori per eventuali prove meccaniche (*ITS* e *CTI*).

A discrezione della Direzione Lavori, per la verifica della densità secca, possono essere eseguite verifiche di densità con il metodo del volumometro a sabbia (CNR 22: 1992) subito dopo la stesa.

A integrazione dei controlli precedenti possono essere eseguite prove con piastra dinamica leggera (dynamic plate-load test, ASTM E2583). Le misure di modulo dinamico sono riportate alla temperatura di riferimento (25°C) applicando correzioni di un punto percentuale ogni grado centigrado di scostamento, incrementando il valore del modulo nel caso di misure effettuate a temperature maggiori di 25°C, diminuendolo nel caso di misure effettuate a temperature minori di 25°C. L'attrezzatura impiegata deve essere equipaggiata con una

massa battente da 10 kg che genera una forza di impatto di 7,07 kN con una durata dell'impulso di 18 ms su una piastra di diametro di 300 mm. La procedura di prova prevede l'applicazione di tre colpi successivi di cui vengono acquisite le deformazioni e, nota la tensione di carico applicata, la macchina restituisce automaticamente il risultato (modulo dinamico) definito come la media delle tre misurazioni. I tre colpi di prova devono essere preceduti da altri tre colpi in modo tale da ottenere un buon contatto tra il piatto di carico ed il suolo. La piastra di carico deve essere posizionata su un piano adeguatamente liscio con l'eventuale disposizione di sabbia monogranulare per livellare la superficie. Nei casi in cui non si realizzzi un buon contattato tra piastra e pavimentazione oppure l'inclinazione del piano sia eccessiva (maggiore del 6%), si possono verificare degli spostamenti laterali che inficiano i risultati.

Le eventuali irregolarità  $\Delta$  superficiali dovranno essere misurate in direzione longitudinale e trasversale tramite un regolo di 3 m (UN EN 13036-7).

Nel caso in cui non sia comprovata l'esperienza del produttore per tale miscela, la Direzione Lavori si riserva la possibilità di richiedere una verifica in campo prova esterno al cantiere di progetto.

Per progetti con produzione superiore a 4.000 tonnellate, l'impresa aggiudicataria dell'appalto deve consegnare settimanalmente alla Direzione Lavori i rapporti di prova, riferiti al prodotto finale, di granulometria, contenuto di acqua e contenuto di bitume eseguiti ogni 1.000 tonnellate di produzione che potranno essere rilasciati da un laboratorio conto terzi o dal produttore.

I controlli riferiti alla pavimentazione (spessore, densità e regolarità) non sono effettuati nel caso in cui il conglomerato bituminoso sia impiegato per la risagomatura della pavimentazione stradale esistente.

I controlli saranno effettuati per produzioni giornaliere superiori a 30 tonnellate.

#### 4.1.12 Penali

Le detrazioni di seguito descritte sono applicate in punti percentuali sul prezzo di aggiudicazione lavori del conglomerato bituminoso (preparazione, materiale e stesa).

La non rispondenza a quanto dichiarato per il fresato comporta il rifiuto del materiale e le eventuali penali da applicare.

La non consegna settimanale dei rapporti di prova per il monitoraggio della miscela granulare, del prodotto e del contenuto di acqua naturale comporta il rifiuto del materiale.

Per i materiali costituenti, le caratteristiche compositive, volumetriche e meccaniche della miscela e delle carote estratte, la Direzione Lavori valuta l'accettabilità del conglomerato e le eventuali penali da applicare.

Nell'ambito di progetti con produzione superiore a 4.000 tonnellate, la non consegna settimanale da parte dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto dei rapporti di prova di granulometria e contenuto di bitume eseguiti ogni 1.000 tonnellate di produzione, rilasciati da un laboratorio conto terzi o dal fornitore, comporta il rifiuto del materiale.

La curva granulometrica e il contenuto di bitume riscontrati dopo l'estrazione del conglomerato bituminoso sciolto, in riferimento alla ricetta (prodotto accettato dalla Direzione Lavori), deve rispettare le seguenti tolleranze:

- granulometria: per dimensione superiore o uguale a 4 mm si applica una tolleranza di  $\pm 5$  punti percentuali;
- granulometria: per dimensioni comprese tra 4 e 0,063 mm si applica una tolleranza di  $\pm 3$  punti percentuali;
- granulometria: al passante al setaccio 0,063 mm si applica una tolleranza del  $\pm 1,5$  punti percentuali;
- contenuto di bitume: si applica una tolleranza del  $\pm 5\%$  rispetto al valore dichiarato per la miscela di progetto (es.: contenuto di bitume di progetto = 5%, intervallo di tolleranza 5,25-4,75%).

Nel caso di non conformità la Direzione Lavori può richiedere, in funzione del contesto, il rifacimento dello strato, opere di ripristino a spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto o l'applicazione di una detrazione del 10% sul prezzo di aggiudicazione lavori della lavorazione per lo strato interessato. La superficie di riferimento è calcolata considerando la lunghezza compresa tra la metà della distanza dalla misurazione precedente e la metà della distanza dalla misurazione successiva (oppure considerando la lunghezza del tronco omogeneo) moltiplicato per la larghezza dell'intervento.

A discrezione della Direzione Lavori, il non rispetto delle caratteristiche meccaniche di laboratorio comporta la rimozione dello strato o l'applicazione di una detrazione del 10% sul prezzo di aggiudicazione lavori della lavorazione per lo strato interessato. La superficie di riferimento è calcolata considerando la lunghezza compresa tra la metà della distanza dalla misurazione precedente e la metà della distanza dalla misurazione successiva (oppure considerando la lunghezza del tronco omogeneo) moltiplicato per la larghezza dell'intervento.

Se possibile, per lo spessore dello strato, determinato da misurazioni sulle carote estratte dalla pavimentazione è tollerata una carenza massima del 10 % rispetto allo spessore di progetto. Per carenze superiori al 10 %, è applicata una detrazione percentuale pari a:

$$\text{Detrazione percentuale per carenza di spessore} = 3 \times (c - 10)$$

dove c rappresenta la carenza di spessore rispetto al valore di progetto espressa in percentuale. Per esempio, se lo strato è spesso 6,10 cm anziché 7,00 cm e quindi la carenza è del 13 % rispetto al valore di progetto, la penale in percentuale è del  $(13 - 10) \times 3 = 9\%$ . Se la differenza supera il 25 % (in diminuzione), la Direzione Lavori può richiedere il rifacimento dello strato a spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto. Per esempio, se lo spessore di progetto è pari a 7,00 cm, al di sotto di 5,25 cm può essere richiesto il rifacimento. In alternativa alla rimozione e ricostruzione, la Direzione Lavori può autorizzare la stesa di uno strato di conguaglio (previa spruzzatura della mano di attacco) di spessore tale da consentire il raggiungimento dello spessore totale atteso. Per la ricarica può essere impiegato conglomerato bituminoso di tipo binder o usura che non può comunque essere di spessore inferiore a tre volte la dimensione massima degli aggregati. Nel rispetto delle quote finali di progetto, la Direzione Lavori valuta la possibilità di una fresatura parziale per aver modo di stendere lo strato di conguaglio nel rispetto del suo spessore minimo. Quando possibile, il conguaglio può essere realizzato incrementando lo spessore del sovrastante strato di usura purché questo non determini difficoltà di stesa e compattazione a causa di spessore eccessivo (mai superiore a 6 cm). La superficie a cui applicare la detrazione è calcolata considerando la lunghezza compresa tra la metà della distanza dalla carota precedente e la metà della distanza dalla carota successiva (oppure considerando la lunghezza del tronco omogeneo) moltiplicato per la larghezza dell'intervento.

A compattazione ultimata la densità secca in situ (con volumometro o prelievo di carote), non deve essere inferiore al 95% del valore di riferimento misurato in laboratorio sulla miscela di progetto costipata con pressa giratoria a 100 giri e dichiarato prima dell'inizio dei lavori. Nel caso di non conformità la Direzione

Lavori può richiedere, in funzione del contesto, il rifacimento dello strato, opere di ripristino a spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto o l'applicazione di una detrazione del 10% sul prezzo di aggiudicazione lavori della lavorazione per lo strato interessato. La superficie di riferimento è calcolata considerando la lunghezza compresa tra la metà della distanza dalla misurazione precedente e la metà della distanza dalla misurazione successiva (oppure considerando la lunghezza del tronco omogeneo) moltiplicato per la larghezza dell'intervento.

Il modulo dinamico  $E_{LWD}$  a 25°C dopo la compattazione non deve essere inferiore a 60 MPa nel 90% dei punti analizzati all'interno del tronco omogeneo. Nel caso di non conformità la Direzione Lavori può richiedere, in funzione del contesto, il rifacimento dello strato, opere di ripristino a spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto o l'applicazione di una detrazione del 10% sul prezzo di aggiudicazione lavori della lavorazione per lo strato interessato. La superficie di riferimento è calcolata considerando la lunghezza compresa tra la metà della distanza dalla misurazione precedente e la metà della distanza dalla misurazione successiva (oppure considerando la lunghezza del tronco omogeneo) moltiplicato per la larghezza dell'intervento.

La superficie dello strato deve presentarsi priva di irregolarità ed ondulazioni. È tollerato uno scostamento massimo di 5 mm al di sopra del quale la Direzione Lavori può richiedere, in funzione del contesto, il rifacimento dello strato, opere di ripristino a spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto o l'applicazione di una detrazione del 10% sul prezzo di aggiudicazione della lavorazione per lo strato interessato. La superficie di riferimento è calcolata considerando la lunghezza compresa tra la metà della distanza dalla misurazione precedente e la metà della distanza dalla misurazione successiva (oppure considerando la lunghezza del tronco omogeneo) moltiplicato per la larghezza dell'intervento.

Salvo casi particolari che andranno giudicati dalla Direzione Lavori, le penali precedentemente indicate sono cumulabili.

## 4.2 Conglomerato bituminoso riciclato a freddo in impianto per viabilità secondaria e locale

### **Elenco prezzi: NV 11.**

Il conglomerato bituminoso riciclato a freddo in impianto per strade secondarie è costituito da conglomerato bituminoso di recupero (comunemente detto fresato) impastato a freddo in impianti di tipo fisso o mobile con emulsione di bitume modificato e cemento. Seppur l'obiettivo di questa miscela è massimizzare l'uso del fresato, anche combinando diverse frazioni dello stesso, è consentito l'impiego di inerti vergini (pietrischi, graniglie, sabbie e filler) di integrazione.

Il conglomerato bituminoso riciclato a freddo è posto in opera mediante macchina vibrofinitrice e subito costipato tramite rulli. Esso può essere impiegato sia per strati di base che di binder in funzione delle disposizioni di progetto. È raccomandato uno spessore dello strato superiore a 10 cm e, quando superiore a 20 cm, è consigliata la stesa in due strati. Il piano di posa dovrà avere una portanza di almeno  $M_d = 80 \text{ N/mm}^2$  al primo ciclo misurata con piastra statica tra 0,15 e 0,25 N/mm<sup>2</sup>.

L'Impresa aggiudicataria dell'appalto deve consegnare alla Direzione Lavori i dosaggi di tutti i componenti usati per il conglomerato bituminoso. Una volta accettato il conglomerato bituminoso tipo binder tradizionale da parte della Direzione Lavori, l'Impresa aggiudicataria dell'appalto, è vincolata al rigoroso utilizzo di tutte le sue componenti nel rispetto delle tolleranze riportate nel paragrafo Penali.

### 4.2.1 Aggregati

Gli aggregati lapidei possono essere impiegati ad integrazione del fresato per l'ottenimento di prestazioni della miscela adeguate. Essi comprendono aggregati grossi, in frazione unica, fini e filler proveniente dalla frazione fina (filler di recupero) 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). L'aggregato grosso ( $D \leq 45 \text{ mm}$ ;  $d \geq 2 \text{ mm}$ ) o in frazione unica può essere di provenienza o natura petrografica diversa purché, per ogni tipologia, risultino soddisfatti i requisiti indicati nella (Tabella 52). La designazione dell'aggregato grosso deve essere effettuata mediante le dimensioni dei setacci appartenenti al gruppo di base, più gruppo 2 della UNI EN 13043.

Parametro	Metodo di prova	Unità di misura	Valori richiesti	Categoria UNI EN 13043
Resistenza alla frammentazione	UNI EN 1097-2	[%]	$\leq 25$	LA <sub>25</sub>
Percentuale di particelle frantumate	UNI EN 933-5	[%]	$\geq 90$	C <sub>90/3</sub>
Resistenza al gelo e disgelo	UNI EN 1367-1	[%]	$\leq 1$	F <sub>1</sub>
Coefficiente di appiattimento	UNI EN 933-3	[%]	$\leq 25$	FI <sub>25</sub>
Coefficiente di forma	UNI EN 933-4	[%]	$\leq 25$	SI <sub>25</sub>
Assorbimento d'acqua	UNI EN 1097-6	[%]	$\leq 2$	WA <sub>242</sub>

Tabella 52. Caratteristiche dell'aggregato grosso per conglomerato bituminoso riciclato a freddo in impianto

L'aggregato fine ( $D \leq 2 \text{ mm}$ ;  $d = 0 \text{ mm}$ ) è costituito da sabbia di provenienza o natura petrografica diversa purché, per ogni tipologia, risultino con indice di plasticità pari a 0 (UNI CEN ISO/TS 17892-12). Per motivi di congruenza con le pezzature fini attualmente prodotte in Italia, è permesso l'impiego come aggregato fine anche di aggregati in frazione unica con dimensione massima  $D = 4 \text{ mm}$  (Tabella 53). La designazione

dell'aggregato fine deve essere effettuata mediante le dimensioni dei setacci appartenenti al gruppo di base, più gruppo 2 della UNI EN 13043.

Parametro	Metodo di prova	Unità di misura	Valori richiesti	Categoria UNI EN 13043
Indice di plasticità	UNI CEN ISO/TS 17892-12	-	Non plastico	-

*Tabella 53. Caratteristiche dell'aggregato fine per conglomerato bituminoso riciclato a freddo in impianto*

Il filler, frazione per la maggior parte passante allo staccio 0,063 mm, può essere costituito da polvere di roccia preferibilmente calcarea, da cemento, calce idrata, calce idraulica, ceneri volanti. Il filler deve inoltre soddisfare i requisiti indicati in Tabella 54. La granulometria del filler deve essere conforme a quella prevista della norma UNI EN 13043.

Parametro	Metodo di prova	Unità di misura	Valori richiesti	Categoria UNI EN 13043
Indice di plasticità	UNI CEN ISO/TS 17892-12	-	Non plastico	-
Porosità del filler secco compattato (Rigden)	UNI EN 1097-4	[%]	≥ 38	V38/45
Passante al setaccio 0,063 mm	-	[%]	≥ 70	-
Stiffening Power	UNI EN 13179-1	[°C]	8 ÷ 25	Δ <sub>R&amp;B</sub> 8/25

*Tabella 54. Caratteristiche del filler per conglomerato bituminoso riciclato a freddo in impianto*

Il paragrafo 1.2 (Certificati di prequalifica e relative penali) specifica le modalità di presentazione e accettazione della documentazione di qualifica.

Resta salva la facoltà della Direzione Lavori di verificare con controlli di accettazione i requisiti dichiarati dal produttore.

Tale documentazione dovrà essere inoltre integrata dalla granulometria degli aggregati impiegati come integrazione.

#### 4.2.2 Conglomerato bituminoso di recupero

Il conglomerato bituminoso di recupero (comunemente detto *fresato*) proviene dalla fresatura degli strati di rivestimento stradale in conglomerato bituminoso, dalla frantumazione di lastre in conglomerato bituminoso e da scarti di produzione e/o sovrapproduzione di conglomerato bituminoso (UNI EN 13108-8, UNI/TS 11688).

Al fine di omogeneizzare le caratteristiche del fresato, è raccomandato seguire un processo di frantumazione, vagliatura e divisione dello stesso in almeno due frazioni. Preferibilmente tali frazioni devono essere stoccate sotto coperture areate a protezione delle piogge e tali da favorire l'evaporazione dell'umidità. Inoltre, è consigliato produrre le frazioni a seconda delle esigenze di utilizzo in impianto per evitare che, a eseguito del lungo stoccaggio, si generino placche.

Ogni frazione del conglomerato bituminoso di recupero deve essere qualificata in conformità alla norma UNI EN 13242.

In particolare, l'Impresa aggiudicataria dell'appalto è tenuta a presentare alla Direzione Lavori un apposito certificato rilasciato da un laboratorio conto terzi o dal produttore, nel quale riportare il valore medio e la deviazione standard (come parametro di omogeneità) della dimensione massima, coefficiente di forma e appiattimento, della granulometria degli aggregati estratti (UNI EN 12697-2), del contenuto di bitume (UNI EN 12697-1) e della granulometria tal quale eseguita per via umida. Per la deviazione standard della granulometria si considererà il passante riferito ad ogni singolo setaccio.

Se il quantitativo di fresato da utilizzare nell'intero progetto è inferiore a 2.500 t, i valori medi e le rispettive deviazioni standard dovranno essere calcolati sulla base di 5 campioni prelevati nel mucchio di origine del fresato (ogni singola frazione) che si intende usare. Se invece il quantitativo di fresato da utilizzare nell'intero progetto è superiore a 2.500 t, il numero dei campioni da analizzare sarà pari al quantitativo totale di fresato da impiegare nel progetto, espresso in tonnellate, diviso 500.

Per lo strato di conglomerato bituminoso riciclato a freddo in impianto è possibile impiegare come materiale costituente il fresato proveniente da qualunque strato della sovrastruttura stradale, a patto che la dimensione massima del fresato tal quale non sia superiore alla dimensione massima di riferimento per la miscela di conglomerato bituminoso da produrre. È raccomandabile vagliare il fresato per eliminare eventuali elementi di dimensioni superiori alla dimensione massima prevista per la miscela (setaccio più piccolo tra quelli che permettono il 100% di materiale passante).

Il coefficiente di forma e appiattimento dovranno essere entrambe < 30%.

La percentuale di fresato va obbligatoriamente dichiarata nello studio preliminare della miscela di progetto che l'Impresa aggiudicataria dell'appalto è tenuta a presentare alla Direzione Lavori.

Resta salva la facoltà della Direzione Lavori di verificare con controlli di accettazione i requisiti dichiarati dal produttore.

#### 4.2.3 Emulsione di bitume modificato per riciclaggio a freddo in impianto

L'emulsione bituminosa impiegata per il riciclaggio a freddo in impianto deve avere caratteristiche specifiche (UNI EN 13808, UNI/TR 11362).

Il materiale da impiegare per il riciclaggio a freddo in impianto è una emulsione bituminosa cationica sovrastabilizzata rispondente alle specifiche indicate nella Tabella 55. È ammesso anche l'utilizzo di emulsioni bituminose cationiche diversamente diluite a condizione che non varino gli indicatori di qualità (valutati sul bitume residuo) ed il dosaggio del bitume residuo prescritto.

Emulsione di bitume modificato per riciclaggio a freddo in impianto				
Parametro	Metodo di prova	Unità di misura	Valori richiesti	Classe UNI EN 13808
Polarità	UNI EN 1430	-	positiva	2
Contenuto di bitume	UNI EN 1428	[%]	$60 \pm 2$	6
Sedimentazione a 7 giorni	UNI EN 12847	[%]	$\leq 10$	3
Indice di rottura	UNI EN 13075-1	-	$\geq 150$	-
Stabilità alla miscelazione con cemento	UNI EN 12848	[g]	$\leq 2$	10
Bitume residuo				
Penetrazione a 25°C	UNI EN1426	[0,1 x mm]	$\leq 100$	3
Punto di rammollimento	UNI EN1427	[°C]	$> 55$	2
Coesione a 10°C	UNI EN 13589 UNI EN 13703	J/cm <sup>2</sup>	$\geq 2$	5
Ritorno elastico	UNI EN 13398	[%]	$\geq 50$	3

Tabella 55. Caratteristiche dell'emulsione di bitume modificato per riciclaggio a freddo in impianto

L'Impresa appaltatrice deve dichiarare la temperatura di impiego dell'emulsione bituminosa.

Il paragrafo 1.2 (Certificati di prequalifica e relative penali) specifica le modalità di presentazione e accettazione della documentazione di qualifica.

#### 4.2.4 Cemento

Il cemento impiegato deve far parte delle seguenti tipologie:

- CEM I cemento Portland
- CEM II cemento Portland composito
- CEM III cemento d'altoforno;
- CEM IV cemento pozzolanico.

Nel caso in cui il fresato tal quale risulti particolarmente carente di filler è raccomandato l'uso di un cemento CEM II o integrazione con filler pozzolanico. L'Impresa aggiudicataria dell'appalto è tenuta a presentare la documentazione attestante la conformità della calce che intende impiegare secondo la UNI EN 197-1.

Le caratteristiche del cemento devono includere la granulometria.

Il paragrafo 1.2 (Certificati di prequalifica e relative penali) specifica le modalità di presentazione e accettazione della documentazione di qualifica.

#### 4.2.5 Calce

Per il miglioramento delle prestazioni meccaniche del conglomerato bituminoso riciclato a freddo in impianto e per facilitare l'asciugatura del fresato è possibile prevedere l'impiego di calce.

L'Impresa aggiudicataria dell'appalto è tenuta a presentare la documentazione attestante la conformità della calce che intende impiegare secondo la UNI EN 459-1.

Il paragrafo 1.2 (Certificati di prequalifica e relative penali) specifica le modalità di presentazione e accettazione della documentazione di qualifica.

Le caratteristiche della calce devono includere la granulometria.

#### 4.2.6 Acqua

L'acqua impiegata deve essere esente da impurità dannose, conforme alla norma UNI EN 1008.

#### 4.2.7 Miscela di progetto

Per la miscela di fresato (tal quale), aggregati vergini, filler minerale e attivo di integrazione si raccomanda una composizione granulometrica contenuta nei fusi riportati in Tabella 56 o di seguire la distribuzione di Fuller  $P_i = 100 \cdot \left(\frac{d_i}{D}\right)^{0,45}$  dove  $P_i$  è il passante al setaccio  $i$ -esimo,  $d_i$  è il setaccio  $i$ -esimo e  $D$  è la dimensione massima. Il fuso AC20 è raccomandato per spessori tra 10 e 15 mentre il fuso AC30 per spessori tra 15 a 20 cm.

Fuso granulometrico		
Classe di conglomerato bituminoso	AC20	AC30
Apertura setacci UNI [mm]	Passante totale in peso [%]	
40	-	100
31,5	100	90 - 100
20	90 - 100	-
16	-	60 - 90
10	50 - 80	40 - 80
4	30 - 55	-
2	20 - 40	20 - 40
0,5	10 - 25	10 - 25
0,25	-	-
0,063	3,0 - 8,0	3,0 - 8,0

Tabella 56. Fuso granulometrico in funzione della dimensione massima per il conglomerato bituminoso riciclato a freddo in impianto

La granulometria della miscela granulare (esclusi i leganti idraulici) pre e post-estrazione e la granulometria del prodotto (inclusi i leganti idraulici) post-estrazione devono essere dichiarate in apposito certificato rilasciato da un laboratorio conto terzi o dal produttore.

Una volta accettato il prodotto da parte della Direzione Lavori, l'Impresa è vincolata al monitoraggio della granulometria tale quale (prelievo su nastro pre-impasto), della granulometria del prodotto post-estrazione e del contenuto d'acqua (UNI CEN ISO/TS 17892-1:2005) durante la produzione secondo le frequenze riportate nel paragrafo Controlli e ad aggiustare opportunamente la produzione in caso di variazioni significative.

I rapporti di prova della granulometria della miscela granulare, del prodotto e del contenuto d'acqua, rilasciati da un laboratorio conto terzi o dal produttore, devono essere consegnati settimanalmente alla Direzione Lavori.

Le caratteristiche del conglomerato bituminoso riciclato a freddo in impianto devono essere determinate tramite il metodo volumetrico (UNI EN 12697-31, UNI EN 12697-23) con energia di compattazione di 100 giri e ricavate dalla media di almeno tre campioni considerando un coefficiente di variazione  $\leq 0,15$  (deviazione standard/media).

Le percentuali ottimali di acqua, cemento e emulsione di bitume modificato e dell'eventuale integrazione di inerti sono stabilite mediante uno specifico studio in laboratorio o devono comunque verificare i requisiti richiesti in Tabella 57. Nel caso in cui gli elementi più grossolani impediscano la produzione di provini geometricamente regolari deve essere eliminato il trattenuto al setaccio da 20 mm.

Prima di definire la giusta combinazione di leganti, deve essere determinato il contenuto ottimale di acqua sulla miscela granulare con il 2% in peso di cemento, secondo le indicazioni della Tabella 57. I provini con diverso contenuto di acqua devono essere compattati con compattatore giratorio (UNI EN 12697-31) secondo i parametri di Tabella 57. Ogni provino deve essere pesato prima e dopo la compattazione al fine di determinare la percentuale di (eventuale) acqua espulsa.

I provini così ottenuti devono essere essiccati fino a massa costante (pesate intervallate di almeno un'ora differiscono tra loro di meno dello 0,1%) in stufa a 40°C e sottoposti a prova per la valutazione della massa volumica (UNI EN 12697-6/procedura D). Il contenuto ottimo di acqua è quello che permette di raggiungere il valore più elevato di massa volumica della miscela (secca) e un quantitativo di acqua espulsa durante la compattazione minore dello 0,5%.

Secondo la stessa procedura di compattazione e con il contenuto di acqua ottimo, devono essere confezionati provini con differenti quantità (percentuali riferite al peso degli inerti) di cemento e emulsione bituminosa, come indicato nella Tabella 57.

Nel contenuto ottimo di acqua della miscela occorre considerare anche l'acqua apportata dall'emulsione.

I provini così confezionati devono subire una maturazione a 40 °C per 72 ore (condizione non sigillata) e successivamente devono essere sottoposti a prova di resistenza a trazione indiretta (UNI EN 12697/23), dopo un condizionamento per 4 ore in camera climatica a 25 °C. Tali provini devono fornire:

- resistenza a trazione indiretta ITS ≥ 0,30 N/mm<sup>2</sup>
- coefficiente di trazione indiretta CTI ≥ 40 N/mm<sup>2</sup>

Per le miscele che soddisfano i requisiti di ITS e CTI, occorre produrre altre serie di provini sui quali determinare:

- perdita di resistenza (ITSR) secondo la UNI EN 12697-12 su provini compattati a 50 giri (serie "asciutta" maturata 3 giorni a 40°C in aria in condizione sigillata, serie "bagnata" maturata 3 giorni a 40°C immersa in acqua).

La miscela ottima di progetto deve fornire una resistenza a trazione indiretta dopo imbibizione maggiore del 80% di quella ottenuta su provini non immersi in acqua e maggiore rapporto bitume/cemento.

Sulla miscela ottima si deve determinare la densità geometrica secca misurata con compattatore giratorio ad una energia di compattazione pari a 100 giri che costituisce il riferimento per il controllo della densità in situ.

Condizioni di compattazione			
Parametro	Unità di misura	Normativa di riferimento	Valori richiesti
Angolo di rotazione esterno	[°]	UNI EN 12697-31	1,25 ± 0,02
Velocità di rotazione	[rotazioni/min]	UNI EN 12697-31	30
Pressione verticale	[kPa]	UNI EN 12697-31	600
Energia	[num. rotazioni]	UNI EN 12697-31	100 (ITS e CTI) 50 (ITSR)
Diametro della fustella	[mm]	UNI EN 12697-31	150
Tipo di fustella	-	-	non drenata
Massa del campione umido	[kg]	-	2,800
Dimensione massima	[mm]	-	30
Studio del contenuto ottimo di acqua			
Contenuto di cemento	[% su peso inerti]	2	Densità secca massima e acqua espulsa < 0,5%
Contenuto di acqua	[% su peso inerti]	3, 4, 5, 6	
Studio del contenuto ottimo di leganti			
Contenuto di acqua	[% su peso inerti]	ottimo	ITS ≥ 0,30 MPa;
Contenuto di cemento	[% su peso inerti]	1,5; 2,0 e 2,5	CTI ≥ 40 MPa;
Contenuto di emulsione	[% su peso inerti]	3,5; 4,0 e 4,5	ITSR ≥ 80 %

<sup>1</sup>  $CTI = \frac{\pi \cdot D \cdot ITS}{2 \cdot d_v}$  dove D è il diametro del provino e  $d_v$  è lo schiacciamento verticale registrato in corrispondenza del carico massimo

Tabella 57. Caratteristiche della miscela di progetto per il conglomerato bituminoso riciclato a freddo in impianto

Il possesso dei requisiti elencati in Tabella 57 è verificato dalla Direzione Lavori in base ai valori riportati su certificati di prova attestanti i requisiti stabiliti rilasciati da un laboratorio conto terzi o dal produttore.

Il produttore deve inoltre dichiarare la ricetta, il contenuto di fresato e le sue caratteristiche e il dosaggio e il tipo di aggregati o filler (minerale o attivo) di integrazione.

Nel caso in cui non sia comprovata l'esperienza del produttore per tale miscela, la Direzione Lavori si riserva la possibilità di richiedere una verifica in campo prova esterno al cantiere di progetto.

Il paragrafo 1.2 (Certificati di prequalifica e relative penali) specifica le modalità di presentazione e accettazione della documentazione di qualifica.

Per progetti con produzione superiore a 4.000 tonnellate, l'impresa aggiudicataria dell'appalto dovrà consegnare settimanalmente alla Direzione Lavori i rapporti di prova, riferiti al prodotto finale, di granulometria, contenuto di acqua e contenuto di bitume eseguiti ogni 1.000 tonnellate di produzione che potranno essere rilasciati da un laboratorio conto terzi o dal produttore.

#### 4.2.8 Produzione della miscela

Il conglomerato bituminoso riciclato a freddo è confezionato mediante impianti fissi o mobili (installabili anche in cantiere) automatizzati, di idonee caratteristiche, mantenuti sempre perfettamente funzionanti in ogni loro parte. Gli impianti non richiedono gli apparati per il riscaldamento, la rielezione degli inerti e di aspirazione e filtraggio dei fumi. A tale fine possono essere impiegati anche impianti per i misti cementati adattati per il riciclaggio a freddo con emulsione bituminosa.

La produzione dell'impianto non deve essere spinta oltre la sua potenzialità, per garantire l'omogeneità della miscela e il corretto ricoprimento degli inerti.

L'impianto deve garantire uniformità di produzione ed essere in grado di realizzare una miscela rispondente alle caratteristiche dichiarate di progetto. Ogni impianto deve assicurare il mantenimento dell'emulsione bituminosa alla temperatura dichiarata ed a viscosità uniforme fino al momento della miscelazione, nonché il perfetto dosaggio sia dell'emulsione che di eventuali additivi.

La zona destinata allo stoccaggio degli inerti deve essere preventivamente e convenientemente scelta per evitare la contaminazione da sostanze argillose e ristagni di acqua che possono compromettere la pulizia degli aggregati. Inoltre, i cumuli delle diverse classi devono essere separati tra di loro e l'operazione di rifornimento nei predosatori eseguita con la massima cura.

Al fine di omogeneizzare le caratteristiche del fresato, è raccomandato seguire un processo di frantumazione, vagliatura e divisione dello stesso in almeno due frazioni. Preferibilmente tali frazioni dovranno essere stoccate sotto coperture areate a protezione delle piogge e tali da favorire l'evaporazione dell'umidità. Inoltre è consigliato produrre le frazioni a seconda delle esigenze di utilizzo in impianto per evitare che, a eseguito del lungo stoccaggio, si generino placche.

Il tempo di miscelazione è stabilito in funzione delle caratteristiche dell'impianto, in misura tale da permettere un completo ed uniforme rivestimento degli inerti con il legante.

#### 4.2.9 Preparazione della superficie di stesa

La stesa del conglomerato bituminoso avviene solo dopo che sia stata accertata dalla Direzione Lavori la rispondenza del piano di posa ai requisiti di quota, sagoma, densità e portanza indicati in progetto. Il piano di posa deve risultare perfettamente pulito e privo di ogni residuo di qualsiasi natura.

Prima della realizzazione dello strato in conglomerato bituminoso è necessario preparare la superficie di stesa allo scopo di garantire una adeguata adesione all'interfaccia mediante l'applicazione di una emulsione bituminosa aventi caratteristiche specifiche (UNI EN 13808, UNI/TR 11362).

A seconda che lo strato di supporto sia un misto granulare, misto cementato oppure un conglomerato bituminoso (nuovo, fresato o usurato), la lavorazione corrispondente prende il nome rispettivamente di impregnazione (mano di ancoraggio) e mano d'attacco.

Entrambe le lavorazioni sono dettagliate rispettivamente nei paragrafi 9.1 e 9.2.

#### 4.2.10 Posa in opera della miscela

La posa in opera del conglomerato bituminoso riciclato a freddo è effettuata a mezzo di macchine vibrofinitrici dei tipi approvati dalla Direzione Lavori in perfetto stato di efficienza e dotate di automatismi di autolivellamento.

La Direzione Lavori si riserva la facoltà di poter far variare la tecnologia ritenuta non opportuna.

Le vibrofinitrici non devono mai operare a velocità di stesa superiori a 5 m/min e devono comunque lasciare uno strato finito perfettamente sagomato, privo di sgranamenti, fessurazioni, esente da difetti dovuti a segregazione degli elementi litoidi più grossi.

Durante la stesa si deve porre la massima cura alla formazione dei giunti longitudinali e trasversali.

Nel caso di costruzione di due strisce adiacenti, il giunto longitudinale deve essere preferibilmente ottenuto mediante tempestivo affiancamento di una strisciata alla precedente o con l'impiego di due vibrofinitrici. Qualora ciò non sia possibile, se il bordo risulta danneggiato o arrotondato si deve procedere al taglio verticale (rettifica) con idonea attrezzatura e ad una successiva spruzzatura di emulsione bituminosa cationica a rapida rottura per assicurare la saldatura delle due strisce. Nel caso in cui il nuovo strato sia in adiacenza ad uno strato esistente, prima della stesa si deve provvedere alla rettifica del bordo dello strato esistente e alla spruzzatura con emulsione bituminosa cationica a rapida rottura per assicurare la saldatura della nuova striscia all'esistente.

Il giunto trasversale, di inizio o fine produzione giornaliera o inizio o fine sezione, deve essere realizzato tramite taglio verticale (rettifica) con idonea attrezzatura e ad una successiva spruzzatura di emulsione bituminosa cationica a rapida rottura.

La sovrapposizione dei giunti tra i vari strati sovrapposti deve essere programmata e realizzata in maniera che essi risultino tra loro sfalsati di almeno 20 cm e non cadano mai in corrispondenza delle due fasce della corsia di marcia normalmente interessate dalla traccia dei veicoli.

Il trasporto del conglomerato bituminoso dall'impianto di confezionamento al cantiere di stesa deve avvenire mediante mezzi di trasporto di adeguata portata, efficienti e veloci, sempre dotati di telone di copertura per evitare l'asciugatura del prodotto e la formazione di croste.

La stesa del conglomerato bituminoso riciclato a freddo deve avvenire in maniera continua e senza interruzioni fino a completo esaurimento del materiale trasportato. La stesa del conglomerato bituminoso deve essere sospesa quando le condizioni meteorologiche generali possono pregiudicare la perfetta riuscita del lavoro. Gli strati eventualmente compromessi devono essere immediatamente rimossi e successivamente ricostruiti a spese dell'Impresa.

La compattazione del conglomerato bituminoso deve iniziare appena steso dalla vibrofinitrice e condotta a termine senza interruzioni.

L'addensamento deve essere realizzato con un rullo vibrante tandem di almeno 9 tonnellate seguito da un rullo gommato con almeno cinque ruote e peso di almeno 18 tonnellate. Il rullo gommato deve operare in continuità.

A chiudere la fase di compattazione, il rullo tandem provvede all'eventuale finitura in modalità statica. I rulli in fase di compattazione non devono mai procedere con velocità superiori a 5 km/h.

La compattazione deve essere condotta con la metodologia più adeguata a ottenere uniforme addensamento in ogni punto ed evitare fessurazioni e scorrimenti nello strato appena steso.

Nel caso di doppi strati, se la sovrapposizione non avviene nell'arco delle 24 ore, è necessario applicare una mano di attacco di emulsione bituminosa rapida in ragione di 0,30 kg/m<sup>2</sup> di bitume residuo.

Ultimato il costipamento, compatibilmente con le attività di cantiere, lo strato deve essere fatto maturare almeno un giorno, favorendo l'evaporazione dell'acqua, prima di essere sigillato.

Se lo strato deve essere transitato da mezzi d'opera o è prevista pioggia, il conglomerato bituminoso riciclato a freddo deve essere immediatamente protetto con una mano di attacco di emulsione bituminosa rapida in ragione di 0,45 kg/m<sup>2</sup> di bitume residuo se ricoperto da strato di usura o 1,0 kg/m<sup>2</sup> se ricoperto da strato di binder e successivo spargimento di graniglia o sabbia o filler.

Le operazioni devono essere sospese con temperatura dell'aria inferiore ai 15°C e comunque quando le condizioni meteorologiche generali possono pregiudicare la perfetta riuscita del lavoro.

Eventuali principi di sgranature o aree con affioramento superficiale di aggregati grossi indice di segregazione della miscela, specialmente nei pressi delle zone di partenza o fermata della vibrofinitrice o attigue a pozzetti o aree soggette a lavorazioni a mano, dovranno essere rese saldamente coese con sigillatura, anche manuale, con emulsione bituminosa e filler o sabbia.

#### 4.2.11 Controlli

Il controllo della qualità del conglomerato bituminoso è effettuato mediante prove di laboratorio sui materiali costituenti, sulla miscela, sulle carote estratte dalla pavimentazione e sulla superficie dello strato per verificarne le caratteristiche di accettabilità. La Tabella 58 mostra il tipo di campione, l'ubicazione e la frequenza del controllo e i requisiti da rispettare durante tutto il processo.

Controllo dei materiali e verifiche prestazionali			
Tipo di campione	Ubicazione del controllo	Frequenza del controllo	Requisiti
Aggregato grosso	Impianto	Inizio cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	Caratteristiche
Aggregato fine	Impianto	Inizio cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	Caratteristiche
Filler	Impianto	Inizio cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	Caratteristiche
Miscela granulare	Impianto	Giornaliera o ogni 5000 m <sup>2</sup> di stesa o a discrezione della Direzione Lavori	Granulometria pre e post estrazione, contenuto di acqua naturale
Emulsione di bitume modificato	Cisterna	Inizio cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	Caratteristiche
Conglomerato bituminoso sfuso	Vibrofinitrice	Giornaliera o ogni 5000 m <sup>2</sup> di stesa o a discrezione della Direzione Lavori	Contenuto di bitume, contenuto di acqua, granulometria, densità secca e proprietà meccaniche
Carote	Pavimentazione	Ogni 250 m di stesa o a discrezione della Direzione Lavori	Densità secca, spessore
Superficie della pavimentazione	Pavimentazione	Ogni 250 m di stesa cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	Densità secca, Scostamento ( $\Delta \leq 5$ mm)

Tabella 58. Controlli da eseguire per il conglomerato bituminoso riciclato a freddo in impianto

Ogni prelievo deve essere costituito da due campioni:

- uno utilizzato per i controlli presso un laboratorio conto terzi selezionato dalla Direzione Lavori;
- uno a disposizione dell'impresa aggiudicataria dell'appalto.

Per ogni campione di conglomerato bituminoso sfuso vengono determinate: la percentuale di bitume apportato dall'emulsione (UNI EN 12697-1), il contenuto di acqua, la granulometria degli aggregati estratti (UNI EN 12697-2) e la densità massima teorica (UNI EN 12697-5). In particolare la percentuale di bitume apportato dall'emulsione è calcolato come differenza tra il contenuto di bitume totale del prodotto e il contenuto di bitume del fresato impiegato.

Con lo stesso materiale devono essere compattati tre provini con compattatore giratorio a 100 giri per la verifica dei valori di densità secca, *ITS* e *CTI*.

Le carote estratte dalla pavimentazione permettono le verifiche in riferimento allo spessore e densità secca. Lo spessore dello strato viene determinato facendo la media delle quattro altezze relative a due diametri ortogonali della circonferenza delle carote estratte tenendo in considerazione il possibile sgranamento del fondo.

A discrezione della Direzione Lavori, per la verifica della densità secca, possono essere eseguite verifiche di densità con il metodo del volumometro a sabbia (CNR 22: 1992) subito dopo la stesa.

Carote aggiuntive possono essere prelevate a discrezione della Direzione Lavori per eventuali prove meccaniche dopo processo di maturazione accelerata (*ITS* e *CTI*).

Le eventuali irregolarità superficiali dovranno essere misurate in direzione longitudinale e trasversale tramite un regolo di 3 m (UN EN 13036-7).

L'Impresa aggiudicataria dell'appalto deve consegnare settimanalmente alla Direzione Lavori i rapporti di prova della granulometria della miscela granulare e del contenuto d'acqua naturale che potranno essere rilasciati da un laboratorio conto terzi o dal produttore.

Nel caso in cui non sia comprovata l'esperienza del produttore per tale miscela, la Direzione Lavori si riserva la possibilità di richiedere una verifica in campo prova esterno al cantiere di progetto.

Per progetti con produzione superiore a 4.000 tonnellate, l'impresa aggiudicataria dell'appalto deve consegnare settimanalmente alla Direzione Lavori i rapporti di prova, riferiti al prodotto finale, di granulometria, contenuto di acqua e contenuto di bitume eseguiti ogni 1.000 tonnellate di produzione che potranno essere rilasciati da un laboratorio conto terzi o dal produttore.

I controlli riferiti alla pavimentazione (spessore, densità e regolarità) non sono effettuati nel caso in cui il conglomerato bituminoso sia impiegato per la risagomatura della pavimentazione stradale esistente.

I controlli saranno effettuati per produzioni giornaliere superiori a 30 tonnellate.

#### 4.2.12 Penali

La non rispondenza a quanto dichiarato per il fresato comporta il rifiuto del materiale e le eventuali penali da applicare.

La non consegna settimanale dei rapporti di prova per il monitoraggio della miscela granulare e del contenuto di acqua naturale comporta il rifiuto del materiale.

Per i materiali costituenti, le caratteristiche composite, volumetriche e meccaniche della miscela e delle carote estratte, la Direzione Lavori valuta l'accettabilità del conglomerato e le eventuali penali da applicare.

Il non rispetto del tipo e del dosaggio di additivo, la Direzione Lavori si riserva di stabilire l'accettabilità del conglomerato e le eventuali penali da applicare.

Nell'ambito di progetti con produzione superiore a 4.000 tonnellate, la non consegna settimanale da parte dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto dei rapporti di prova di granulometria e contenuto di bitume eseguiti ogni 1.000 tonnellate di produzione, rilasciati da un laboratorio conto terzi o dal fornitore, comporta il rifiuto del materiale.

La curva granulometrica e il contenuto di bitume riscontrati dopo l'estrazione del conglomerato bituminoso sciolto, in riferimento alla ricetta (prodotto accettato dalla Direzione Lavori), deve rispettare le seguenti tolleranze:

- granulometria: per dimensione superiore o uguale a 4 mm si applica una tolleranza di  $\pm 5$  punti percentuali;
- granulometria: per dimensioni comprese tra 4 e 0,063 mm si applica una tolleranza di  $\pm 3$  punti percentuali;
- granulometria: al passante al setaccio 0,063 mm si applica una tolleranza di  $\pm 1,5$  punti percentuali;
- contenuto di bitume: si applica una tolleranza del  $\pm 5\%$  rispetto al valore dichiarato per la miscela di progetto (es.: contenuto di bitume di progetto = 5%, intervallo di tolleranza 5,25-4,75%).

Nel caso di non conformità la Direzione Lavori può richiedere, in funzione del contesto, il rifacimento dello strato, opere di ripristino a spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto o l'applicazione di una detrazione del 10% sul prezzo di aggiudicazione della lavorazione per lo strato interessato. La superficie di riferimento è calcolata considerando la lunghezza compresa tra la metà della distanza dalla misurazione precedente e la metà della distanza dalla misurazione successiva (oppure considerando la lunghezza del tronco omogeneo) moltiplicato per la larghezza dell'intervento.

A discrezione della Direzione Lavori, il non rispetto delle caratteristiche meccaniche di laboratorio comporta la rimozione dello strato o l'applicazione di una detrazione del 10% sul prezzo di aggiudicazione della lavorazione per lo strato interessato. La superficie di riferimento è calcolata considerando la lunghezza compresa tra la metà della distanza dalla misurazione precedente e la metà della distanza dalla misurazione successiva (oppure considerando la lunghezza del tronco omogeneo) moltiplicato per la larghezza dell'intervento.

Se possibile, per lo spessore dello strato, determinato da misurazioni sulle carote estratte dalla pavimentazione è tollerata una carenza massima del 10 % rispetto allo spessore di progetto. Per carenze superiori al 10 %, è applicata una detrazione percentuale pari a:

$$\text{Detrazione percentuale per carenza di spessore} = 3 \times (c - 10)$$

dove  $c$  rappresenta la carenza di spessore rispetto al valore di progetto espresso in percentuale. Per esempio, se lo strato è spesso 6,10 cm anziché 7,00 cm e quindi la carenza è del 13 % rispetto al valore di progetto, la penale in percentuale è del  $(13 - 10) \times 3 = 9\%$ . Se la differenza supera il 25 % (in diminuzione), la Direzione Lavori può richiedere il rifacimento dello strato a spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto. Per esempio, se lo spessore di progetto è pari a 7,00 cm, al di sotto di 5,25 cm può essere richiesto il rifacimento. In alternativa alla rimozione e ricostruzione, la Direzione Lavori può autorizzare la stesa di uno strato di conguaglio (previa spruzzatura della mano di attacco) di spessore tale da consentire il raggiungimento dello spessore totale atteso. Per la ricarica può essere impiegato conglomerato bituminoso di tipo binder o usura che non potrà comunque essere di spessore inferiore a tre volte la dimensione massima degli aggregati. Nel rispetto delle quote finali di progetto, la Direzione Lavori valuta la possibilità di una fresatura parziale per aver modo di stendere lo strato di conguaglio nel rispetto del suo spessore minimo. Quando possibile, il conguaglio può essere realizzato incrementando lo spessore del sovrastante strato di usura purché questo non determini difficoltà di stesa e compattazione a causa di spessore eccessivo (mai superiore a 6 cm). La superficie a cui applicare la detrazione è calcolata considerando la lunghezza compresa tra la metà della distanza dalla carota precedente e la metà della distanza dalla carota successiva (oppure considerando la lunghezza del tronco omogeneo) moltiplicato per la larghezza dell'intervento.

A compattazione ultimata la densità secca in situ (con volumometro o prelievo di carote), non deve essere inferiore al 95% del valore di riferimento misurato in laboratorio sulla miscela di progetto costipata con pressa giratoria a 100 giri e dichiarato prima dell'inizio dei lavori. Nel caso di non conformità la Direzione Lavori può richiedere, in funzione del contesto, il rifacimento dello strato, opere di ripristino a spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto o l'applicazione di una detrazione del 10% sul prezzo di aggiudicazione della lavorazione per lo strato interessato. La superficie di riferimento è calcolata considerando la lunghezza compresa tra la metà della distanza dalla misurazione precedente e la metà della distanza dalla misurazione successiva (oppure considerando la lunghezza del tronco omogeneo) moltiplicato per la larghezza dell'intervento.

La superficie dello strato deve presentarsi priva di irregolarità ed ondulazioni. È tollerato uno scostamento massimo di 5 mm al di sopra del quale la Direzione Lavori può richiedere, in funzione del contesto, il rifacimento dello strato, opere di ripristino a spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto o l'applicazione di una detrazione del 10% sul prezzo di aggiudicazione della lavorazione per lo strato interessato. La superficie di riferimento è calcolata considerando la lunghezza compresa tra la metà della distanza dalla misurazione precedente e la metà della distanza dalla misurazione successiva (oppure considerando la lunghezza del tronco omogeneo) moltiplicato per la larghezza dell'intervento.

Salvo casi particolari che andranno giudicati dalla Direzione Lavori, le penali precedentemente indicate sono cumulabili.

## 5 Misto cementato prodotto in impianto e materiali stabilizzati con calce e cemento in sito

## 5.1 Misto cementato prodotto in impianto con aggregati vergini

### **Elenco prezzi: steso con vibrofinitrice NV 12; steso con livellatrice NV 13.**

Il misto cementato prodotto in impianto con aggregati vergini è costituito da aggregati vergini impastati con cemento e acqua in impianti centralizzati dotati di opportuni dosatori. Misto cementato prodotto in impianto con aggregati vergini è posto in opera mediante macchina vibrofinitrice e subito costipato tramite rulli. In particolari situazioni, la Direzione Lavori può prevedere la stesa con pala meccanica o livellatrice. Esso può essere impiegato per strati di fondazione, base o binder in funzione delle disposizioni di progetto secondo le norme UNI EN 14227-1. A protezione dello strato deve essere sempre prevista una mano di impregnazione. È raccomandato uno spessore dello strato superiore a 10 cm e, quando superiore a 20 cm, è consigliata la realizzazione in due strati. Quando utilizzato per strato di fondazione in scavi a sezione ristretta deve essere compattato con idonee attrezzature (compattatore verticale, piastra vibrante o specifici equipaggiamenti) per strati di spessore mai superiore a 25 cm.

Una volta accettato il materiale da parte della Direzione Lavori, l'Impresa aggiudicataria dell'appalto, è vincolata al rigoroso utilizzo di tutte le sue componenti nel rispetto delle tolleranze riportate nel paragrafo Penali.

### 5.1.1 Aggregati

Gli aggregati lapidei costituiscono la matrice litica del misto cementato e sono composti da aggregati grossi, aggregati in frazione unica e aggregati fini.

Gli aggregati grossi, aggregati in frazione unica e aggregati fini possono provenire dalla lavorazione di materiali naturali (rocce, aggregati naturali tondeggianti, aggregati naturali a spigoli vivi) o da depositi alluvionali. L'aggregato grosso ( $D > 2 \text{ mm}$ ;  $d \geq 1 \text{ mm}$ ) può essere di provenienza o natura petrografica diversa purché, per ogni tipologia, risultino soddisfatti i requisiti indicati nella Tabella 59. La designazione dell'aggregato grosso deve essere effettuata mediante le dimensioni dei setacci appartenenti al gruppo di base, più gruppo 2 della UNI EN 13242.

Parametro	Metodo di prova	Unità di misura	Valori richiesti	Categoria UNI EN 13043
Resistenza alla frammentazione	UNI EN 1097-2	[%]	$\leq 30$	LA <sub>30</sub>
Percentuale di particelle frantumate	UNI EN 933-5	[%]	$\geq 90$	C <sub>90/3</sub>
Coefficiente di appiattimento	UNI EN 933-3	[%]	$\leq 30$	FI <sub>30</sub>
Coefficiente di forma	UNI EN 933-4	[%]	$\leq 30$	SI <sub>30</sub>
Assorbimento d'acqua	UNI EN 1097-6	[%]	$\leq 2$	WA <sub>242</sub>

*Tabella 59. Caratteristiche dell'aggregato grosso per il misto cementato prodotto in impianto*

L'aggregato fine ( $D \leq 6,3 \text{ mm}$ ;  $d = 0 \text{ mm}$ ) può essere di provenienza o natura petrografica diversa purché, per ogni tipologia, risultino soddisfatti i requisiti indicati nella Tabella 60. La designazione dell'aggregato fine deve essere effettuata mediante le dimensioni dei setacci appartenenti al gruppo di base, più gruppo 2 della UNI EN 13242.

Parametro	Metodo di prova	Unità di misura	Valori richiesti	Categoria UNI EN 13043
Equivalente in sabbia	UNI EN 933-8	[%]	$\geq 30$	SE <sub>30</sub>
Indice di plasticità	UNI CEN ISO/TS 17892-12	-	Non plastico	-

*Tabella 60. Caratteristiche dell'aggregato fine per isto cementato prodotto in impianto*

L'aggregato in frazione unica ( $D > 6,3$  mm;  $d = 0$ ) deve possedere requisiti conformi alle Tabella 59 e Tabella 60.

Il paragrafo 1.2 (Certificati di prequalifica e relative penali) specifica le modalità di presentazione e accettazione della documentazione di qualifica.

### 5.1.2 Cemento

Il cemento impiegato deve far parte delle seguenti tipologie:

- CEM I cemento Portland
- CEM II cemento Portland composito
- CEM III cemento d'altoforno;
- CEM IV cemento pozzolanico.

È raccomandato l'uso di cemento a presa rapida 32,5 R o 42,5 R. Le caratteristiche del cemento devono includere la granulometria.

Il paragrafo 1.2 (Certificati di prequalifica e relative penali) specifica le modalità di presentazione e accettazione della documentazione di qualifica.

### 5.1.3 Acqua

L'acqua impiegata deve essere esente da impurità dannose, conforme alla norma UNI EN 1008.

### 5.1.4 Miscela di progetto

Per la miscela granulare si raccomanda una composizione granulometrica contenuta nei fusi riportati in

Fuso granulometrico		
Dimensione massima [mm]	Passante totale in peso [%]	
Apertura setacci UNI [mm]	D <sub>max</sub> = 20 mm	D <sub>max</sub> = 30 mm
40	-	100
31,5	100	85 - 100
20	95 - 100	65 - 94
10	55 - 87	44 ÷ 78
4	32 - 66	-
2	23 - 54	18 - 50
0,5	11 - 31	8 - 30
0,25	8 - 23	6 - 22
0,063	3,5 - 11,0	3,0 - 11,0

Tabella 61 o di seguire la distribuzione di Fuller  $P_i = 100 \cdot \left(\frac{d_i}{D}\right)^{0,45}$  dove  $P_i$  è il passante al setaccio  $i$ -esimo,  $d_i$  è il setaccio  $i$ -esimo e  $D$  è la dimensione massima. Il fuso  $D_{\max}= 20$  mm è raccomandato per spessori tra 10 e 15 mentre il fuso  $D_{\max}= 30$  mm per spessori tra 15 a 20 cm.

Fuso granulometrico		
Dimensione massima [mm]	Passante totale in peso [%]	
Apertura setacci UNI [mm]	D <sub>max</sub> = 20 mm	D <sub>max</sub> = 30 mm
40	-	100
31,5	100	85 - 100
20	95 - 100	65 - 94
10	55 - 87	44 ÷ 78
4	32 - 66	-
2	23 - 54	18 - 50
0,5	11 - 31	8 - 30
0,25	8 - 23	6 - 22
0,063	3,5 - 11,0	3,0 - 11,0

Tabella 61. Fuso granulometrico in funzione della dimensione massima per il misto cementato prodotto in impianto

La miscela granulare, escluso il cemento, deve avere indice CBR in condizione satura superiore a 50 (UNI EN 13286-47) e un rigonfiamento nullo. Tali valori devono essere dichiarati tra le caratteristiche della miscela.

La granulometria di progetto escluso e incluso il cemento devono essere dichiarate tra le caratteristiche della miscela.

Le percentuali ottimali di acqua e cemento sono stabilite mediante uno specifico studio in laboratorio o dovranno comunque verificare i requisiti richiesti in Tabella 62.

Le caratteristiche del misto cementato prodotto in impianto devono essere determinate dalla media di almeno tre campioni considerando un coefficiente di variazione  $\leq 0,15$  (deviazione standard/media).

Prima di definire la giusta combinazione di leganti, deve essere determinato il contenuto ottimale di acqua sulla miscela granulare con il 4% in peso di cemento, secondo le indicazioni della Tabella 62. La miscela granulare (escluso il cemento) deve essere inumidita con un contenuto di acqua pari all'assorbimento degli stessi aggregati e sigillata per circa 12 ore. I provini con diverso contenuto di acqua e il 4% di cemento devono essere compattati con compattatore Proctor modificato (UNI EN 13286-2, UNI EN 13286-50) secondo i parametri di Tabella 62.

Il contenuto ottimo di acqua è quello che permette di raggiungere il valore più elevato di massa volumica secca della miscela (massa volumica secca  $\rho_d = \frac{\rho_w}{1-w}$ ).

Con il contenuto di acqua ottimo, devono essere confezionati provini con differenti quantità (percentuali riferite al peso degli inerti) di cemento, come indicato nella Tabella 62.

I provini così confezionati devono subire una maturazione a 25 °C per 7 giorni e successivamente devono essere sottoposti a prova di resistenza a trazione indiretta ( $R_{it}$ , UNI EN 13286-42, gradiente di carico: 0,05 N/mm<sup>2</sup>/s) e a compressione ( $R_c$ , UNI EN 13286-41, gradiente di carico: 1 N/mm<sup>2</sup>/s). Tali provini devono fornire:

- resistenza a trazione indiretta  $R_{it} \geq 0,30$  N/mm<sup>2</sup> (provini su fustella Proctor)
- resistenza a compressione  $R_c = 3,0 - 5,0$  N/mm<sup>2</sup> (provini su fustella CBR senza disco spaziatore).

Sulla miscela ottima si deve determinare la massa volumica secca che costituirà il riferimento per il controllo della densità in sito.

Condizioni di compattazione			
Parametro	Unità di misura	Normativa di riferimento	Valori richiesti
Energia Proctor	[MJ/m <sup>3</sup> ]	UNI EN 13286-2	2,7 (modificata)
Diametro della fustella	[mm]	UNI EN 13286-2	150 (ben lubrificata)
Strati	[n]	UNI EN 13286-2	5
Altezza	[mm]	UNI EN 13286-2	120 (ottimo di acqua e R <sub>it</sub> ) 180 fustella CBR (R <sub>c</sub> )
Colpi per strato	[n]	UNI EN 13286-2	56 (ottimo di acqua e R <sub>it</sub> ) 85 (R <sub>c</sub> )
Studio del contenuto ottimo di acqua			
Contenuto di cemento	[% su peso inerti]	4	Densità secca massima $\rho_{dmax}$
Contenuto di acqua	[% su peso inerti]	4, 5, 6 e 7*	
Studio del contenuto ottimo di cemento			
Contenuto di acqua	[% su peso inerti]	ottimo	$R_{it} \geq 0,30 \text{ N/mm}^2$
Contenuto di cemento	[% su peso inerti]	3, 4, 5	$R_c = 3,0 - 5,0 \text{ N/mm}^2$

\*se necessario l'intervallo può essere variato al fine di determinare il contenuto ottimo di acqua in corrispondenza del valore massimo di densità secca dal grafico  $\rho_d$ -w a "campana"

Tabella 62. Caratteristiche della miscela di progetto per il misto cementato prodotto in impianto

Il paragrafo 1.2 (Certificati di prequalifica e relative penali) specifica le modalità di presentazione e accettazione della documentazione di qualifica.

Il produttore deve inoltre dichiarare la ricetta, la granulometria della miscela ottima (includendo ed escludendo il cemento) e il contenuto di acqua ottimo.

Per progetti con produzione superiore a 4.000 tonnellate, l'Impresa aggiudicataria dell'appalto deve consegnare settimanalmente alla Direzione Lavori i rapporti di prova, riferiti al prodotto finale, di granulometria e contenuto di acqua eseguiti ogni 1.000 tonnellate di produzione che potranno essere rilasciati da un laboratorio conto terzi o dal produttore.

### 5.1.5 Produzione della miscela

Il misto cementato è confezionato mediante impianti fissi o mobili (installabili anche in cantiere) automatizzati, di idonee caratteristiche, mantenuti sempre perfettamente funzionanti in ogni loro parte.

La produzione dell'impianto non deve essere spinta oltre la sua potenzialità, per garantire l'omogeneità della miscela.

L'impianto deve garantire uniformità di produzione ed essere in grado di realizzare una miscela rispondente alle caratteristiche dichiarate di progetto.

La zona destinata allo stoccaggio degli inerti deve essere preventivamente e convenientemente scelta per evitare la contaminazione da sostanze argillose e ristagni di acqua che possono compromettere la pulizia degli aggregati. Inoltre, i cumuli delle diverse classi dovranno essere separati tra di loro e l'operazione di rifornimento nei predosatori eseguita con la massima cura.

Non è consentito il mescolamento di cementi diversi per tipo, classe di resistenza o provenienza. Il cemento e le aggiunte dovranno essere adeguatamente protetti dall'umidità atmosferica e dalle impurità.

### 5.1.6 Preparazione della superficie di stesa

La stesa del misto cementato avviene solo dopo che sia stata accertata dalla Direzione Lavori la rispondenza del piano di posa ai requisiti di quota, sagoma, densità e portanza indicati in progetto. Il piano di posa deve risultare perfettamente pulito e privo di ogni residuo di qualsiasi natura.

Ogni depressione o avallamento presente sul piano di posa deve essere corretta prima della stesa. Prima della stesa è inoltre necessario verificare che il piano di posa sia sufficientemente umido e, se necessario, provvedere alla umidificazione della superficie.

Prima della realizzazione dello strato è necessario preparare la superficie di stesa allo scopo di garantire una adeguata adesione all'interfaccia mediante l'applicazione di una emulsione bituminosa aventi caratteristiche specifiche (UNI EN 13808, UNI/TR 11362) per impregnazione così come dettagliato nel paragrafo 9.1.

### 5.1.7 Posa in opera della miscela

La posa in opera del misto cementato è effettuata a mezzo di macchine vibrofinitrici dei tipi approvati dalla Direzione Lavori in perfetto stato di efficienza e dotate di automatismi di autolivellamento.

La Direzione Lavori si riserva la facoltà di poter far variare la tecnologia ritenuta non opportuna.

Le vibrofinitrici non devono mai operare a velocità di stesa superiori a 5 m/min e dovranno comunque lasciare uno strato finito perfettamente sagomato, privo di sgranamenti, fessurazioni, esente da difetti dovuti a segregazione degli elementi litoidi più grossi.

Durante la stesa si deve porre la massima cura alla formazione dei giunti longitudinali e trasversali.

Nel caso di costruzione di due strisciante adiacenti, il giunto longitudinale deve essere preferibilmente ottenuto mediante tempestivo affiancamento di una strisciata alla precedente o con l'impiego di due vibrofinitrici. Qualora ciò non sia possibile, se il bordo risulta danneggiato o arrotondato si deve procedere al taglio verticale (rettifica) con idonea attrezzatura e ad una successiva spruzzatura di emulsione bituminosa cationica per assicurare la saldatura delle due strisciante. Nel caso in cui il nuovo strato sia in adiacenza ad uno strato esistente, prima della stesa si deve provvedere alla rettifica del bordo dello strato esistente e alla spruzzatura con emulsione bituminosa cationica per assicurare la saldatura della nuova striscia all'esistente.

Il giunto trasversale, di inizio o fine produzione giornaliera o inizio o fine sezione, deve essere realizzato tramite taglio verticale (rettifica) con idonea attrezzatura e ad una successiva spruzzatura di emulsione bituminosa cationica.

La sovrapposizione dei giunti tra i vari strati sovrapposti deve essere programmata e realizzata in maniera che essi risultino tra loro sfalsati di almeno 20 cm e non cadano mai in corrispondenza delle due fasce della corsia di marcia normalmente interessate dalla traccia dei veicoli.

Il trasporto del misto cementato dall'impianto di confezionamento al cantiere di stesa deve avvenire mediante mezzi di trasporto di adeguata portata, efficienti e veloci, sempre dotati di telone di copertura per evitare una eccessiva essiccazione del prodotto.

La stesa del misto cementato deve avvenire entro un'ora dalla produzione, o in funzione della presa dello specifico cemento usato, in maniera continua e senza interruzioni fino a completo esaurimento del materiale

trasportato, evitando problemi causati dalla possibile essicazione del materiale o presa del cemento. La stesa del misto cementato deve essere sospesa quando le condizioni meteorologiche generali possono pregiudicare la perfetta riuscita del lavoro. Gli strati eventualmente compromessi devono essere immediatamente rimossi e successivamente ricostruiti a spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto.

La compattazione del misto cementato deve iniziare appena steso dalla vibrofinitrice e condotta a termine senza interruzioni.

L'addensamento deve essere realizzato con un rullo monotamburo vibrante di almeno 14 tonnellate seguito da un rullo gommato con almeno cinque ruote e peso di almeno 18 tonnellate. Il rullo gommato deve operare in continuità.

A chiudere la fase di compattazione, il rullo tandem provvede all'eventuale finitura in modalità statica. I rulli in fase di compattazione non dovranno mai procedere con velocità superiori a 5 km/h.

La compattazione deve essere condotta con la metodologia più adeguata a ottenere uniforme addensamento in ogni punto ed evitare fessurazioni e scorrimenti nello strato appena steso.

Nel caso di doppi strati, la sovrapposizione deve avvenire nel minor tempo possibile.

Ultimato il costipamento, lo strato deve essere immediatamente protetto con impregnazione di emulsione bituminosa lenta o media in ragione di 1,0 kg/m<sup>2</sup> di bitume residuo e successivo spargimento di sabbia o filler o graniglia.

Le operazioni devono essere sospese con temperatura dell'aria inferiore ai 15°C e comunque quando le condizioni meteorologiche generali possono pregiudicare la perfetta riuscita del lavoro.

Eventuali principi di sgranature o aree con affioramento superficiale di aggregati grossi indice di segregazione della miscela, specialmente nei pressi delle zone di partenza o fermata della vibrofinitrice o attigue a pozzetti o aree soggette a lavorazioni a mano, devono essere rese saldamente coese con sigillatura, anche manuale, con emulsione bituminosa e filler o sabbia.

### 5.1.8 Controlli

Il controllo della qualità del misto cementato è effettuato mediante prove di laboratorio sui materiali costituenti, sulla miscela, sulle carote estratte dalla pavimentazione e sulla superficie dello strato per verificarne le caratteristiche di accettabilità. La Tabella 63 mostra il tipo di campione, l'ubicazione e la frequenza del controllo e i requisiti da rispettare durante tutto il processo.

Controllo dei materiali e verifiche prestazionali			
Tipo di campione	Ubicazione del controllo	Frequenza del controllo	Requisiti
Aggregato grosso	Impianto	Inizio cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	Caratteristiche
Aggregato fine	Impianto	Inizio cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	Caratteristiche
Cemento	Impianto	Inizio cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	Caratteristiche
Misto cementato sfuso	Vibrofinitrice	Giornaliera o ogni 5000 m <sup>2</sup> di stesa o a discrezione della Direzione Lavori	Contenuto di acqua, contenuto di cemento, granulometria, densità secca e proprietà meccaniche
Superficie della pavimentazione	Pavimentazione	Ogni 250 m di stesa cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	Densità secca, spessore
Superficie della pavimentazione	Pavimentazione	Ogni 250 m di stesa cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	$M_d \geq 100 \text{ N/mm}^2$ a $18 \pm 6$ ore $E_{LWD} \geq 60 \text{ MPa}$ dopo compattazione $E_{LWD} \geq 120 \text{ MPa}$ a $18 \pm 6$ ore Scostamento ( $\Delta \leq 5 \text{ mm}$ )

Tabella 63. Controlli da eseguire per il conglomerato bituminoso riciclato a freddo in impianto

Ogni prelievo deve essere costituito da due campioni:

- uno utilizzato per i controlli presso un laboratorio conto terzi selezionato dalla Direzione Lavori;
- uno a disposizione dell'impresa aggiudicataria dell'appalto.

Per ogni campione di misto cementato sfuso sono determinate: il contenuto di acqua, di cemento, la granulometria della miscela (compreso il cemento). Con lo stesso materiale devono essere compattati tre provini (entro due ore dalla produzione o in funzione della presa dello specifico cemento usato) con compattatore Proctor modificato per la verifica dei valori di densità secca,  $R_{it}$  e  $R_c$ .

Lo spessore dello strato viene determinato per differenza tra quota di posa e di superficie.

A discrezione della Direzione Lavori, in alternativa, per la verifica della densità secca, possono essere eseguite verifiche di densità con il metodo del volumometro a sabbia (CNR 22: 1992) subito dopo la stesa.

La portanza dello strato può essere verificata a discrezione della Direzione Lavori con prove di piastra statica (CNR 146/1992) o piastra dinamica (ASTM E2583 – 07).

Le eventuali irregolarità superficiali dovranno essere misurate in direzione longitudinale e trasversale tramite un regolo di 3 m (UN EN 13036-7).

Per progetti con produzione superiore a 4.000 tonnellate, l'Impresa aggiudicataria dell'appalto deve consegnare settimanalmente alla Direzione Lavori i rapporti di prova, riferiti al prodotto finale, di granulometria, contenuto di acqua e granulometria della miscela (incluso il cemento) eseguiti ogni 1.000 tonnellate di produzione che potranno essere rilasciati da un laboratorio conto terzi o dal produttore.

I controlli riferiti alla pavimentazione (spessore, densità e regolarità) non sono effettuati nel caso in cui il misto cementato sia usato per riprofilatura e sia steso su una superficie non regolarizzata con fresa o motorgrader.

I controlli sono effettuati per produzioni giornaliere superiori a 30 tonnellate.

### 5.1.9 Penali

Le detrazioni di seguito descritte sono applicate in punti percentuali sul prezzo di aggiudicazione lavori del misto cementato (preparazione, materiale e stesa).

Per i materiali costituenti, le caratteristiche composite, volumetriche e meccaniche della miscela, la Direzione Lavori valuta l'accettabilità del misto cementato e le eventuali penali da applicare fino alla rimozione e ripristino a spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto.

La curva granulometrica e il contenuto di cemento, in riferimento alla ricetta (prodotto accettato dalla Direzione Lavori), deve rispettare le seguenti tolleranze:

- granulometria: per dimensione superiore o uguale a 4 mm si applica una tolleranza di  $\pm 5$  punti percentuali;
- granulometria: per dimensioni comprese tra 4 e 0,063 mm si applica una tolleranza di  $\pm 3$  punti percentuali;
- granulometria: al passante al setaccio 0,063 mm si applica una tolleranza di  $\pm 1,5$  punti percentuali;
- contenuto di cemento: si applica una tolleranza del  $\pm 5\%$  rispetto al valore dichiarato per la miscela di progetto.

Nel caso di non conformità la Direzione Lavori può richiedere, in funzione del contesto, il rifacimento dello strato, opere di ripristino a spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto o l'applicazione di una detrazione del 10% sul prezzo di aggiudicazione della lavorazione per lo strato interessato. La superficie di riferimento è calcolata considerando la lunghezza compresa tra la metà della distanza dalla misurazione precedente e la metà della distanza dalla misurazione successiva (oppure considerando la lunghezza del tronco omogeneo) moltiplicato per la larghezza dell'intervento.

A discrezione della Direzione Lavori, il non rispetto delle caratteristiche meccaniche di laboratorio comporta la rimozione dello strato o l'applicazione di una detrazione del 10% sul prezzo di aggiudicazione della lavorazione per lo strato interessato. La superficie di riferimento è calcolata considerando la lunghezza compresa tra la metà della distanza dalla misurazione precedente e la metà della distanza dalla misurazione successiva (oppure considerando la lunghezza del tronco omogeneo) moltiplicato per la larghezza dell'intervento.

Nell'ambito di progetti con produzione superiore a 4.000 tonnellate, la non consegna settimanale da parte dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto dei rapporti di prova settimanali, riferiti al prodotto finito, di granulometria della miscela e del contenuto di acqua, eseguiti ogni 1.000 tonnellate di produzione rilasciati da un laboratorio conto terzi o dal produttore comporta il rifiuto del materiale.

Per lo spessore dello strato, determinato da differenza di quota o carotaggio, è tollerata una carenza massima del 10 % rispetto allo spessore di progetto. Per carenze superiori al 10 %, è applicata una detrazione percentuale pari a:

$$\text{Detrazione percentuale per carenza di spessore} = 3 \times (c - 10)$$

dove  $c$  rappresenta la carenza di spessore rispetto al valore di progetto espressa in percentuale. Per esempio, se la differenza è del 13 % rispetto al valore di progetto, la penale è del  $(13 - 10) \cdot 3 = 9\%$ . Se la differenza supera il 25 % (in diminuzione), la Direzione Lavori può richiedere il rifacimento dello strato a completa cura e spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto (per esempio, se lo spessore di progetto è pari a 10 cm, al di

sotto 7,5 cm è richiesto il rifacimento). In alternativa alla rimozione e ricostruzione, la Direzione Lavori può autorizzare la stesa di uno strato di conguaglio (previa fresatura di attacco) di spessore tale da consentire il raggiungimento lo spessore totale atteso. Nel rispetto delle quote finali di progetto, è valutata dalla Direzione Lavori la possibilità di una fresatura parziale per aver modo di stendere lo strato di conguaglio nel rispetto del suo spessore minimo. Quando possibile, il conguaglio può essere realizzato incrementando lo spessore del sovrastante strato di binder o usura purché questo non determini difficoltà di stesa e compattazione a causa di spessore eccessivo (mai superiore rispettivamente a 12 o 6 cm). La superficie a cui applicare la detrazione è calcolata considerando la lunghezza compresa tra la metà della distanza dalla carota precedente e la metà della distanza dalla carota successiva (oppure considerando la lunghezza del tronco omogeneo) moltiplicato per la larghezza dell'intervento.

A compattazione ultimata la densità secca in situ (con volumometro o prelievo di carote), non deve essere inferiore al valore di riferimento misurato in laboratorio  $\rho_{d,max}$  misurato in laboratorio sulla miscela di progetto costipata con compattatore Proctor modificato e dichiarato prima dell'inizio dei lavori. Nel caso di non conformità la Direzione Lavori può richiedere, in funzione del contesto, il rifacimento dello strato, opere di ripristino a spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto o l'applicazione di una detrazione del 10% sul prezzo di aggiudicazione della lavorazione per lo strato interessato. La superficie di riferimento è calcolata considerando la lunghezza compresa tra la metà della distanza dalla misurazione precedente e la metà della distanza dalla misurazione successiva (oppure considerando la lunghezza del tronco omogeneo) moltiplicato per la larghezza dell'intervento.

Il modulo dinamico  $E_{LWD}$  e il modulo di deformazione  $M_d$  non devono essere inferiore a quanto richiesto nel 90% dei punti analizzati all'interno del tronco omogeneo. Nel caso di non conformità la Direzione Lavori può richiedere, in funzione del contesto, il rifacimento dello strato, opere di ripristino a spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto o l'applicazione di una detrazione del 10% sul prezzo di aggiudicazione della lavorazione per lo strato interessato. La superficie di riferimento è calcolata considerando la lunghezza compresa tra la metà della distanza dalla misurazione precedente e la metà della distanza dalla misurazione successiva (oppure considerando la lunghezza del tronco omogeneo) moltiplicato per la larghezza dell'intervento.

La superficie dello strato deve presentarsi priva di irregolarità ed ondulazioni. È tollerato uno scostamento massimo di 5 mm al di sopra del quale la Direzione Lavori può richiedere, in funzione del contesto, il rifacimento dello strato, opere di ripristino a spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto o l'applicazione di una detrazione del 10% sul prezzo di aggiudicazione della lavorazione per lo strato interessato. La superficie di riferimento è calcolata considerando la lunghezza compresa tra la metà della distanza dalla misurazione precedente e la metà della distanza dalla misurazione successiva (oppure considerando la lunghezza del tronco omogeneo) moltiplicato per la larghezza dell'intervento.

Salvo casi particolari che andranno giudicati dalla Direzione Lavori, le penali precedentemente indicate sono cumulabili.

## 5.2 Misto cementato prodotto in impianto con aggregati di recupero

### **Elenco prezzi: steso con vibrofinitrice NV 14; steso con livellatrice NV 15.**

Il misto cementato prodotto in impianto con aggregati di recupero è costituito da aggregati vergini e di recupero impastati con cemento e acqua in impianti centralizzati dotati di opportuni dosatori. Può essere previsto anche l'impiego di conglomerato bituminoso di recupero qualificato secondo la UNI EN 13242. Il misto cementato prodotto in impianto con aggregati vergini e di recupero è posto in opera mediante macchina vibrofinitrice e subito costipato tramite rullo tandem e gommato. In particolari situazioni, la Direzione Lavori può prevedere la stesa con pala meccanica o livellatrice. Esso può essere impiegato secondo la UNI EN 14227-1 per strati di fondazione, base o binder in funzione delle disposizioni di progetto. A protezione dello strato deve essere sempre prevista una mano di impregnazione o di attacco con emulsione bituminosa in funzione delle prescrizioni indicate per lo strato superiore. È raccomandato uno spessore dello strato superiore a 10 cm e, quando superiore a 20 cm, è consigliata la stesa in due strati. Quando utilizzato per strato di fondazione in scavi a sezione ristretta deve essere compattato con idonee attrezzature (compattatore verticale o specifici equipaggiamenti) per strati di spessore mai superiore a 25 cm.

La miscela riciclata deve essere qualificata in conformità al regolamento Ue 305/2011 sui prodotti da costruzione, classificata secondo la UNI EN 933-11 (Prova di classificazione per i costituenti degli aggregati grossi riciclati), test di cessione di cui all'All. 3 D.M. 05/02/1998 App. A UNI 10802/2004 e caratterizzazione del rifiuto per attribuzione del codice CER (classificazione e recupero ai sensi del D.Lgs 152/06, Reg 1357/2014/UE, Regolamento (UE) 2016/1179, Regolamento (UE) 2017/997 Decisione 2015/955/U.E., D.M. 05/02/1998). I costituenti  $R_b$ ,  $R_g$ , X e  $F_L$  (laterizi, silicato di calcio, vetro, materiali coesivi, legno, plastica ecc.) devono rispettare le seguenti restrizioni:  $R_b \leq 10\%$ ,  $R_g \leq 2\%$ ,  $X \leq 1\%$  e  $F_L \leq 5 \text{ cm}^3/\text{kg}$ .

Una volta accettato il materiale da parte della Direzione Lavori, l'Impresa aggiudicataria dell'appalto, è vincolata al rigoroso utilizzo di tutte le sue componenti nel rispetto delle tolleranze riportate nel paragrafo Penali.

### 5.2.1 Aggregati vergini

Gli aggregati lapidei costituiscono la matrice litica del misto cementato e sono composti da aggregati grossi, aggregati in frazione unica e aggregati fini.

Gli aggregati grossi, aggregati in frazione unica e aggregati fini possono provenire dalla lavorazione di materiali naturali (rocce, aggregati naturali tondeggianti, aggregati naturali a spigoli vivi) o da depositi alluvionali. L'aggregato grosso ( $D > 2 \text{ mm}$ ;  $d \geq 1 \text{ mm}$ ) può essere di provenienza o natura petrografica diversa purché, per ogni tipologia, risultino soddisfatti i requisiti indicati nella Tabella 64. La designazione dell'aggregato grosso deve essere effettuata mediante le dimensioni dei setacci appartenenti al gruppo di base, più gruppo 2 della UNI EN 13242.

Parametro	Metodo di prova	Unità di misura	Valori richiesti	Categoria UNI EN 13043
Resistenza alla frammentazione	UNI EN 1097-2	[%]	$\leq 30$	LA <sub>30</sub>
Percentuale di particelle frantumate	UNI EN 933-5	[%]	$\geq 90$	C <sub>90/3</sub>
Coefficiente di appiattimento	UNI EN 933-3	[%]	$\leq 30$	FI <sub>30</sub>
Coefficiente di forma	UNI EN 933-4	[%]	$\leq 30$	SI <sub>30</sub>
Assorbimento d'acqua	UNI EN 1097-6	[%]	$\leq 2$	WA <sub>242</sub>

Tabella 64. Caratteristiche dell'aggregato grosso per il misto cementato prodotto in impianto

L'aggregato fine ( $D \leq 6,3$  mm;  $d = 0$  mm) può essere di provenienza o natura petrografica diversa purché, per ogni tipologia, risultino soddisfatti i requisiti indicati nella Tabella 65. La designazione dell'aggregato fine deve essere effettuata mediante le dimensioni dei setacci appartenenti al gruppo di base, più gruppo 2 della UNI EN 13242.

Parametro	Metodo di prova	Unità di misura	Valori richiesti	Categoria UNI EN 13043
Equivalente in sabbia	UNI EN 933-8	[%]	$\geq 30$	SE <sub>30</sub>
Indice di plasticità	UNI CEN ISO/TS 17892-12	-	Non plastico	-

*Tabella 65. Caratteristiche dell'aggregato fine per misto cementato prodotto in impianto*

L'aggregato in frazione unica ( $D > 6,3$  mm;  $d = 0$ ) deve rispettare in requisiti di Tabella 64 e Tabella 65.

Il paragrafo 1.2 (Certificati di prequalifica e relative penali) specifica le modalità di presentazione e accettazione della documentazione di qualifica.

### 5.2.2 Aggregati di recupero

Gli aggregati di recupero devono provenire dalla frantumazione di materiale inorganico precedentemente usato nelle costruzioni (UNI EN 13242).

Al fine di omogeneizzare le caratteristiche degli aggregati di recupero, è raccomandato seguire un processo di frantumazione, vagliatura e divisione dello stesso in almeno due frazioni.

Ogni frazione degli aggregati di recupero deve essere qualificata in termini di granulometria e indice di plasticità.

In particolare, l'Impresa aggiudicataria dell'appalto è tenuta a presentare alla Direzione Lavori un apposito certificato rilasciato da un laboratorio conto terzi o dal produttore, nel quale riportare il valore medio e la deviazione standard (come parametro di omogeneità) della dimensione massima, coefficiente di forma e appiattimento e della granulometria eseguita per via umida. Per la deviazione standard della granulometria si considererà il passante riferito ad ogni singolo setaccio.

Se il quantitativo di aggregati di recupero da utilizzare nell'intero progetto è inferiore a 2.500 t, i valori medi e le rispettive deviazioni standard devono essere calcolati sulla base di 5 campioni prelevati nel mucchio di origine degli aggregati di recupero (ogni singola frazione) che si intende usare. Se invece il quantitativo di aggregati di recupero da utilizzare nell'intero progetto è superiore a 2.500 t, il numero dei campioni da analizzare è pari al quantitativo totale degli aggregati di recupero da impiegare nel progetto, espresso in tonnellate, diviso 500.

Per lo strato di misto cementato con aggregati di recupero prodotto in impianto è possibile impiegare come materiale costituente gli aggregati di recupero, a patto che la dimensione massima del materiale tal quale non sia superiore alla dimensione massima di riferimento per la miscela di misto cementato da produrre. È raccomandabile vagliare il materiale per eliminare eventuali elementi di dimensioni superiori alla dimensione massima prevista per la miscela (setaccio più piccolo tra quelli che permettono il 100% di materiale passante).

Il coefficiente di forma e appiattimento dovranno essere entrambe  $< 30\%$  e il materiale deve avere indice di plasticità pari a 0 (per valori superiori a 0 e inferiori a 6 è possibile prevedere una miscela binaria).

In combinazione con gli aggregati di recupero può essere impiegato anche il conglomerato bituminoso di recupero nel rispetto delle prescrizioni precedentemente definite.

La percentuale di aggregati di recupero va obbligatoriamente dichiarata nello studio preliminare della miscela di progetto che l'Impresa aggiudicataria dell'appalto è tenuta a presentare alla Direzione Lavori.

Resta salva la facoltà della Direzione Lavori di verificare con controlli di accettazione i requisiti dichiarati dal produttore.

### 5.2.3 Cemento

Il cemento impiegato deve far parte delle seguenti tipologie:

- CEM I cemento Portland
- CEM II cemento Portland composito
- CEM III cemento d'altoforno;
- CEM IV cemento pozzolanico.

L'Impresa aggiudicataria dell'appalto è tenuta a presentare la documentazione attestante la conformità del cemento che intende impiegare secondo la UNI EN 197-1.

È raccomandato l'uso di cemento a presa rapida 32,5 R o 42,5 R. Le caratteristiche del cemento devono includere la granulometria.

Il paragrafo 1.2 (Certificati di prequalifica e relative penali) specifica le modalità di presentazione e accettazione della documentazione di qualifica.

### 5.2.4 Acqua

L'acqua impiegata deve essere esente da impurità dannose, conforme alla norma UNI EN 1008.

### 5.2.5 Miscela di progetto

Per la miscela granulare si raccomanda una composizione granulometrica contenuta nei fusi riportati in

Fuso granulometrico		
Dimensione massima [mm]	Passante totale in peso [%]	
Apertura setacci UNI [mm]	D <sub>max</sub> = 20 mm	D <sub>max</sub> = 30 mm
40	-	100
31,5	100	85 - 100
20	95 - 100	65 - 94
10	55 - 87	44 ÷ 78
4	32 - 66	-
2	23 - 54	18 - 50
0,5	11 - 31	8 - 30
0,25	8 - 23	6 - 22
0,063	3,5 - 11,0	3,0 - 11,0

Tabella 61 Tabella 66 o di seguire la distribuzione di Fuller  $P_i = 100 \cdot \left(\frac{d_i}{D}\right)^{0,45}$  dove  $P_i$  è il passante al setaccio  $i$ -esimo,  $d_i$  è il setaccio  $i$ -esimo e  $D$  è la dimensione massima. Il fuso  $D_{\max}=20$  è raccomandato per spessori tra 10 e 15 mentre il fuso  $D_{\max}=30$  per spessori tra 15 a 20 cm.

Fuso granulometrico		
Dimensione massima [mm]	Passante totale in peso [%]	
Apertura setacci UNI [mm]	D <sub>max</sub> = 20 mm	D <sub>max</sub> = 30 mm

40	-	100
31,5	100	85 - 100
20	95 - 100	65 - 94
10	55 - 87	44 ÷ 78
4	32 - 66	-
2	23 - 54	18 - 50
0,5	11 - 31	8 - 30
0,25	8 - 23	6 - 22
0,063	3,5 - 11,0	3,0 - 11,0

Tabella 66. Fuso granulometrico in funzione della dimensione massima per il misto cementato prodotto in impianto

La miscela granulare, escluso il cemento, deve avere indice CBR in condizione satura superiore a 50 (UNI EN 13286-47) e un rigonfiamento nullo. Tali valori devono essere dichiarati tra le caratteristiche della miscela.

La granulometria di progetto escluso e incluso il cemento deve essere dichiarata tra le caratteristiche della miscela.

Le percentuali ottimali di acqua e cemento sono stabilite mediante uno specifico studio in laboratorio o devono comunque verificare i requisiti richiesti in Tabella 67.

Le caratteristiche del misto cementato prodotto in impianto devono essere determinate dalla media di almeno tre campioni considerando un coefficiente di variazione  $\leq 0,15$  (deviazione standard/media).

Prima di definire la giusta combinazione di leganti, deve essere determinato il contenuto ottimale di acqua ( $w_{opt}$ ) sulla miscela granulare con il 4% in peso di cemento, secondo le indicazioni della Tabella 67. La miscela granulare (escluso il cemento) deve essere inumidita con un contenuto di acqua pari all'assorbimento degli stessi aggregati e sigillata per circa 12 ore. I provini con diverso contenuto di acqua e il 4% di cemento devono essere compattati con compattatore Proctor modificato (UNI EN 13286-2, UNI EN 13286-50) secondo i parametri di Tabella 67.

Il contenuto ottimo di acqua è quello che permette di raggiungere il valore più elevato di massa volumica secca della miscela (massa volumica secca  $\rho_d = \frac{\rho_w}{1-w}$ ).

Con il contenuto di acqua ottimo, devono essere confezionati provini con differenti quantità (percentuali riferite al peso degli inerti) di cemento, come indicato nella Tabella 67.

I provini così confezionati devono subire una maturazione in ambiente saturo a 25 °C per 7 giorni e successivamente devono essere sottoposti a prova di resistenza a trazione indiretta ( $R_{it}$ , UNI EN 13286-42, gradiente di carico: 0,05 N/mm<sup>2</sup>/s) e a compressione ( $R_c$ , UNI EN 13286-41, gradiente di carico: 1 N/mm<sup>2</sup>/s). Tali provini devono fornire:

- resistenza a trazione indiretta  $R_{it} \geq 0,30$  N/mm<sup>2</sup> (provini su fustella Proctor)
- resistenza a compressione  $R_c = 3,0 \div 5,0$  N/mm<sup>2</sup> (provini su fustella CBR senza disco spaziatore).

Sulla miscela ottima si deve determinare la massa volumica secca  $\rho_d$  che costituirà il riferimento per il controllo della densità in sito.

Condizioni di compattazione			
Parametro	Unità di misura	Normativa di riferimento	Valori richiesti
Energia Proctor	[MJ/m <sup>3</sup> ]	UNI EN 13286-2	2,7 (modificata)
Diametro della fustella	[mm]	UNI EN 13286-2	150 (ben lubrificata)
Strati	[n]	UNI EN 13286-2	5
Altezza	[mm]	UNI EN 13286-2	120 (ottimo di acqua e R <sub>it</sub> ) 180 fustella CBR (R <sub>c</sub> )
Colpi per strato	[n]	UNI EN 13286-2	56 (ottimo di acqua e R <sub>it</sub> ) 85 (R <sub>c</sub> )
Studio del contenuto ottimo di acqua			
Contenuto di cemento	[% su peso inerti]	4	Densità secca massima $\rho_{d,max}$
Contenuto di acqua	[% su peso inerti]	4, 5, 6 e 7*	
Studio del contenuto ottimo di cemento			
Contenuto di acqua	[% su peso inerti]	ottimo	$R_{it} \geq 0,30 \text{ N/mm}^2$ ;
Contenuto di cemento	[% su peso inerti]	3, 4, 5	$R_c = 3,0 \div 5,0 \text{ N/mm}^2$

\*se necessario l'intervallo può essere variato al fine di determinare il contenuto ottimo di acqua in corrispondenza del valore massimo di densità secca dal grafico  $\rho_d$ -w a "campana"

Tabella 67. Caratteristiche della miscela di progetto per il misto cementato prodotto in impianto

Il possesso dei requisiti elencati in Tabella 67 è verificato dalla Direzione Lavori in base ai valori riportati su certificati di prova attestanti i requisiti stabiliti rilasciati da un laboratorio conto terzi o dal produttore.

Il produttore deve inoltre dichiarare in apposito certificato rilasciato da un laboratorio conto terzi o dal produttore la ricetta, la granulometria della miscela ottima (sia includendo che escludendo il cemento), il contenuto di cemento e il contenuto di acqua ottimo.

Una volta accettato il prodotto da parte della Direzione Lavori, l'Impresa è vincolata al monitoraggio della granulometria tale quale (prelievo su nastro pre-impasto), della granulometria del prodotto e del contenuto d'acqua (UNI CEN ISO/TS 17892-1:2005) durante la produzione secondo le frequenze riportate nel paragrafo Controlli e ad aggiustare opportunamente la produzione in caso di variazioni significative.

Nel caso di impiego di conglomerato bituminoso di recupero oltre il 20% si devono prevedere le analoghe verifiche anche post-estrazione.

I rapporti di prova della granulometria della miscela granulare o del prodotto e del contenuto d'acqua, rilasciati da un laboratorio conto terzi o dal produttore, devono essere consegnati settimanalmente alla Direzione Lavori.

Nel caso in cui non sia comprovata l'esperienza del produttore per tale miscela, la Direzione Lavori si riserva la possibilità di richiedere una verifica in campo prova esterno al cantiere di progetto.

Il paragrafo 1.2 (Certificati di prequalifica e relative penali) specifica le modalità di presentazione e accettazione della documentazione di qualifica.

Per progetti con produzione superiore a 4.000 tonnellate, l'impresa aggiudicataria dell'appalto deve consegnare settimanalmente alla Direzione Lavori i rapporti di prova, riferiti al prodotto finale, di granulometria e contenuto di acqua eseguiti ogni 1.000 tonnellate di produzione che potranno essere rilasciati da un laboratorio conto terzi o dal produttore.

## 5.2.6 Produzione della miscela

Il misto cementato è confezionato mediante impianti fissi o mobili (installabili anche in cantiere) automatizzati, di idonee caratteristiche, mantenuti sempre perfettamente funzionanti in ogni loro parte.

La produzione dell'impianto non deve essere spinta oltre la sua potenzialità, per garantire l'omogeneità della miscela.

L'impianto deve garantire uniformità di produzione ed essere in grado di realizzare una miscela rispondente alle caratteristiche dichiarate di progetto.

La zona destinata allo stoccaggio degli inerti deve essere preventivamente e convenientemente scelta per evitare la contaminazione da sostanze argillose e ristagni di acqua che possono compromettere la pulizia degli aggregati. Inoltre, i cumuli delle diverse classi devono essere separati tra di loro e l'operazione di rifornimento nei predosatori eseguita con la massima cura.

Non è consentito il mescolamento di cementi diversi per tipo, classe di resistenza o provenienza. Il cemento e le aggiunte dovranno essere adeguatamente protetti dall'umidità atmosferica e dalle impurità.

## 5.2.7 Preparazione della superficie di stesa

La stesa del misto cementato avviene solo dopo che sia stata accertata dalla Direzione Lavori la rispondenza del piano di posa ai requisiti di quota, sagoma, densità e portanza indicati in progetto. Il piano di posa deve risultare perfettamente pulito e privo di ogni residuo di qualsiasi natura.

Ogni depressione o avvallamento presente sul piano di posa deve essere corretta prima della stesa. Prima della stesa è inoltre necessario verificare che il piano di posa sia sufficientemente umido e, se necessario, provvedere alla umidificazione della superficie.

Prima della realizzazione dello strato è necessario preparare la superficie di stesa allo scopo di garantire una adeguata adesione all'interfaccia mediante l'applicazione di una emulsione bituminosa aventi caratteristiche specifiche (UNI EN 13808, UNI/TR 11362) per impregnazione così come dettagliato nel paragrafo 9.1.

## 5.2.8 Posa in opera della miscela

La posa in opera del misto cementato è effettuata a mezzo di macchine vibrofinitrici dei tipi approvati dalla Direzione Lavori in perfetto stato di efficienza e dotate di automatismi di autolivellamento.

La Direzione Lavori si riserva la facoltà di poter far variare la tecnologia ritenuta non opportuna.

Le vibrofinitrici non devono mai operare a velocità di stesa superiori a 5 m/min e dovranno comunque lasciare uno strato finito perfettamente sagomato, privo di sgranamenti, fessurazioni, esente da difetti dovuti a segregazione degli elementi litoidi più grossi.

Durante la stesa si deve porre la massima cura alla formazione dei giunti longitudinali e trasversali.

Nel caso di costruzione di due strisciate adiacenti, il giunto longitudinale è preferibilmente ottenuto mediante tempestivo affiancamento di una strisciata alla precedente o con l'impiego di due vibrofinitrici. Qualora ciò non sia possibile, se il bordo risulta danneggiato o arrotondato si deve procedere al taglio verticale (rettifica) con idonea attrezzatura e ad una successiva spruzzatura di emulsione bituminosa per assicurare la saldatura

delle due strisce. Nel caso in cui il nuovo strato sia in adiacenza ad uno strato esistente, prima della stesa si deve provvedere alla rettifica del bordo dello strato esistente e alla spruzzatura con emulsione bituminosa per assicurare la saldatura della nuova striscia all'esistente.

Il giunto trasversale, di inizio o fine produzione giornaliera o inizio o fine sezione, deve essere realizzato tramite taglio verticale (rettifica) con idonea attrezzatura e ad una successiva spruzzatura di emulsione bituminosa.

La sovrapposizione dei giunti tra i vari strati sovrapposti è programmata e realizzata in maniera che essi risultino tra loro sfalsati di almeno 20 cm e non cadano mai in corrispondenza delle due fasce della corsia di marcia normalmente interessata dalla traccia dai veicoli.

Il trasporto del misto cementato dall'impianto di confezionamento al cantiere di stesa deve avvenire mediante mezzi di trasporto di adeguata portata, efficienti e veloci, sempre dotati di telone di copertura per evitare una eccessiva essicazione del prodotto.

La stesa del misto cementato deve avvenire entro un'ora dalla produzione, o in funzione della presa dello specifico cemento usato, in maniera continua e senza interruzioni fino a completo esaurimento del materiale trasportato, evitando problemi causati dalla possibile essicazione del materiale o presa del cemento. La stesa del misto cementato deve essere sospesa quando le condizioni meteorologiche generali possono pregiudicare la perfetta riuscita del lavoro. Gli strati eventualmente compromessi dovranno essere immediatamente rimossi e successivamente ricostruiti a spese dell'impresa.

La compattazione del misto cementato deve iniziare appena steso dalla vibrofinitrice e condotta a termine senza interruzioni.

L'addensamento deve essere realizzato con un rullo monotambuto vibrante di almeno 14 tonnellate seguito da un rullo gommato con almeno cinque ruote e peso di almeno 18 tonnellate. Il rullo gommato deve operare in continuità.

A chiudere la fase di compattazione, il rullo tandem provvede all'eventuale finitura in modalità statica. I rulli in fase di compattazione non dovranno mai procedere con velocità superiori a 5 km/h.

La compattazione deve essere condotta con la metodologia più adeguata a ottenere uniforme addensamento in ogni punto ed evitare fessurazioni e scorrimenti nello strato appena steso.

Nel caso di doppi strati, la sovrapposizione deve avvenire nel minor tempo possibile.

Ultimato il costipamento, lo strato deve essere immediatamente protetto con una impregnazione di emulsione bituminosa lenta in ragione di 1,00 kg/m<sup>2</sup> di bitume residuo e successivo spargimento di sabbia o filler o graniglia (come previsto nei rispettivi articoli di capitolato riferiti ad usura o binder).

Le operazioni devono essere sospese con temperatura dell'aria inferiore ai 15°C e comunque quando le condizioni meteorologiche generali possono pregiudicare la perfetta riuscita del lavoro.

Eventuali principi di sgranature o aree con affioramento superficiale di aggregati grossi indice di segregazione della miscela, specialmente nei pressi delle zone di partenza o fermata della vibrofinitrice o attigue a pozzetti o aree soggette a lavorazioni a mano, devono essere rese saldamente coese con sigillatura, anche manuale, con emulsione bituminosa e filler o sabbia.

## 5.2.9 Controlli

Il controllo della qualità del misto cementato è effettuato mediante prove di laboratorio sui materiali costituenti, sulla miscela, sulle carote estratte dalla pavimentazione e sulla superficie dello strato per verificarne le caratteristiche di accettabilità. La Tabella 68 mostra il tipo di campione, l'ubicazione e la frequenza del controllo e i requisiti da rispettare durante tutto il processo.

Controllo dei materiali e verifiche prestazionali			
Tipo di campione	Ubicazione del controllo	Frequenza del controllo	Requisiti
Aggregato grosso	Impianto	Inizio cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	Caratteristiche
Aggregato fine	Impianto	Inizio cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	Caratteristiche
Cemento	Impianto	Inizio cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	Caratteristiche
Miscela granulare	Impianto	Giornaliera o ogni 5000 m <sup>2</sup> di stesa o a discrezione della Direzione Lavori	Granulometria e contenuto di acqua naturale
Misto cementato sfuso	Vibrofinitrice	Giornaliera o ogni 5000 m <sup>2</sup> di stesa o a discrezione della Direzione Lavori	Contenuto di acqua, contenuto di cemento, granulometria, densità secca e proprietà meccaniche
Superficie della pavimentazione	Pavimentazione	Ogni 250 m di stesa cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	Densità secca, spessore
Superficie della pavimentazione	Pavimentazione	Ogni 250 m di stesa cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	$M_d \geq 100 \text{ N/mm}^2$ a $18\pm6$ ore $E_{LWD} \geq 60 \text{ MPa}$ dopo compattazione $E_{LWD} \geq 120 \text{ MPa}$ a $18\pm6$ ore Scostamento ( $\Delta \leq 5 \text{ mm}$ )

Tabella 68. Controlli da eseguire per il misto cementato in impianto

Ogni prelievo deve essere costituito da due campioni:

- uno utilizzato per i controlli presso un laboratorio conto terzi selezionato dalla Direzione Lavori;
- uno a disposizione dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto.

Per ogni campione di misto cementato sfuso vengono determinate: il contenuto di acqua, la granulometria della miscela (compreso il cemento). Con lo stesso materiale devono essere compattati tre provini (entro due ore dalla produzione o in funzione della presa dello specifico cemento usato) con compattatore Proctor modificato per la verifica dei valori di densità secca,  $R_{it}$  e  $R_c$ .

Lo spessore dello strato viene determinato per differenza tra quota di posa e di superficie.

A discrezione della Direzione Lavori, in alternativa, per la verifica della densità secca, possono essere eseguite verifiche di densità con il metodo del volumometro a sabbia (CNR 22: 1992) subito dopo la stesa.

La portanza dello strato potrà essere verificata a discrezione della Direzione Lavori con prove di piastra statica (CNR 146/1992) o piastra dinamica (ASTM E2583 – 07).

L'Impresa aggiudicataria dell'appalto deve consegnare settimanalmente alla Direzione Lavori i rapporti di prova della granulometria della miscela granulare (o del prodotto) e del contenuto d'acqua naturale che potranno essere rilasciati da un laboratorio conto terzi o dal produttore.

Le eventuali irregolarità superficiali devono essere misurate in direzione longitudinale e trasversale tramite un regolo di 3 m (UN EN 13036-7).

Per progetti con produzione superiore a 4.000 tonnellate, l'Impresa aggiudicataria dell'appalto deve consegnare settimanalmente alla Direzione Lavori i rapporti di prova, riferiti al prodotto finale, di granulometria, contenuto di acqua e granulometria della miscela (incluso il cemento) eseguiti ogni 1.000 tonnellate di produzione che potranno essere rilasciati da un laboratorio conto terzi o dal produttore.

I controlli riferiti alla pavimentazione (spessore, densità e regolarità) non sono effettuati nel caso in cui il misto cementato sia steso per riprofilatura o su una superficie non regolarizzata con fresa o motorgrader.

I controlli saranno effettuati per produzioni giornaliere superiori a 30 tonnellate.

## 5.2.10 Penali

Le detrazioni di seguito descritte sono applicate in punti percentuali sul prezzo di aggiudicazione lavori del misto cementato (preparazione, materiale e stesa).

Per i materiali costituenti, le caratteristiche composite, volumetriche e meccaniche della miscela, la Direzione Lavori valuta l'accettabilità del misto cementato e le eventuali penali da applicare fino alla rimozione e ripristino a spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto.

La curva granulometrica e il contenuto di cemento, in riferimento alla ricetta (prodotto accettato dalla Direzione Lavori), deve rispettare le seguenti tolleranze:

- granulometria: per dimensione superiore o uguale a 4 mm si applica una tolleranza di  $\pm 5$  punti percentuali;
- granulometria: per dimensioni comprese tra 4 e 0,063 mm si applica una tolleranza di  $\pm 3$  punti percentuali;
- granulometria: al passante al setaccio 0,063 mm si applica una tolleranza di  $\pm 1,5$  punti percentuali;
- contenuto di cemento: si applica una tolleranza del  $\pm 5\%$  rispetto al valore dichiarato per la miscela di progetto.

Nel caso di non conformità la Direzione Lavori può richiedere, in funzione del contesto, il rifacimento dello strato, opere di ripristino a spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto o l'applicazione di una detrazione del 10% sul prezzo di aggiudicazione lavori della lavorazione per lo strato interessato. La superficie di riferimento è calcolata considerando la lunghezza compresa tra la metà della distanza dalla misurazione precedente e la metà della distanza dalla misurazione successiva (oppure considerando la lunghezza del tronco omogeneo) moltiplicato per la larghezza dell'intervento.

A discrezione della Direzione Lavori, il non rispetto delle caratteristiche meccaniche di laboratorio comporta la rimozione dello strato o l'applicazione di una detrazione del 10% sul prezzo di aggiudicazione della lavorazione per lo strato interessato. La superficie di riferimento è calcolata considerando la lunghezza compresa tra la metà della distanza dalla misurazione precedente e la metà della distanza dalla misurazione successiva (oppure considerando la lunghezza del tronco omogeneo) moltiplicato per la larghezza dell'intervento.

Nell'ambito di progetti con produzione superiore a 4.000 tonnellate, la non consegna settimanale da parte dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto dei rapporti di prova settimanali, riferiti al prodotto finito, di granulometria della miscela e del contenuto di acqua, eseguiti ogni 1.000 tonnellate di produzione rilasciati da un laboratorio conto terzi o dal produttore comporta il rifiuto del materiale.

Per lo spessore dello strato, determinato da differenza di quota o carotaggio, è tollerata una carenza massima del 10 % rispetto allo spessore di progetto. Per carenze superiori al 10 %, è applicata una detrazione percentuale pari a:

$$\text{Detrazione percentuale per carenza di spessore} = 3 \times (c - 10)$$

dove  $c$  rappresenta la carenza di spessore rispetto al valore di progetto espresso in percentuale. Per esempio, se la differenza è del 13 % rispetto al valore di progetto, la penale è del  $(13 - 10) \cdot 3 = 9\%$ . Se la differenza supera il 25 % (in diminuzione), la Direzione Lavori può richiedere il rifacimento dello strato a completa cura e spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto (per esempio, se lo spessore di progetto è pari a 10 cm, al di sotto 7,5 cm è richiesto il rifacimento). In alternativa alla rimozione e ricostruzione, la Direzione Lavori può autorizzare la stesa di uno strato di conguaglio (previa fresatura di attacco) di spessore tale da consentire il raggiungimento lo spessore totale atteso. Nel rispetto delle quote finali di progetto, la Direzione Lavori valuta la possibilità di una fresatura parziale per aver modo di stendere lo strato di conguaglio nel rispetto dello spessore minimo. Quando possibile, il conguaglio può essere realizzato incrementando lo spessore del sovrastante strato di binder o usura purché questo non determini difficoltà di stesa e compattazione a causa di spessore eccessivo (mai superiore rispettivamente a 12 o 6 cm). La superficie a cui applicare la detrazione è calcolata considerando la lunghezza compresa tra la metà della distanza dalla carota precedente e la metà della distanza dalla carota successiva (oppure considerando la lunghezza del tronco omogeneo) moltiplicato per la larghezza dell'intervento.

A compattazione ultimata la densità secca in situ (con volumometro o prelievo di carote), non deve essere inferiore al valore di riferimento misurato in laboratorio  $\rho_{d,max}$  misurato in laboratorio sulla miscela di progetto costipata con compattatore Proctor modificato e dichiarato prima dell'inizio dei lavori. Nel caso di non conformità la Direzione Lavori può richiedere, in funzione del contesto, il rifacimento dello strato, opere di ripristino a spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto o l'applicazione di una detrazione del 10% sul prezzo di aggiudicazione della lavorazione per lo strato interessato. La superficie di riferimento è calcolata considerando la lunghezza compresa tra la metà della distanza dalla misurazione precedente e la metà della distanza dalla misurazione successiva (oppure considerando la lunghezza del tronco omogeneo) moltiplicato per la larghezza dell'intervento.

Il modulo dinamico  $E_{LWD}$  e il modulo di deformazione  $M_d$  non devono essere inferiore a quanto richiesto nel 90% dei punti analizzati all'interno del tronco omogeneo. Nel caso di non conformità la Direzione Lavori può richiedere, in funzione del contesto, il rifacimento dello strato, opere di ripristino a spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto o l'applicazione di una detrazione del 10% sul prezzo di aggiudicazione della lavorazione per lo strato interessato. La superficie di riferimento è calcolata considerando la lunghezza compresa tra la metà della distanza dalla misurazione precedente e la metà della distanza dalla misurazione successiva (oppure considerando la lunghezza del tronco omogeneo) moltiplicato per la larghezza dell'intervento.

La superficie dello strato deve presentarsi priva di irregolarità ed ondulazioni. È tollerato uno scostamento massimo di 5 mm al di sopra del quale la Direzione Lavori può richiedere, in funzione del contesto, il rifacimento dello strato, opere di ripristino a spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto o l'applicazione di una detrazione del 10% sul prezzo di aggiudicazione della lavorazione per lo strato interessato. La superficie di riferimento è calcolata considerando la lunghezza compresa tra la metà della distanza dalla misurazione precedente e la metà della distanza dalla misurazione successiva (oppure considerando la lunghezza del tronco omogeneo) moltiplicato per la larghezza dell'intervento.



Capitolato Speciale d'Appalto per la Manutenzione  
Straordinaria di Pavimentazioni Stradali  
Versione 23-10-2022

GEAT s.r.l.

Sede legale:

Viale Lombardia 17 – 47838 Riccione (RN)

tel.: 0541/668011 - fax: 0541/643613

PEC: geat@legal-pec.it - www.geat.it

Salvo casi particolari che andranno giudicati dalla Direzione Lavori, le penali precedentemente indicate sono cumulabili.

## 5.3 Terra o materiali stabilizzati in situ con cemento o calce e cemento

**Elenco prezzi: fino a 3% di legante NV 16; per ogni punto percentuale in più di legante NV 17.**

La stabilizzazione in situ con cemento o calce e cemento consiste nella miscelazione, tramite idonee macchine stabilizzatrici o riciclatrici, di cemento o calce e cemento alla terra o materiali che costituiscono la fondazione esistente ed eventualmente anche parte del sottostante sottofondo o del conglomerato bituminoso della pavimentazione.

La lavorazione può essere realizzata direttamente sullo strato (o sugli strati) esistente, oppure su terre precedentemente rimosse o materiali precedentemente fresati o frantumati, poi riportati sul piano di posa per realizzare la nuova fondazione (stabilizzata).

Tra i materiali di riporto possono essere previsti aggregati vergini, riciclati (incluso conglomerato bituminoso di recupero) qualificati secondo la UNI EN 13242, terre e aggregati non legati classificati secondo la UNI 11531-1. La miscela riciclata da riportare deve essere qualificata in conformità al regolamento UE 305/2011 sui prodotti da costruzione, classificata secondo la UNI EN 933-11 (Prova di classificazione per i costituenti degli aggregati grossi riciclati), test di cessione di cui all'All. 3 D.M. 05/02/1998 App. A UNI 10802/2004 e caratterizzazione del rifiuto per attribuzione del codice CER (classificazione e recupero ai sensi del D.L gs 152/06, Reg 1357/2014/UE, Regolamento (UE) 2016/1179, Regolamento (UE) 2017/997 Decisione 2015/955/U.E., D.M. 05/02/1998). Il progettista può stabilire in funzione della specificità del progetto limitazioni ai singoli costituenti, tra cui Ra, Rb, Rg, X e FL (conglomerato bituminoso di recupero, laterizi, silicato di calcio, vetro, materiali coesivi, legno, plastica ecc.).

Una volta accettato il materiale da parte della Direzione Lavori, l'Impresa aggiudicataria dell'appalto, è vincolata al rigoroso utilizzo di tutte le sue componenti nel rispetto delle tolleranze riportate nel paragrafo Penali.

### 5.3.1 Cemento

Il cemento impiegato deve far parte delle seguenti tipologie:

- CEM I cemento Portland
- CEM II cemento Portland composito
- CEM III cemento d'altoforno;
- CEM IV cemento pozzolanico.

L'Impresa aggiudicataria dell'appalto è tenuta a presentare la documentazione attestante la conformità del cemento che intende impiegare secondo la UNI EN 197-1. È raccomandato l'uso di cemento a presa rapida 32,5 R o 42,5 R. Le caratteristiche del cemento devono includere la granulometria.

Il paragrafo 1.2 (Certificati di prequalifica e relative penali) specifica le modalità di presentazione e accettazione della documentazione di qualifica.

### 5.3.2 Calce

Nel caso in cui la terra o materiale da stabilizzare presenti un indice plastico IP > 10 deve essere preso in considerazione anche l'uso della calce.

È raccomandato l'uso di calce idrata, in polvere o in soluzione acquosa, conforme alla classe CL 90-S e tempo di reattività inferiore a 8 minuti. Non è consentito l'impiego di calce con contenuto di ossido di magnesio MgO ≥ 5%, al fine di evitare rischi di rigonfiamento per idratazione ritardata.

L'Impresa aggiudicataria dell'appalto è tenuta a presentare la documentazione attestante la conformità della calce che intende impiegare secondo la UNI EN 459-1.

Il paragrafo 1.2 (Certificati di prequalifica e relative penali) specifica le modalità di presentazione e accettazione della documentazione di qualifica.

Le caratteristiche della calce devono includere la granulometria.

### 5.3.3 Acqua

L'acqua impiegata deve essere esente da impurità dannose, conforme alla norma UNI EN 1008.

### 5.3.4 Miscela di progetto

Per la miscela granulare, inclusi i legnati, si raccomanda una distribuzione granulometrica ben gradata tale da seguire la distribuzione di Fuller  $P_i = 100 \cdot \left(\frac{d_i}{D}\right)^{0,45}$  dove  $P_i$  è il passante al setaccio i-esimo, di è il setaccio i-esimo e D è la dimensione massima.

L'indagine di laboratorio deve coinvolgere il materiale prelevato in situ ritenuto rappresentativo della tratta. All'interno della tratta è raccomandato eseguire un prelievo ogni 250 m per corsia. Nel caso in cui il materiale non fosse omogeneo, per ogni tipologia di materiale deve essere eseguito un apposito studio di mix design. Noto che il materiale in situ è soggetto all'azione disgregante della macchina riciclatrice, è raccomandata la realizzazione di un campo prova per il prelievo dei materiali, taratura delle procedure di cantiere e validazione di campo.

Le percentuali ottimali di acqua, calce e cemento sono stabilite mediante uno specifico studio in laboratorio o devono comunque verificare i requisiti richiesti in Tabella 69.

Le caratteristiche della miscela devono essere determinate dalla media di almeno tre campioni considerando un coefficiente di variazione ≤ 0,15 (deviazione standard/media).

Prima di definire la giusta combinazione di leganti, la miscela granulare (esclusi i leganti) deve essere inumidita con un contenuto di acqua pari all'assorbimento degli stessi aggregati e sigillata per circa 12 ore. I provini con diverso contenuto di acqua e di legante devono essere compattati con compattatore Proctor modificato (UNI EN 13286-2, UNI EN 13286-50) secondo i parametri di Tabella 69.

I provini così confezionati devono subire una maturazione in ambiente saturo a 25 °C per 7 giorni e successivamente devono essere sottoposti a prova di resistenza a trazione indiretta ( $R_{it}$ , UNI EN 13286-42, gradiente di carico: 0,05 N/mm<sup>2</sup>/s) e a compressione ( $R_c$ , UNI EN 13286-41, gradiente di carico: 1 N/mm<sup>2</sup>/s). Tali provini devono fornire:

- resistenza a trazione indiretta  $R_{it} \geq 0,30$  N/mm<sup>2</sup> (provini su fustella Proctor)
- resistenza a compressione  $R_c = 3,0 \div 5,0$  N/mm<sup>2</sup> (provini su fustella CBR senza disco spaziatore).

Sulla miscela ottima si deve determinare la massa volumica secca  $\rho_d$  che costituirà il riferimento per il controllo della densità in situ e l'indice di plasticità deve essere nullo.

La granulometria di progetto, con e senza leganti, deve essere dichiarata tra le caratteristiche della miscela.

Condizioni di compattazione			
Parametro	Unità di misura	Normativa di riferimento	Valori richiesti
Energia Proctor	[MJ/m <sup>3</sup> ]	UNI EN 13286-2	2,7 (modificata)
Diametro della fustella	[mm]	UNI EN 13286-2	150 (ben lubrificata)
Strati	[n]	UNI EN 13286-2	5
Altezza	[mm]	UNI EN 13286-2	120 (ottimo di acqua e $R_{lt}$ ) 180 fustella CBR ( $R_c$ )
Colpi per strato	[n]	UNI EN 13286-2	56 (ottimo di acqua e $R_{lt}$ ) 85 ( $R_c$ )
Studio del contenuto ottimo di acqua			
Studio del contenuto ottimo di cemento			
Contenuto di acqua	[% su peso inerti]	4, 6 e 8*	$R_{lt} \geq 0,30 \text{ N/mm}^2$ ; $R_c = 3,0 \div 5,0 \text{ N/mm}^2$
Contenuto di calce	[% su peso inerti]	1, 2, 3	
Contenuto di cemento	[% su peso inerti]	3, 4, 5	

\*se necessario l'intervallo può essere variato al fine di determinare il contenuto ottimo di acqua in corrispondenza del valore massimo di densità secca dal grafico  $\rho_d-w$  a "campana"

Tabella 69. Caratteristiche di progetto della miscela stabilizzata in situ

Il possesso dei requisiti elencati in Tabella 69 è verificato dalla Direzione Lavori in base ai valori riportati su certificati di prova attestanti i requisiti stabiliti rilasciati da un laboratorio conto terzi o dal produttore.

Il produttore deve inoltre dichiarare in apposito certificato rilasciato da un laboratorio conto terzi o dal produttore la ricetta, la granulometria della miscela ottima (sia includendo che escludendo i leganti), il contenuto di leganti e il contenuto di acqua ottimo.

Nel caso di impiego di conglomerato bituminoso di recupero oltre il 20% si devono prevedere le analoghe verifiche anche post-estrazione.

Nel caso in cui non sia comprovata l'esperienza del produttore per tale miscela, la Direzione Lavori si riserva la possibilità di richiedere una verifica in campo prova esterno al cantiere di progetto.

Il paragrafo 1.2 (Certificati di prequalifica e relative penali) specifica le modalità di presentazione e accettazione della documentazione di qualifica.

### 5.3.5 Posa in opera

Una volta accettato il prodotto da parte della Direzione Lavori, l'Impresa è vincolata al monitoraggio della granulometria del materiale da stabilizzare in situ e del contenuto d'acqua (UNI CEN ISO/TS 17892-1:2005) tramite saggi e prelievi preliminari. In caso di variazioni significative la produzione deve essere opportunamente aggiustata al fine di non pregiudicare i parametri prestazionali caratterizzanti.

La stabilizzazione della terra o del materiale presente in situ può richiedere una prima fase preparatoria di sminuzzamento dello strato esistente tramite una o più passate della macchina stabilizzatrice fino alla riduzione del materiale allo stato granulare.

Quando lo strato esistente è formato da terra o materiale non plastico, il cemento deve essere steso sopra il materiale preparato tramite una spandicamento equipaggiata di dosatore volumetrico. Successivamente il

legante e lo strato di materiale preparato devono essere mescolati, tramite uno o più passaggi della macchina stabilizzatrice (fino a perfetta uniformità), aggiungendo eventuale acqua per il raggiungimento del contenuto ottimo di umidità.

Dopo la mescolazione avrà immediatamente inizio la fase di compattazione con due rulli: un rullo monocilindro da almeno 14 tonnellate e un rullo gommato da almeno 18 t. Raggiunta la densità di progetto, si provvede alla messa in quota dell'estradosso dello strato e alla creazione delle pendenze tramite una livellatrice. Il materiale in eccesso deve essere immediatamente allontanato dal cantiere.

A protezione dello strato deve essere sempre prevista una mano di impregnazione con emulsione bituminosa in funzione delle prescrizioni indicate per lo strato superiore. È raccomandato uno spessore dello strato compreso tra 20 e 40 cm.

Nel caso in cui la terra o i materiali da stabilizzare presentino un indice di plasticità IP > 6, per esempio a causa dell'inglobamento di parte del sottofondo o della contaminazione da argilla della vecchia fondazione o presenza di frazione plastica dei materiali di aggiunta) prima della miscelazione con cemento è necessario il trattamento con calce secondo la medesima procedura (sminuzzamento, stesa della calce e mescolazione). Dopo almeno due ore dal trattamento a calce, è possibile proseguire con l'aggiunta di cemento. A discrezione del progettista e in funzione del contesto può essere prevista la stabilizzazione binaria simultanea.

Se l'operazione coinvolge materiali di riporto, essi devono essere scaricati in sommità del piano di posa, livellati in quota (di strato soffice) e secondo le pendenze per poi seguire le procedure precedentemente esposte.

La lavorazione non può essere eseguita in condizioni ambientali e atmosferiche avverse quali pioggia o temperatura ambiente non comprese tra 10°C e 35°C.

### 5.3.6 Controlli

Il controllo della qualità della miscela stabilizzata in situ è effettuato mediante prove di laboratorio sui materiali costituenti, sulla miscela e sulla superficie dello strato per verificarne le caratteristiche di accettabilità. La Tabella 70 mostra il tipo di campione, l'ubicazione e la frequenza del controllo e i requisiti da rispettare durante tutto il processo.

Controllo dei materiali e verifiche prestazionali			
Tipo di campione	Ubicazione del controllo	Frequenza del controllo	Requisiti
Miscela granulare senza leganti	In situ	Giornaliera o ogni 1.000 m <sup>2</sup> di stesa o a discrezione della Direzione Lavori	Tipo, granulometria, indice plastico e contenuto di acqua naturale
Miscela granulare con leganti	In situ	Giornaliera o ogni 1.000 m <sup>2</sup> di stesa o a discrezione della Direzione Lavori	Contenuto di acqua, contenuto di cemento e calce, granulometria, densità secca e proprietà meccaniche
Superficie della pavimentazione	Pavimentazione	Ogni 250 m di stesa cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	Densità secca, spessore
Superficie della pavimentazione	Pavimentazione	Ogni 250 m di stesa cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	$M_d \geq 100 \text{ N/mm}^2$ a $18 \pm 6$ ore $E_{LWD} \geq 60 \text{ MPa}$ dopo compattazione $E_{LWD} \geq 120 \text{ MPa}$ a $18 \pm 6$ ore Scostamento ( $\Delta \leq 5 \text{ mm}$ )

Tabella 70. Controlli da eseguire per la miscela stabilizzata in situ

Ogni prelievo deve essere costituito da due campioni:

- uno utilizzato per i controlli presso un laboratorio conto terzi selezionato dalla Direzione Lavori;
- uno a disposizione dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto.

Per ogni campione di miscela stabilizzata in situ sfusa vengono determinate: il contenuto di acqua, la granulometria della miscela (compresi i leganti). Con lo stesso materiale devono essere compattati tre provini (entro due ore dalla produzione o in funzione della presa dello specifico cemento usato) con compattatore Proctor modificato per la verifica dei valori di densità secca,  $R_{it}$  e  $R_c$ .

Lo spessore dello strato viene determinato per differenza tra quota di posa e di superficie.

A discrezione della Direzione Lavori, per la verifica della densità secca, possono essere eseguite verifiche di densità con il metodo del volumometro a sabbia (CNR 22: 1992) subito dopo la stesa.

La portanza dello strato potrà essere verificata a discrezione della Direzione Lavori con prove di piastra statica (CNR 146/1992) o piastra dinamica (ASTM E2583 – 07).

Le eventuali irregolarità superficiali devono essere misurate in direzione longitudinale e trasversale tramite un regolo di 3 m (UN EN 13036-7).

I controlli saranno effettuati per produzioni giornaliere superiori a 1.000 m<sup>2</sup>.

### 5.3.7 Penali

Le detrazioni di seguito descritte sono applicate in punti percentuali sul prezzo di aggiudicazione lavori della miscela stabilizzata in situ (preparazione, materiale e stesa).

Per i materiali costituenti, le caratteristiche composite, volumetriche e meccaniche della miscela, la Direzione Lavori valuta l'accettabilità e le eventuali penali da applicare fino alla rimozione e ripristino a spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto.

La curva granulometrica di eventuali materiali di apporto e il contenuto dei leganti, in riferimento alla ricetta (prodotto accettato dalla Direzione Lavori), deve rispettare le seguenti tolleranze:

- granulometria: per dimensione superiore o uguale a 4 mm si applica una tolleranza di  $\pm 5$  punti percentuali;
- granulometria: per dimensioni comprese tra 4 e 0,063 mm si applica una tolleranza di  $\pm 5$  punti percentuali;
- granulometria: al passante al setaccio 0,063 mm si applica una tolleranza di  $\pm 1,5$  punti percentuali;
- contenuto di leganti: si applica una tolleranza del  $\pm 5\%$  rispetto al valore dichiarato per la miscela di progetto.

Nel caso di non conformità la Direzione Lavori può richiedere, in funzione del contesto, il rifacimento dello strato, opere di ripristino a spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto o l'applicazione di una detrazione del 10% sul prezzo di aggiudicazione lavori della lavorazione per lo strato interessato. La superficie di riferimento è calcolata considerando la lunghezza compresa tra la metà della distanza dalla misurazione precedente e la metà della distanza dalla misurazione successiva (oppure considerando la lunghezza del tronco omogeneo) moltiplicato per la larghezza dell'intervento.

A discrezione della Direzione Lavori, il non rispetto delle caratteristiche meccaniche di laboratorio comporta la rimozione dello strato o l'applicazione di una detrazione del 10% sul prezzo di aggiudicazione della lavorazione per lo strato interessato. La superficie di riferimento è calcolata considerando la lunghezza

compresa tra la metà della distanza dalla misurazione precedente e la metà della distanza dalla misurazione successiva (oppure considerando la lunghezza del tronco omogeneo) moltiplicato per la larghezza dell'intervento.

Per lo spessore dello strato, determinato da differenza di quota o carotaggio, è tollerata una carenza massima del 10 % rispetto allo spessore di progetto. Per carenze superiori al 10 %, è applicata una detrazione percentuale pari a:

$$\text{Detrazione percentuale per carenza di spessore} = 3 \times (c - 10)$$

dove c rappresenta la carenza di spessore rispetto al valore di progetto espressa in percentuale. Per esempio, se la differenza è del 13 % rispetto al valore di progetto, la penale è del  $(13 - 10) \cdot 3 = 9\%$ . Se la differenza supera il 25 % (in diminuzione), la Direzione Lavori può richiedere il rifacimento dello strato a completa cura e spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto (per esempio, se lo spessore di progetto è pari a 10 cm, al di sotto 7,5 cm è richiesto il rifacimento). In alternativa alla rimozione e ricostruzione, la Direzione Lavori può autorizzare la stesa di uno strato di conguaglio (previa fresatura di attacco) di spessore tale da consentire il raggiungimento lo spessore totale atteso. Nel rispetto delle quote finali di progetto, la Direzione Lavori valuta la possibilità di una fresatura parziale per aver modo di stendere lo strato di conguaglio nel rispetto del suo spessore minimo. Quando possibile, il conguaglio può essere realizzato incrementando lo spessore del sovrastante strato di binder o usura purché questo non determini difficoltà di stesa e compattazione a causa di spessore eccessivo (mai superiore rispettivamente a 12 o 6 cm). La superficie a cui applicare la detrazione è calcolata considerando la lunghezza compresa tra la metà della distanza dalla carota precedente e la metà della distanza dalla carota successiva (oppure considerando la lunghezza del tronco omogeneo) moltiplicato per la larghezza dell'intervento.

A compattazione ultimata la densità secca in situ (con volumometro o prelievo di carote), non deve essere inferiore al valore di riferimento misurato in laboratorio  $\rho_{d,max}$  misurato in laboratorio sulla miscela di progetto costipata con compattatore Proctor modificato e dichiarato prima dell'inizio dei lavori. Nel caso di non conformità la Direzione Lavori può richiedere, in funzione del contesto, il rifacimento dello strato, opere di ripristino a spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto o l'applicazione di una detrazione del 10% sul prezzo di aggiudicazione della lavorazione per lo strato interessato. La superficie di riferimento è calcolata considerando la lunghezza compresa tra la metà della distanza dalla misurazione precedente e la metà della distanza dalla misurazione successiva (oppure considerando la lunghezza del tronco omogeneo) moltiplicato per la larghezza dell'intervento.

Il modulo dinamico  $E_{LWD}$  e il modulo di deformazione  $M_d$  non devono essere inferiore a quanto richiesto nel 90% dei punti analizzati all'interno del tronco omogeneo. Nel caso di non conformità la Direzione Lavori può richiedere, in funzione del contesto, il rifacimento dello strato, opere di ripristino a spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto o l'applicazione di una detrazione del 10% sul prezzo di aggiudicazione della lavorazione per lo strato interessato. La superficie di riferimento è calcolata considerando la lunghezza compresa tra la metà della distanza dalla misurazione precedente e la metà della distanza dalla misurazione successiva (oppure considerando la lunghezza del tronco omogeneo) moltiplicato per la larghezza dell'intervento.

La superficie dello strato deve presentarsi priva di irregolarità ed ondulazioni. È tollerato uno scostamento massimo di 5 mm al di sopra del quale la Direzione Lavori può richiedere, in funzione del contesto, il rifacimento dello strato, opere di ripristino a spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto o l'applicazione di una detrazione del 10% sul prezzo di aggiudicazione della lavorazione per lo strato interessato. La



Capitolato Speciale d'Appalto per la Manutenzione  
Straordinaria di Pavimentazioni Stradali  
Versione 23-10-2022

GEAT s.r.l.

Sede legale:

Viale Lombardia 17 – 47838 Riccione (RN)

tel.: 0541/668011 - fax: 0541/643613

PEC: geat@legal-pec.it - www.geat.it

superficie di riferimento è calcolata considerando la lunghezza compresa tra la metà della distanza dalla misurazione precedente e la metà della distanza dalla misurazione successiva (oppure considerando la lunghezza del tronco omogeneo) moltiplicato per la larghezza dell'intervento.

Salvo casi particolari che andranno giudicati dalla Direzione Lavori, le penali precedentemente indicate sono cumulabili.



Capitolato Speciale d'Appalto per la Manutenzione  
Straordinaria di Pavimentazioni Stradali  
Versione 23-10-2022

GEAT s.r.l.

Sede legale:

Viale Lombardia 17 – 47838 Riccione (RN)

tel.: 0541/668011 - fax: 0541/643613

PEC: geat@legal-pec.it - www.geat.it

## 6 Misto granulare

## 6.1 Misto granulare con aggregati vergini

### **Elenco prezzi: NV 18.**

Il misto granulare stabilizzato con aggregati vergini è costituito da ghiaie o aggregati vergini di frantumazione in frazione unica. Il misto granulare stabilizzato con aggregati vergini deve essere livellato tramite motorgrader e subito costipato tramite rulli. Esso può essere impiegato per uno strato portante o per regolarizzare il piano di posa di un successivo strato in funzione delle disposizioni di progetto. A protezione dello strato deve essere sempre prevista una mano di impregnazione con emulsione bituminosa a lenta rottura.

La miscela impiegata dovrà essere qualificata in conformità al regolamento Ue 305/2011 sui prodotti da costruzione.

Ciascuna fornitura deve essere accompagnata dal documento di trasporto e dalla etichetta CE, attestante la conformità all'appendice ZA della norma europea armonizzata UNI EN 13242, da consegnare al momento della consegna in cantiere.

Una volta accettato il misto granulare stabilizzato da parte della Direzione Lavori, l'Impresa aggiudicataria dell'appalto, è vincolata al rigoroso utilizzo di tutte le sue componenti nel rispetto delle tolleranze riportate nel paragrafo Penali.

### 6.1.1 Aggregati

Gli aggregati lapidei costituiscono la matrice litica del misto granulare stabilizzato e sono composti da aggregati in frazione unica. La designazione dell'aggregato in frazione unica deve essere effettuata mediante le dimensioni dei setacci appartenenti al gruppo di base, più gruppo 2 della UNI EN 13242.

Parametro	Metodo di prova	Unità di misura	Valori richiesti	Categoria UNI EN 13043
Resistenza alla frammentazione	UNI EN 1097-2	[%]	≤ 30	LA <sub>30</sub>
Percentuale di particelle frantumate	UNI EN 933-5	[%]	≥ 90	C <sub>90/3</sub>
Coefficiente di appiattimento	UNI EN 933-3	[%]	≤ 30	FI <sub>30</sub>
Coefficiente di forma	UNI EN 933-4	[%]	≤ 30	SI <sub>30</sub>
Assorbimento d'acqua	UNI EN 1097-6	[%]	≤ 2	WA <sub>242</sub>
Equivalente in sabbia	UNI EN 933-8	[%]	≥ 30	SE <sub>30</sub>
Indice di plasticità	UNI CEN ISO/TS 17892-12	-	Non plastico	-

*Tabella 71. Caratteristiche dell'aggregato in frazione unica per il misto granulare stabilizzato*

Il paragrafo 1.2 (Certificati di prequalifica e relative penali) specifica le modalità di presentazione e accettazione della documentazione di qualifica.

### 6.1.2 Miscela di progetto

Per la miscela granulare si raccomanda una distribuzione granulometrica ben gradata tale da seguire la distribuzione di Fuller  $P_i = 100 \cdot \left(\frac{d_i}{D}\right)^{0,45}$  dove  $P_i$  è il passante al setaccio  $i$ -esimo,  $d_i$  è il setaccio  $i$ -esimo e  $D$  è la dimensione massima.

La dimensione massima può essere pari a 40, 30, 25 o 20 mm a discrezione della Direzione Lavori in funzione dello spessore dello strato.

Il misto granulare stabilizzato deve avere indice CBR in condizione satura superiore a 50 (UNI EN 13286-47) e un rigonfiamento nullo. Tali valori devono essere dichiarati tra le caratteristiche della miscela.

La granulometria di progetto deve essere dichiarata tra le caratteristiche della miscela.

La percentuale ottimale di acqua per l'ottenimento del massimo addensamento deve essere stabilito mediante uno specifico studio in laboratorio o deve comunque verificare i requisiti richiesti in Tabella 72.

Le caratteristiche del misto granulare stabilizzato devono essere determinate dalla media di almeno tre campioni considerando un coefficiente di variazione  $\leq 0,15$  (deviazione standard/media).

Sulla miscela ottima si deve determinare la massa volumica secca che costituisce il riferimento per il controllo della densità in sito.

Condizioni di compattazione			
Parametro	Unità di misura	Normativa di riferimento	Valori richiesti
Energia Proctor	[MJ/m <sup>3</sup> ]	UNI EN 13286-2	2,7 (modificata)
Diametro della fustella	[mm]	UNI EN 13286-2	150 (ben lubrificata)
Strati	[n]	UNI EN 13286-2	5
Altezza	[mm]	UNI EN 13286-2	120
Colpi per strato	[n]	UNI EN 13286-2	56
Studio del contenuto ottimo di acqua			
Contenuto di acqua	[% su peso inerti]	4, 5, 6 e 7	Densità secca massima
Valutazione della portanza			
Contenuto di acqua	[% su peso inerti]	ottimo	CBR $\geq 50$
Condizione	[giorni di immersione]	4	Rigonfiamento = 0

Tabella 72. Caratteristiche della miscela di progetto per il misto cementato prodotto in impianto

Il paragrafo 1.2 (Certificati di prequalifica e relative penali) specifica le modalità di presentazione e accettazione della documentazione di qualifica.

Il produttore deve inoltre dichiarare la granulometria della miscela ottima e il contenuto di acqua ottimo.

### 6.1.3 Preparazione della superficie di stesa

La stesa del misto granulare avviene solo dopo che sia stata accertata dalla Direzione Lavori la rispondenza del piano di posa ai requisiti di quota, sagoma, densità e portanza indicati in progetto. Il piano di posa deve risultare perfettamente pulito e privo di ogni residuo di qualsiasi natura.

Ogni depressione o avallamento presente sul piano di posa deve essere corretta prima della stesa.

### 6.1.4 Posa in opera della miscela

La livellazione del misto granulare stabilizzato è effettuata a mezzo di motorgrader o idonea attrezzatura tale da ottenere un piano finito regolare.

La Direzione Lavori si riserva la facoltà di poter far variare la tecnologia ritenuta non opportuna.

Il misto granulare deve essere compattato a contenuto ottimo di acqua  $\pm 2\%$ . Nel caso di materiale troppo asciutto, l'Impresa aggiudicatrice dell'appalto deve provvedere alla opportuna umidificazione del materiale almeno 8 ore della fase di compattazione. Nel caso di materiale troppo bagnato, l'Impresa aggiudicatrice dell'appalto deve provvedere alla opportuna aerazione del materiale o alla sua pre-miscelazione con calce.

L'addensamento deve essere realizzato con un rullo vibrante ferro-gomma di almeno 14 tonnellate per spessori inferiori a 30 cm.

Ultimato il costipamento, lo strato deve essere livellato con motorgrader per il rispetto della quota e pendenze di progetto e immediatamente protetto con emulsione bituminosa cationica a rottura lenta di impregnazione in ragione di 1,0 kg/m<sup>2</sup> di bitume residuo e successiva sgranigliatura.

### 6.1.5 Controlli

Il controllo della qualità del misto granulare stabilizzato è effettuato mediante prove di laboratorio sui materiali costituenti, sulla miscela e sulla superficie dello strato per verificarne le caratteristiche di accettabilità. La Tabella 73 mostra il tipo di campione, l'ubicazione e la frequenza del controllo e i requisiti da rispettare durante tutto il processo.

Controllo dei materiali e verifiche prestazionali			
Tipo di campione	Ubicazione del controllo	Frequenza del controllo	Requisiti
Aggregato in frazione unica	Impianto	Inizio cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	Caratteristiche
Misto granulare stabilizzato	Cantiere	Giornaliera o ogni 5000 m <sup>2</sup> di stesa o a discrezione della Direzione Lavori	Contenuto di acqua, granulometria, CBR, rigonfiamento
Superficie della pavimentazione	Pavimentazione	Ogni 250 m di stesa cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	Densità secca
Superficie della pavimentazione	Pavimentazione	Ogni 250 m di stesa cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	$M_d \geq 60 \text{ N/mm}^2$ $E_{LWD} \geq 80 \text{ MPa}$ Scostamento ( $\Delta \leq 10 \text{ mm}$ )

Tabella 73. Controlli da eseguire per il conglomerato bituminoso riciclato a freddo in impianto

Ogni prelievo deve essere costituito da due campioni:

- uno utilizzato per i controlli presso un laboratorio conto terzi selezionato dalla Direzione Lavori;
- uno a disposizione dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto.

Per ogni campione di misto granulare sfuso vengono determinate: il contenuto di acqua, CBR in condizione satura, rigonfiamento e la granulometria della miscela.

A discrezione della Direzione Lavori, per la verifica della densità secca possono essere eseguite verifiche di densità con il metodo del volumometro a sabbia (CNR 22: 1992) subito dopo la stesa.

La portanza dello strato può essere verificata a discrezione della Direzione Lavori con prove di piastra statica (CNR 146/1992) o piastra dinamica (ASTM E2583 – 07).

Le eventuali irregolarità  $\Delta$  superficiali devono essere misurate in direzione longitudinale e trasversale tramite un regolo di 3 m (UN EN 13036-7).

### 6.1.6 Penali

Le detrazioni di seguito descritte sono applicate in punti percentuali sul prezzo di aggiudicazione lavori del misto granulare (preparazione, materiale e stesa).

Per i materiali costituenti, le caratteristiche composite, volumetriche e meccaniche della miscela, la Direzione Lavori valuta l'accettabilità del misto granulare e le eventuali penali da applicare fino alla rimozione e ripristino a spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto.

La curva granulometrica, in riferimento alla ricetta (prodotto accettato dalla Direzione Lavori), deve rispettare le seguenti tolleranze:

- granulometria: per dimensione superiore o uguale a 4 mm si applica una tolleranza di  $\pm 5$  punti percentuali;
- granulometria: per dimensioni comprese tra 4 e 0,063 mm si applica una tolleranza di  $\pm 3$  punti percentuali;
- granulometria: al passante al setaccio 0,063 mm si applica una tolleranza di  $\pm 1,5$  punti percentuali;

Nel caso di non conformità la Direzione Lavori può richiedere, in funzione del contesto, il rifacimento dello strato, opere di ripristino a spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto o l'applicazione di una detrazione del 10% sul prezzo di aggiudicazione della lavorazione per lo strato interessato. La superficie di riferimento è calcolata considerando la lunghezza compresa tra la metà della distanza dalla misurazione precedente e la metà della distanza dalla misurazione successiva (oppure considerando la lunghezza del tronco omogeneo) moltiplicato per la larghezza dell'intervento.

A discrezione della Direzione Lavori, il non rispetto delle caratteristiche meccaniche di laboratorio comporta la rimozione dello strato o l'applicazione di una detrazione del 10% sul prezzo di aggiudicazione della lavorazione per lo strato interessato. La superficie di riferimento è calcolata considerando la lunghezza compresa tra la metà della distanza dalla misurazione precedente e la metà della distanza dalla misurazione successiva (oppure considerando la lunghezza del tronco omogeneo) moltiplicato per la larghezza dell'intervento.

Per lo spessore dello strato, determinato da differenza di quota o sondaggio, è tollerata una carenza massima del 10 % rispetto allo spessore di progetto. Per carenze superiori al 10 %, è applicata una detrazione percentuale pari a:

$$\text{Detrazione percentuale per carenza di spessore} = 3 \times (c - 10)$$

dove  $c$  rappresenta la carenza di spessore rispetto al valore di progetto espresso in percentuale. Per esempio, se la differenza è del 13 % rispetto al valore di progetto, la penale è del  $(13 - 10) \cdot 3 = 9\%$ . Se la differenza supera il 25 % (in diminuzione), la Direzione Lavori può richiedere il rifacimento dello strato a completa cura e spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto (per esempio, se lo spessore di progetto è pari a 10 cm, al di sotto 7,5 cm è richiesto il rifacimento). In alternativa alla rimozione e ricostruzione, la Direzione Lavori può autorizzare la stesa di uno strato di conguaglio di spessore tale da consentire il raggiungimento lo spessore totale atteso. Nel rispetto delle quote finali di progetto, la Direzione Lavori valuta la possibilità di una fresatura parziale per aver modo di stendere lo strato di conguaglio nel rispetto del suo spessore minimo. Quando possibile, il conguaglio può essere realizzato incrementando lo spessore del sovrastante strato di base, binder o usura purché questo non determini difficoltà di stesa e compattazione a causa di spessore eccessivo. La superficie a cui applicare la detrazione è calcolata considerando la lunghezza compresa tra la metà della distanza dalla carota precedente e la metà della distanza dalla carota successiva (oppure considerando la lunghezza del tronco omogeneo) moltiplicato per la larghezza dell'intervento.

A compattazione ultimata la densità secca in situ (con volumometro o prelievo di carote), non deve essere inferiore al 95% del valore di riferimento misurato in laboratorio  $\rho_{d,max}$  misurato in laboratorio sulla miscela

di progetto costipata con compattatore Proctor modificato e dichiarato prima dell'inizio dei lavori. Nel caso di non conformità la Direzione Lavori può richiedere, in funzione del contesto, il rifacimento dello strato, opere di ripristino a spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto o l'applicazione di una detrazione del 10% sul prezzo di aggiudicazione della lavorazione per lo strato interessato. La superficie di riferimento è calcolata considerando la lunghezza compresa tra la metà della distanza dalla misurazione precedente e la metà della distanza dalla misurazione successiva (oppure considerando la lunghezza del tronco omogeneo) moltiplicato per la larghezza dell'intervento.

Il modulo dinamico  $E_{LWD}$  e il modulo di deformazione  $M_d$  non devono essere inferiore a quanto richiesto nel 90% dei punti analizzati all'interno del tronco omogeneo. Nel caso di non conformità la Direzione Lavori può richiedere, in funzione del contesto, il rifacimento dello strato, opere di ripristino a spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto o l'applicazione di una detrazione del 10% sul prezzo della lavorazione per lo strato interessato. La superficie di riferimento è calcolata considerando la lunghezza compresa tra la metà della distanza dalla misurazione precedente e la metà della distanza dalla misurazione successiva (oppure considerando la lunghezza del tronco omogeneo) moltiplicato per la larghezza dell'intervento.

La superficie dello strato deve presentarsi priva di irregolarità ed ondulazioni. È tollerato uno scostamento massimo di 10 mm al di sopra del quale la Direzione Lavori può richiedere, in funzione del contesto, il rifacimento dello strato, opere di ripristino a spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto o l'applicazione di una detrazione del 10% sul prezzo di aggiudicazione della lavorazione per lo strato interessato. La superficie di riferimento è calcolata considerando la lunghezza compresa tra la metà della distanza dalla misurazione precedente e la metà della distanza dalla misurazione successiva (oppure considerando la lunghezza del tronco omogeneo) moltiplicato per la larghezza dell'intervento.

Salvo casi particolari che andranno giudicati dalla Direzione Lavori, le penali precedentemente indicate sono cumulabili.

## 6.2 Misto granulare con aggregati di recupero

### Elenco prezzi: NV 19.

Il misto granulare con aggregati di recupero è costituito da ghiaie o aggregati vergini di frantumazione in frazione unica e di recupero. È ammesso l'uso di conglomerato bituminoso di recupero fino al 20% in peso sulla miscela totale nel rispetto della norma UNI EN 13242. Il misto granulare stabilizzato con aggregati di recupero deve essere livellato tramite motorgrader e subito costipato tramite rulli. Esso può essere impiegato per uno strato portante o per regolarizzare il piano di posa di un successivo strato in funzione delle disposizioni di progetto. A protezione dello strato deve essere sempre prevista una mano di impregnazione con emulsione bituminosa a lenta rottura.

La miscela riciclata deve essere qualificata in conformità al regolamento Ue 305/2011 sui prodotti da costruzione, classificata secondo la UNI EN 933-11 (Prova di classificazione per i costituenti degli aggregati grossi riciclati), test di cessione di cui all'All. 3 D.M. 05/02/1998 App. A UNI 10802/2004 e caratterizzazione del rifiuto per attribuzione del codice CER (classificazione e recupero ai sensi del D.L gs 152/06, Reg 1357/2014/UE, Regolamento (UE) 2016/1179, Regolamento (UE) 2017/997 Decisione 2015/955/U.E., D.M. 05/02/1998). I costituenti  $R_b$ ,  $R_g$ , X e  $F_L$  (laterizi, silicato di calcio, vetro, materiali coesivi, legno, plastica ecc.) devono rispettare le seguenti restrizioni:  $R_b \leq 10\%$ ,  $R_g \leq 2\%$ ,  $X \leq 1\%$  e  $F_L \leq 5 \text{ cm}^3/\text{kg}$ .

Ciascuna fornitura dovrà essere accompagnata dal documento di trasporto e dalla etichetta CE, attestante la conformità all'appendice ZA della norma europea armonizzata UNI EN 13242, da consegnare al momento della consegna in cantiere.

Una volta accettato il misto granulare stabilizzato da parte della Direzione Lavori, l'Impresa aggiudicataria dell'appalto, è vincolata al rigoroso utilizzo di tutte le sue componenti nel rispetto delle tolleranze riportate nel paragrafo Penali.

### 6.2.1 Aggregati vergini

Gli aggregati lapidei costituiscono la matrice litica del misto granulare stabilizzato e sono composti da aggregati in frazione unica. La designazione dell'aggregato grosso deve essere effettuata mediante le dimensioni dei setacci appartenenti al gruppo di base, più gruppo 2 della UNI EN 13242.

Parametro	Metodo di prova	Unità di misura	Valori richiesti	Categoria UNI EN 13043
Resistenza alla frammentazione	UNI EN 1097-2	[%]	$\leq 30$	LA <sub>30</sub>
Coefficiente di appiattimento	UNI EN 933-3	[%]	$\leq 30$	FI <sub>30</sub>
Coefficiente di forma	UNI EN 933-4	[%]	$\leq 30$	SI <sub>30</sub>
Assorbimento d'acqua	UNI EN 1097-6	[%]	$\leq 2$	WA <sub>242</sub>
Equivalente in sabbia	UNI EN 933-8	[%]	$\geq 30$	SE <sub>30</sub>
Indice di plasticità	UNI CEN ISO/TS 17892-12	-	Non plastico	-

Tabella 74. Caratteristiche dell'aggregato in frazione unica per il misto granulare stabilizzato

Il paragrafo 1.2 (Certificati di prequalifica e relative penali) specifica le modalità di presentazione e accettazione della documentazione di qualifica.

## 6.2.2 Aggregati di recupero

Gli aggregati di recupero possono provenire dalla frantumazione di materiale inorganico precedentemente usato nelle costruzioni (UNI EN 13242).

Al fine di omogeneizzare le caratteristiche degli aggregati di recupero, è raccomandato seguire un processo di frantumazione, vagliatura e divisione dello stesso in almeno due frazioni.

Ogni frazione degli aggregati di recupero deve essere qualificata in termini di granulometria tal quale e indice di plasticità.

In particolare, l'Impresa aggiudicataria dell'appalto è tenuta a presentare alla Direzione Lavori un apposito certificato rilasciato da un laboratorio conto terzi o dal produttore, nel quale riportare il valore medio e la deviazione standard (come parametro di omogeneità) della dimensione massima, coefficiente di forma e appiattimento e della granulometria tal quale eseguita per via umida. Per la deviazione standard della granulometria si considera il passante riferito ad ogni singolo setaccio.

Se il quantitativo di aggregati di recupero da utilizzare nell'intero progetto è inferiore a 2.500 t, i valori medi e le rispettive deviazioni standard devono essere calcolati sulla base di 5 campioni prelevati nel mucchio di origine degli aggregati di recupero (ogni singola frazione) che si intende usare. Se invece il quantitativo di aggregati di recupero da utilizzare nell'intero progetto è superiore a 2.500 t, il numero dei campioni da analizzare è pari al quantitativo totale degli aggregati di recupero da impiegare nel progetto, espresso in tonnellate, diviso 500.

Per lo strato di misto cementato con aggregati di recupero prodotto in impianto è possibile impiegare come materiale costituente gli aggregati di recupero, a patto che la dimensione massima del materiale tal quale non sia superiore alla dimensione massima di riferimento per la miscela di misto cementato da produrre. È raccomandabile vagliare il materiale per eliminare eventuali elementi di dimensioni superiori alla dimensione massima prevista per la miscela (setaccio più piccolo tra quelli che permettono il 100% di materiale passante).

Il coefficiente di forma e appiattimento dovranno essere entrambe < 30% e il materiale dovrà avere indice di plasticità pari a 0 (per valori superiori a 0 e inferiori a 6 è possibile prevedere una miscela binaria).

La percentuale di aggregati di recupero va obbligatoriamente dichiarata nello studio preliminare della miscela di progetto che l'impresa aggiudicataria dell'appalto è tenuta a presentare alla Direzione Lavori.

Il paragrafo 1.2 (Certificati di prequalifica e relative penali) specifica le modalità di presentazione e accettazione della documentazione di qualifica.

## 6.2.3 Miscela di progetto

Per la miscela granulare si raccomanda una distribuzione granulometrica ben gradata tale da seguire la distribuzione di Fuller  $P_i = 100 \cdot \left(\frac{d_i}{D}\right)^{0,45}$  dove  $P_i$  è il passante al setaccio  $i$ -esimo,  $d_i$  è il setaccio  $i$ -esimo e  $D$  è la dimensione massima.

La dimensione massima può essere pari a 40, 30, 25 o 20 mm a discrezione della Direzione Lavori in funzione dello spessore dello strato.

Il misto granulare stabilizzato con aggregati di recupero deve avere indice CBR in condizione satura superiore a 50 (UNI EN 13286-47) e un rigonfiamento nullo. Tali valori devono essere dichiarati tra le caratteristiche della miscela.

La granulometria di progetto deve essere dichiarata tra le caratteristiche della miscela.

La percentuale ottimale di acqua per l'ottenimento del massimo addensamento deve essere stabilito mediante uno specifico studio in laboratorio o deve comunque verificare i requisiti richiesti in Tabella 75.

Le caratteristiche del misto granulare stabilizzato devono essere determinate dalla media di almeno tre campioni considerando un coefficiente di variazione  $\leq 0,15$  (deviazione standard/media).

Sulla miscela ottima si deve determinare la massa volumica secca che costituirà il riferimento per il controllo della densità in sito.

Condizioni di compattazione			
Parametro	Unità di misura	Normativa di riferimento	Valori richiesti
Energia Proctor	[MJ/m <sup>3</sup> ]	UNI EN 13286-2	2,7 (modificata)
Diametro della fustella	[mm]	UNI EN 13286-2	150 (ben lubrificata)
Strati	[n]	UNI EN 13286-2	5
Altezza	[mm]	UNI EN 13286-2	120
Colpi per strato	[n]	UNI EN 13286-2	56
Studio del contenuto ottimo di acqua			
Contenuto di acqua	[% su peso inerti]	4, 5, 6 e 7	Densità secca massima
Valutazione della portanza			
Contenuto di acqua	[% su peso inerti]	ottimo	CBR $\geq 50$
Condizione	[giorni di immersione]	4	Rigonfiamento = 0

Tabella 75. Caratteristiche della miscela di progetto per il misto cementato prodotto in impianto

Il paragrafo 1.2 (Certificati di prequalifica e relative penali) specifica le modalità di presentazione e accettazione della documentazione di qualifica.

Il produttore deve dichiarare la granulometria della miscela e il contenuto di acqua ottimo in apposito certificato rilasciato da un laboratorio conto terzi o dal produttore.

Una volta accettato il prodotto da parte della Direzione Lavori, l'Impresa è vincolata al monitoraggio della granulometria tale quale e del contenuto d'acqua naturale (UNI CEN ISO/TS 17892-1:2005) secondo le frequenze riportate nel paragrafo Controlli e ad aggiustare opportunamente la produzione in caso di variazioni significative.

Nel caso in cui non sia comprovata l'esperienza del produttore per tale miscela, la Direzione Lavori si riserva la possibilità di richiedere una verifica in campo prova esterno al cantiere di progetto.

#### 6.2.4 Preparazione della superficie di stesa

La stesa del misto granulare avviene solo dopo che sia stata accertata dalla Direzione Lavori la rispondenza del piano di posa ai requisiti di quota, sagoma, densità e portanza indicati in progetto. Il piano di posa deve risultare perfettamente pulito e privo di ogni residuo di qualsiasi natura.

Ogni depressione o avallamento presente sul piano di posa deve essere corretta prima della stesa.

## 6.2.5 Posa in opera della miscela

La livellazione del misto granulare stabilizzato verrà effettuata a mezzo di motorgrader o idonea attrezzatura tale da ottenere un piano finito regolare.

La Direzione Lavori si riserva la facoltà di poter far variare la tecnologia ritenuta non opportuna.

Il misto granulare dovrà essere compattato a contenuto ottimo di acqua  $\pm 2\%$ . Nel caso di materiale troppo asciutto, l'Impresa aggiudicatrice dell'appalto dovrà provvedere alla opportuna umidificazione del materiale almeno 8 ore della fase di compattazione. Nel caso di materiale troppo bagnato, l'impresa aggiudicatrice dell'appalto dovrà provvedere alla opportuna aerazione del materiale o alla sua pre-miscelazione con calce.

L'addensamento dovrà essere realizzato con un rullo vibrante ferro-gomma di almeno 14 tonnellate per spessori inferiori a 30 cm.

Ultimato il costipamento, lo strato deve essere livellato con motorgrader per il rispetto della quota e pendenze di progetto e immediatamente protetto con una mano di impregnazione in ragione di  $1,0 \text{ kg/m}^2$  di bitume residuo e successiva sgranigliatura.

## 6.2.6 Controlli

Il controllo della qualità del misto granulare stabilizzato con aggregati di recupero deve essere effettuato mediante prove di laboratorio sui materiali costituenti, sulla miscela e sulla superficie dello strato per verificarne le caratteristiche di accettabilità. La Tabella 76 mostra il tipo di campione, l'ubicazione e la frequenza del controllo e i requisiti da rispettare durante tutto il processo.

Controllo dei materiali e verifiche prestazionali			
Tipo di campione	Ubicazione del controllo	Frequenza del controllo	Requisiti
Aggregati in frazione unica	Impianto	Inizio cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	Caratteristiche
Misto granulare stabilizzato	Cantiere	Giornaliera o ogni $5000 \text{ m}^2$ di stesa o a discrezione della Direzione Lavori	Contenuto di acqua, granulometria, CBR, rigonfiamento
Superficie della pavimentazione	Pavimentazione	Ogni 250 m di stesa cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	Densità secca
Superficie della pavimentazione	Pavimentazione	Ogni 250 m di stesa cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	$M_d > 50 \text{ N/mm}^2$ $E_{LWD} > 60 \text{ MPa}$ Scostamento ( $\Delta \leq 10 \text{ mm}$ )

Tabella 76. Controlli da eseguire per il misto granulare stabilizzato con aggregati di recupero

Ogni prelievo deve essere costituito da due campioni:

- uno utilizzato per i controlli presso un laboratorio conto terzi selezionato dalla Direzione Lavori;
- uno a disposizione dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto.

Per ogni campione di misto granulare stabilizzato sfuso vengono determinate: il contenuto di acqua, CBR in condizione satura, rigonfiamento e la granulometria della miscela.

I rapporti di prova della granulometria della miscela granulare e del contenuto d'acqua, rilasciati da un laboratorio conto terzi o dal produttore, devono essere consegnati settimanalmente alla Direzione Lavori.

A discrezione della Direzione Lavori, per la verifica della densità secca possono essere eseguite verifiche di densità con il metodo del volumometro a sabbia (CNR 22: 1992) subito dopo la stesa.

La portanza dello strato può essere verificata a discrezione della Direzione Lavori con prove di piastra statica (CNR 146/1992) o piastra dinamica (ASTM E2583 – 07).

Le eventuali irregolarità superficiali dovranno essere misurate in direzione longitudinale e trasversale tramite un regolo di 3 m (UN EN 13036-7).

### 6.2.7 Penali

Le detrazioni di seguito descritte sono applicate in punti percentuali sul prezzo di aggiudicazione lavori del misto granulare (preparazione, materiale e stesa).

Per i materiali costituenti, le caratteristiche composite, volumetriche e meccaniche della miscela, la Direzione Lavori valuta l'accettabilità del misto granulare e le eventuali penali da applicare fino alla rimozione e ripristino a spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto.

La curva granulometrica, in riferimento alla ricetta (prodotto accettato dalla Direzione Lavori), deve rispettare le seguenti tolleranze:

- granulometria: per dimensione superiore o uguale a 4 mm si applica una tolleranza di  $\pm 5$  punti percentuali;
- granulometria: per dimensioni comprese tra 4 e 0,063 mm si applica una tolleranza di  $\pm 3$  punti percentuali;
- granulometria: al passante al setaccio 0,063 mm si applica una tolleranza di  $\pm 1,5$  punti percentuali;

Nel caso di non conformità la Direzione Lavori può richiedere, in funzione del contesto, il rifacimento dello strato, opere di ripristino a spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto o l'applicazione di una detrazione del 10% sul prezzo di aggiudicazione della lavorazione per lo strato interessato. La superficie di riferimento è calcolata considerando la lunghezza compresa tra la metà della distanza dalla misurazione precedente e la metà della distanza dalla misurazione successiva (oppure considerando la lunghezza del tronco omogeneo) moltiplicato per la larghezza dell'intervento.

A discrezione della Direzione Lavori, il non rispetto delle caratteristiche meccaniche di laboratorio comporta la rimozione dello strato o l'applicazione di una detrazione del 10% sul prezzo di aggiudicazione lavori della lavorazione per lo strato interessato. La superficie di riferimento è calcolata considerando la lunghezza compresa tra la metà della distanza dalla misurazione precedente e la metà della distanza dalla misurazione successiva (oppure considerando la lunghezza del tronco omogeneo) moltiplicato per la larghezza dell'intervento.

Per lo spessore dello strato, determinato da differenza di quota o sondaggio, è tollerata una carenza massima del 10 % rispetto allo spessore di progetto. Per carenze superiori al 10 %, è applicata una detrazione percentuale pari a:

$$\text{Detrazione percentuale per carenza di spessore} = 3 \times (c - 10)$$

dove c rappresenta la carenza di spessore rispetto al valore di progetto espressa in percentuale. Per esempio, se la differenza è del 13 % rispetto al valore di progetto, la penale è del  $(13 - 10) \cdot 3 = 9\%$ . Se la differenza supera il 25 % (in diminuzione), la Direzione Lavori può richiedere il rifacimento dello strato a completa cura

e spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto (per esempio, se lo spessore di progetto è pari a 10 cm, al di sotto 7,5 cm è richiesto il rifacimento). In alternativa alla rimozione e ricostruzione, la Direzione Lavori può autorizzare la stesa di uno strato di conguaglio (previa fresatura di attacco) di spessore tale da consentire il raggiungimento lo spessore totale atteso. Nel rispetto delle quote finali di progetto, la Direzione Lavori valuta la possibilità di una fresatura parziale per aver modo di stendere lo strato di conguaglio nel rispetto del suo spessore minimo. Quando possibile, il conguaglio può essere realizzato incrementando lo spessore del sovrastante strato di base, binder o usura purché questo non determini difficoltà di stesa e compattazione a causa di spessore eccessivo. La superficie a cui applicare la detrazione è calcolata considerando la lunghezza compresa tra la metà della distanza dalla carota precedente e la metà della distanza dalla carota successiva (oppure considerando la lunghezza del tronco omogeneo) moltiplicato per la larghezza dell'intervento.

A compattazione ultimata la densità secca in situ (con volumometro), non deve essere inferiore al valore di riferimento misurato in laboratorio  $\rho_{d,max}$  misurato in laboratorio sulla miscela di progetto costipata con compattatore Proctor modificato e dichiarato prima dell'inizio dei lavori. Nel caso di non conformità la Direzione Lavori può richiedere, in funzione del contesto, il rifacimento dello strato, opere di ripristino a spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto o l'applicazione di una detrazione del 10% sul prezzo di aggiudicazione della lavorazione per lo strato interessato. La superficie di riferimento è calcolata considerando la lunghezza compresa tra la metà della distanza dalla misurazione precedente e la metà della distanza dalla misurazione successiva (oppure considerando la lunghezza del tronco omogeneo) moltiplicato per la larghezza dell'intervento.

Il modulo dinamico  $E_{LWD}$  e il modulo di deformazione  $M_d$  non devono essere inferiore a quanto richiesto nel 90% dei punti analizzati all'interno del tronco omogeneo. Nel caso di non conformità la Direzione Lavori può richiedere, in funzione del contesto, il rifacimento dello strato, opere di ripristino a spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto o l'applicazione di una detrazione del 10% sul prezzo di aggiudicazione della lavorazione per lo strato interessato. La superficie di riferimento è calcolata considerando la lunghezza compresa tra la metà della distanza dalla misurazione precedente e la metà della distanza dalla misurazione successiva (oppure considerando la lunghezza del tronco omogeneo) moltiplicato per la larghezza dell'intervento.

La superficie dello strato deve presentarsi priva di irregolarità ed ondulazioni. È tollerato uno scostamento massimo di 10 mm al di sopra del quale la Direzione Lavori può richiedere, in funzione del contesto, il rifacimento dello strato, opere di ripristino a spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto o l'applicazione di una detrazione del 10% sul prezzo di aggiudicazione della lavorazione per lo strato interessato. La superficie di riferimento è calcolata considerando la lunghezza compresa tra la metà della distanza dalla misurazione precedente e la metà della distanza dalla misurazione successiva (oppure considerando la lunghezza del tronco omogeneo) moltiplicato per la larghezza dell'intervento.

Salvo casi particolari che andranno giudicati dalla Direzione Lavori, le penali precedentemente indicate sono cumulabili.



Capitolato Speciale d'Appalto per la Manutenzione  
Straordinaria di Pavimentazioni Stradali  
Versione 23-10-2022

GEAT s.r.l.

Sede legale:

Viale Lombardia 17 – 47838 Riccione (RN)

tel.: 0541/668011 - fax: 0541/643613

PEC: geat@legal-pec.it - www.geat.it

## 7 Strato anticapillare e drenante

## 7.1 Materiale arido per strato anticapillare e drenante

### Elenco prezzi: aggregati vergini NV 20; aggregati riciclati NV 21.

Lo strato anticapillare 31/63 di materiale arido ha la funzione di impedire la risalita capillare di acqua proveniente dallo strato di sottofondo, oltre che svolgere la funzione di drenaggio e filtro. In alternativa può essere previsto l'uso di aggregati 0/56 con meno del 15% di passante al setaccio 2 mm e meno del 3% di passante al setaccio 0,063 mm o similari. Nel caso di impiego di aggregati di recupero si adottano le stesse prescrizioni riportate per il misto granulare cono aggregati di recupero.

#### 7.1.1 Aggregati

Lo strato anticapillare è costituito da aggregati in frazione 31/63 G<sub>c</sub> 80-20 con meno del 2% di passante al setaccio 0,063 mm. In alternativa può essere previsto l'uso di aggregati 0/56 con meno del 15% di passante al setaccio 2 mm e meno del 3% di passante al setaccio 0,063 mm o similari.

Il materiale deve risultare del tutto esente da componenti instabili (gelivi, solubili, plastici etc.) e da resti vegetali.

L'aggregato in frazione unica ( $D > 6,3 \text{ mm}$ ;  $d \geq 0 \text{ mm}$ ) può essere di provenienza o natura petrografica diversa purché, per ogni tipologia, risultino soddisfatti i requisiti indicati nella Tabella 77.

La designazione dell'aggregato in frazione unica deve essere effettuata mediante le dimensioni dei setacci appartenenti al gruppo di base, più gruppo 2 della UNI EN 13242.

Parametro	Metodo di prova	Unità di misura	Valori richiesti	Categoria UNI EN 13043
Resistenza alla frammentazione	UNI EN 1097-2	[%]	$\leq 30$	LA <sub>30</sub>
Percentuale di particelle frantumate	UNI EN 933-5	[%]	$\geq 90$	C <sub>90/3</sub>
Passante allo staccio 0,063 mm	UNI EN 933-1	[%]	$\leq 2$	f <sub>2</sub>
Resistenza al gelo e disgelo	UNI EN 1367-1	[%]	$\leq 2$	F <sub>2</sub>
Coefficiente di appiattimento	UNI EN 933-3	[%]	$\leq 30$	Fl <sub>30</sub>
Coefficiente di forma	UNI EN 933-4	[%]	$\leq 30$	Sl <sub>30</sub>
Equivalente in sabbia	UNI EN 933-8	[%]	$\geq 70$	SE <sub>70</sub>
Assorbimento d'acqua	UNI EN 1097-6	[%]	$\leq 2$	WA <sub>242</sub>

Tabella 77. Caratteristiche dell'aggregato in frazione unica per strato anticapillare

Il paragrafo 1.2 (Certificati di prequalifica e relative penali) specifica le modalità di presentazione e accettazione della documentazione di qualifica.

#### 7.1.2 Posa in opera

La lavorazione richiede la livellatura e compattazione dello strato sottostante.

Lo strato anticapillare deve essere steso, umidificato, livellato e compattato al contenuto di acqua ottimo.

Per la stesa e la compattazione di tale strato non è ammesso il passaggio diretto dei mezzi d'opera sopra il geotessile non tessuto sottostante. La compattazione deve avvenire con rullo ferro-gomma statico (per non lacerare il sottostante geosintetico) o rullo gommato di almeno 14 t.

Lo strato deve essere ricoperto da una impregnazione con emulsione cationica a rapida rottura con dosaggio pari a 1,0 kg/m<sup>2</sup>. L'emulsione bituminosa deve essere saturata tramite la stesa con mezzi idonei di filler o sabbia o graniglia a discrezione della Direzione Lavori.

### 7.1.3 Controlli

il controllo della qualità è effettuato mediante prove di laboratorio sui materiali costituenti e sulla superficie dello strato per verificarne le caratteristiche di accettabilità. La Tabella 78 mostra il tipo di campione, l'ubicazione e la frequenza del controllo e i requisiti da rispettare durante tutto il processo di costruzione.

Controllo dei materiali e verifiche prestazionali			
Tipo di campione	Ubicazione del controllo	Frequenza del controllo	Requisiti
Anticapillare	Impianto	Inizio cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	Caratteristiche
Anticapillare	Cantiere	Giornaliera o ogni 5000 m <sup>2</sup> di stesa o a discrezione della Direzione Lavori	Spessore, M <sub>d</sub> > 60 N/mm <sup>2</sup>

Tabella 78. Controlli da eseguire per strato anticapillare

### 7.1.4 Penali

Le detrazioni di seguito descritte saranno applicate in punti percentuali sul prezzo di aggiudicazione lavori del materiale (preparazione, materiale e stesa).

La curva granulometrica, in riferimento alla ricetta (prodotto accettato dalla Direzione Lavori), deve rispettare le seguenti tolleranze:

- granulometria: per dimensione superiore o uguale a 4 mm si applica una tolleranza di ± 5 punti percentuali;
- granulometria: per dimensioni comprese tra 4 e 0,063 mm si applica una tolleranza di ± 3 punti percentuali;
- granulometria: al passante al setaccio 0,063 mm si applica una tolleranza di ± 1,5 punti percentuali;

Nel caso di non conformità la Direzione Lavori può richiedere, in funzione del contesto, il rifacimento dello strato, opere di ripristino a spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto o l'applicazione di una detrazione del 10% sul prezzo di aggiudicazione lavori della lavorazione per lo strato interessato. La superficie di riferimento è calcolata considerando la lunghezza compresa tra la metà della distanza dalla misurazione precedente e la metà della distanza dalla misurazione successiva (oppure considerando la lunghezza del tronco omogeneo) moltiplicato per la larghezza dell'intervento.

A discrezione della Direzione Lavori, il non rispetto delle caratteristiche meccaniche di laboratorio comporta la rimozione dello strato o l'applicazione di una detrazione del 10% sul prezzo di aggiudicazione della lavorazione per lo strato interessato. La superficie di riferimento è calcolata considerando la lunghezza compresa tra la metà della distanza dalla misurazione precedente e la metà della distanza dalla misurazione successiva (oppure considerando la lunghezza del tronco omogeneo) moltiplicato per la larghezza dell'intervento.

Per lo spessore dello strato, determinato da differenza di quota o sondaggio, è tollerata una carenza massima del 10 % rispetto allo spessore di progetto. Per carenze superiori al 10 %, è applicata una detrazione percentuale pari a:

*Detrazione percentuale per carenza di spessore =  $3 \times (c - 10)$*

dove  $c$  rappresenta la carenza di spessore rispetto al valore di progetto espresso in percentuale. Per esempio, se la differenza è del 13 % rispetto al valore di progetto, la penale è del  $(13 - 10) \cdot 3 = 9\%$ . Se la differenza supera il 25 % (in diminuzione), la Direzione Lavori può richiedere il rifacimento dello strato a completa cura e spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto (per esempio, se lo spessore di progetto è pari a 10 cm, al di sotto 7,5 cm è richiesto il rifacimento). In alternativa alla rimozione e ricostruzione, la Direzione Lavori può autorizzare la stesa di uno strato di conguaglio di spessore tale da consentire il raggiungimento lo spessore totale atteso. Nel rispetto delle quote finali di progetto, è valutata dalla Direzione Lavori la possibilità di una fresatura parziale per aver modo di stendere lo strato di conguaglio nel rispetto del suo spessore minimo. Quando possibile, il conguaglio può essere realizzato incrementando lo spessore del sovrastante strato di base, binder o usura purché questo non determini difficoltà di stesa e compattazione a causa di spessore eccessivo. La superficie a cui applicare la detrazione è calcolata considerando la lunghezza compresa tra la metà della distanza dalla carota precedente e la metà della distanza dalla carota successiva (oppure considerando la lunghezza del tronco omogeneo) moltiplicato per la larghezza dell'intervento.

Il modulo di deformazione  $M_d$  ( $M_d > 60 \text{ N/mm}^2$  al primo ciclo tra 0,15 e 0,25  $\text{N/mm}^2$ , secondo la C.N.R. 146/1992) non deve essere inferiore a quanto richiesto nel 90% dei punti analizzati all'interno del tronco omogeneo. Nel caso di non conformità la Direzione Lavori può richiedere, in funzione del contesto, il rifacimento dello strato, opere di ripristino a spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto o l'applicazione di una detrazione del 10% sul prezzo di aggiudicazione della lavorazione per lo strato interessato. La superficie di riferimento è calcolata considerando la lunghezza compresa tra la metà della distanza dalla misurazione precedente e la metà della distanza dalla misurazione successiva (oppure considerando la lunghezza del tronco omogeneo) moltiplicato per la larghezza dell'intervento.

La superficie dello strato deve presentarsi priva di irregolarità ed ondulazioni. È tollerato uno scostamento massimo di 10 mm al di sopra del quale la Direzione Lavori può richiedere, in funzione del contesto, il rifacimento dello strato, opere di ripristino a spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto o l'applicazione di una detrazione del 10% sul prezzo di aggiudicazione della lavorazione per lo strato interessato. La superficie di riferimento è calcolata considerando la lunghezza compresa tra la metà della distanza dalla misurazione precedente e la metà della distanza dalla misurazione successiva (oppure considerando la lunghezza del tronco omogeneo) moltiplicato per la larghezza dell'intervento.

Salvo casi particolari che andranno giudicati dalla Direzione Lavori, le penali precedentemente indicate sono cumulabili.

## 8 Applicazioni superficiali

## 8.1 Depolverizzazione con tre strati

### **Elenco prezzi: C01.022.030.**

Il trattamento superficiale tramite depolverizzazione (UNI EN 12271) consiste nella costruzione in situ di uno strato superficiale composto da emulsione bituminosa e da graniglie aventi pezzature omogenee e compenetranti, applicati a strati successivi da macchine automatiche in grado di porre in opera l'emulsione bituminosa ed immediatamente a seguire l'inerte nelle quantità di progetto su percorsi variabili in larghezza, pendenza e direzione. La depolverizzazione consente di ottenere una superficie resistente alle sollecitazioni meccaniche ed atmosferiche, impermeabile e di colore ed aspetto naturale non alterando i valori paesaggistici esistenti (colore prevalente degli inerti) ed in grado di garantire una buona aderenza in funzione delle caratteristiche degli aggregati selezionati. La depolverizzazione deve essere realizzata su uno strato di fondazione opportunamente costruito (con misto granulare stabilizzato o terra stabilizzata a calce e/o cemento o misto cementato) ed impregnato di emulsione bituminosa e può sostituire lo strato di usura in particolari situazioni di contesto e di traffico. Tale tecnica è spesso applicata in ambito rurale.

I materiali impiegati devono essere qualificati in conformità al regolamento (UE) 305/2011 sui prodotti da costruzione. Ciascuna fornitura deve essere accompagnata dal documento di trasporto e dalla etichetta CE, attestante la conformità alla rispettiva norma europea armonizzata, da consegnare al momento della consegna in cantiere.

Una volta accettati i materiali di impiego da parte della Direzione Lavori, l'Impresa aggiudicataria dell'appalto, è vincolata al rigoroso utilizzo di tutte le sue componenti nel rispetto delle tolleranze riportate nel paragrafo Penali.

### 8.1.1 Aggregati

Lo strato di posa deve avere proprietà portanti adeguate al volume e tipo di traffico che interessa la tratta e deve essere risagomato per ridefinire le pendenze e ripristinare la regolarità superficiale.

Per la risagomatura è possibile utilizzare un misto granulare stabilizzato (aggregato in frazione unica) 0/20 o 0/30 di categoria G<sub>A</sub>80 o G<sub>A</sub>85 in funzione delle eventuali depressioni da correggere. Le caratteristiche del misto granulare di risagomatura sono riportate in Tabella 79.

Eventuali lievi non conformità dovute alla difficoltà di reperibilità di aggregati con tali caratteristiche nel territorio, possono essere comunque accettate, a discrezione della Direzione Lavori, a patto che sia sempre e inequivocabilmente garantita la prestazione dell'opera. In alternativa alla fondazione in misto granulare stabilizzato può essere prevista la stabilizzazione in situ a calce e/o cemento o il misto cementato, anche con inerti di recupero, con dosaggi e procedure da stabilire secondo uno specifico studio.

Parametro	Metodo di prova	Unità di misura	Valori richiesti	Categoria UNI EN 13043
Resistenza alla frammentazione	UNI EN 1097-2	[%]	≤ 30	LA <sub>30</sub>
Percentuale di particelle frantumate	UNI EN 933-5	[%]	≥ 90	C <sub>90/3</sub>
Resistenza al gelo e disgelo	UNI EN 1367-1	[%]	≤ 1	F <sub>1</sub>
Coefficiente di appiattimento	UNI EN 933-3	[%]	≤ 30	FI <sub>30</sub>
Coefficiente di forma	UNI EN 933-4	[%]	≤ 30	SI <sub>30</sub>
Assorbimento d'acqua	UNI EN 1097-6	[%]	≤ 2	WA <sub>242</sub>
Equivalente in sabbia	UNI EN 933-8	[%]	≥ 50	SE <sub>50</sub>
Indice di plasticità	UNI CEN ISO/TS 17892-12	-	Non plastico	-

Tabella 79. Caratteristiche dell'aggregato in frazione unica per fondazione o risagomatura

Gli aggregati grossi ( $D > 2 \text{ mm}$ ;  $d \geq 1 \text{ mm}$ ) per la depolverizzazione devono provenire dalla frantumazione di cava o roccia e devono essere di forma poliedrica, puliti ed esenti da ogni traccia di argilla e materiale contaminante in genere rispondenti alle prescrizioni mostrate in Tabella 80.

Parametro	Metodo di prova	Unità di misura	Valori richiesti	Categoria UNI EN 13043
Resistenza alla frammentazione*	UNI EN 1097-2	[%]	≤ 25	LA <sub>25</sub>
Percentuale di particelle frantumate	UNI EN 933-5	[%]	100	C <sub>100/0</sub>
Passante allo staccio 0,063 mm	UNI EN 933-1	[%]	≤ 1	f <sub>1</sub>
Resistenza al gelo e disgelo	UNI EN 1367-1	[%]	≤ 1	F <sub>1</sub>
Coefficiente di appiattimento	UNI EN 933-3	[%]	≤ 20	FI <sub>20</sub>
Coefficiente di forma	UNI EN 933-4	[%]	≤ 20	SI <sub>20</sub>
Assorbimento d'acqua	UNI EN 1097-6	[%]	≤ 2	WA <sub>242</sub>
Equivalente in sabbia	UNI EN 933-8	[%]	≥ 70	SE <sub>70</sub>
Resistenza alla levigazione*	UNI EN 1097-8	[-]	≥ 45	PSV <sub>45</sub>

\* La classe LA<sub>20</sub> e la resistenza alla levigazione PSV<sub>45</sub> o PSV<sub>50</sub> (UNI EN 1097-8) possono essere richieste a discrezione della Direzione Lavori per soddisfare requisiti più elevati di resistenza alla frammentazione e al derapaggio

Tabella 80. Caratteristiche dell'aggregato per depolverizzazione

Le classi e i dosaggi di aggregato grosso da impiegare sono riportati in Tabella 81. Possono essere valutate altre pezzature o categorie in funzione della reperibilità sul territorio nel rispetto delle proporzioni e qualità.

Strato	Designazione	Categoria	Contenuto di fine [%]	Dosaggio [l/m <sup>2</sup> ]
Primo	8/12	G <sub>c</sub> 90/15	≤ 2	9 - 10*
Secondo	8/12	G <sub>c</sub> 90/15	≤ 2	9 - 10
Terzo	4/8	G <sub>c</sub> 90/15	≤ 2	6 - 7

\* Può essere richiesta la pezzatura 10/18 e il dosaggio può essere incrementato nel caso sia necessario regolarizzare la spiccata megatessitura del piano di posa (fondazione)

Tabella 81. Aggregati e dosaggi per la depolverizzazione

Occorre precisare che il dosaggio da norma tecnica è orientativo e va aggiusto sul campo in funzione della nonuniformità della tessitura della strada.

Il paragrafo 1.2 (Certificati di prequalifica e relative penali) specifica le modalità di presentazione e accettazione della documentazione di qualifica.

### 8.1.2 Emulsione bituminosa

Il legante per l'impregnazione della fondazione sottostante è costituito da emulsione cationica di bitume distillato (designazione secondo UNI EN 13808) nel rispetto dei requisiti mostrati in Tabella 82.

Emulsione bituminosa per impregnazione				
Parametro	Metodo di prova	Unità di misura	Valori richiesti	Classe UNI EN 13808
Polarità	UNI EN 1430	-	positiva	2
Contenuto di bitume	UNI EN 1428	[%]	55 ± 2	5
Sedimentazione a 7 giorni	UNI EN 12847	[%]	≤ 10	3
Indice di rottura	UNI EN 13075-1	-	70 - 155	3
Bitume residuo				
Penetrazione a 25°C	UNI EN1426	[0,1 × mm]	≤ 220	5
Punto di rammollimento	UNI EN1427	[°C]	≥ 35	8

Tabella 82. Caratteristiche dell'emulsione bituminosa per impregnazione

Il legante per la depolverizzazione può essere costituito da emulsione di bitume tradizionale (Tabella 83) o, per maggiori prestazioni, da emulsione di bitume modificato con polimeri SBS (Tabella 84). In casi specifici la Direzione Lavori può autorizzare l'impiego di una stessa emulsione sia per la prima mano di impregnazione che per le successive.

Emulsione bituminosa per depolverizzazione				
Parametro	Metodo di prova	Unità di misura	Valori richiesti	Classe UNI EN 13808
Polarità	UNI EN 1430	-	positiva	2
Contenuto di bitume	UNI EN 1428	[%]	65 ± 2	8
Sedimentazione a 7 giorni	UNI EN 12847	[%]	≤ 10	3
Adesione	UNI EN 13614	[%]	≥ 90	3
Indice di rottura	UNI EN 13075-1	-	70 - 155	3
Bitume residuo				
Penetrazione a 25°C	UNI EN1426	[0,1 × mm]	≤ 100	3
Punto di rammollimento	UNI EN1427	[°C]	≥ 43	6

Tabella 83. Caratteristiche dell'emulsione bituminosa per depolverizzazione

Emulsione di bitume modificato per depolverizzazione				
Parametro	Metodo di prova	Unità di misura	Valori richiesti	Classe UNI EN 13808
Polarità	UNI EN 1430	-	positiva	2
Contenuto di bitume	UNI EN 1428	[%]	65 ± 2	8
Sedimentazione a 7 giorni	UNI EN 12847	[%]	≤ 10	3
Adesione	UNI EN 13614	[%]	≥ 90	3
Indice di rottura	UNI EN 13075-1	-	70 - 155	3
Bitume residuo				
Penetrazione a 25°C	UNI EN1426	[0,1 × mm]	≤ 100	3
Punto di rammollimento	UNI EN1427	[°C]	≥ 60	2
Coesione a 10°C	UNI EN 13588	[J/cm²]	≥ 2	6
Ritorno elastico	UNI EN 13398	[%]	≥ 75	4

Tabella 84. Caratteristiche dell'emulsione di bitume modificato per depolverizzazione

Il tipo e il dosaggio dei leganti da utilizzare sono mostrati in Tabella 85.

Strato	Designazione	Dosaggio di emulsione [kg/m <sup>2</sup> ]	Dosaggio di bitume residuo [kg/m <sup>2</sup> ]
Impregnazione della fondazione	C55B3	3,0	1,65
Prima mano	C65B3 o C65BP3	1,5	0,98
Seconda mano	C65B3 o C65BP3	1,5	0,98
nel caso di utilizzo di emulsione diversamente diluite deve essere rispettato il relativo dosaggio di bitume residuo			

*Tabella 85. Emulsioni e dosaggi per la depolverizzazione*

Il paragrafo 1.2 (Certificati di prequalifica e relative penali) specifica le modalità di presentazione e accettazione della documentazione di qualifica.

Resta salva la facoltà della Direzione Lavori di verificare con controlli di accettazione i requisiti dichiarati dal produttore.

È ammesso anche l'utilizzo di emulsioni bituminose cationiche diversamente diluite a condizione che non varino gli indicatori di qualità (valutati sul bitume residuo) ed il dosaggio del bitume residuo prescritto.

### 8.1.3 Preparazione del piano di posa

Il piano di posa deve rispondere ai requisiti di quota e sagoma indicati in progetto. Per rinforzare la struttura della strada sono particolarmente indicate le operazioni di stabilizzazione a calce e/o cemento o il misto cementato, prodotto anche con materiali di recupero, che possono così sostituire la fondazione in misto granulare stabilizzato.

Prima di realizzare una depolverizzazione occorre risagomare la sede stradale con il misto granulare stabilizzato 0/20 o 0/30 di categoria G<sub>A</sub>80 o G<sub>A</sub>85, opportunamente steso e compattato e predisporre il corretto lo scolo delle acque.

La livellazione con motorgrader deve portare lo strato di posa alla quota di progetto e ripristinare le pendenze della carreggiata. Nel caso di spiccata macrotessitura, può seguire uno strato di 10/18 G<sub>c</sub> 90/15 con dosaggio di 5 ÷ 6 l/m<sup>2</sup> allo scopo di regolarizzare la superficie.

La fondazione deve essere inumidita e rullata con rullo monocilindro e gommato con peso di almeno 10 t.

### 8.1.4 Equipaggiamento

Per la realizzazione della depolverizzazione sono richiesti appositi mezzi combinati in grado di effettuare simultaneamente e con massima precisione la stesa dell'emulsione bituminosa e della graniglia favorendo una distribuzione omogenea dei componenti.

Lo spargimento automatizzato della graniglia immediatamente dopo lo spruzzamento del legante ne facilita l'ammorsamento e deve evitare qualsiasi difetto dovuto a scarso controllo dei dosaggi e omogeneità.

La fase di rullatura per orientare gli aggregati sulla dimensione minima, immergerli nel legante e incastrarli tra loro deve essere completata da cinque passate di rullo gommato di almeno 10 t che opera a circa 3 km/ora per le prime tre passate e circa 8 km/ora per le ultime due passate. Le gomme non vanno portate a massimo gonfiaggio per assicurare una totale ricopertura delle passate. La rullatura deve essere eseguita su ogni strato.

Dopo una settimana di traffico, può essere valutata la necessità dell'impiego di una motospazzola con aspiratore e setole plastiche per rimuovere l'eventuale eccesso di aggregati senza dislocare quelli ben ammorsati a mosaico nel legante.

### 8.1.5 Esecuzione della depolverizzazione

Per una corretta esecuzione della depolverizzazione le fasi da svolgere sono:

- riprofilatura e compattazione del piano di posa;
- impregnazione dello strato di supporto (fondazione o risagomatura) con emulsione bituminosa in ragione di 3,0 kg/m<sup>2</sup> e simultanea stesa di graniglia 8/12 mm in ragione di 10 l/m<sup>2</sup> (circa 15 kg/m<sup>2</sup>);
- rullatura con rullo gommato con peso superiore a 10 t;
- spruzzatura della prima mano di emulsione bituminosa in ragione di 1,5 kg/m<sup>2</sup> e simultanea stesa di graniglia 8/12 mm in ragione di 10 l/m<sup>2</sup> (circa 15 kg/m<sup>2</sup>);
- rullatura con rullo gommato con peso superiore a 10 t;
- spruzzatura della seconda mano di emulsione bituminosa in ragione di 1,5 kg/m<sup>2</sup> e simultanea stesa di graniglia 4/8 mm in ragione di 5 l/m<sup>2</sup> (circa 7 kg/m<sup>2</sup>);
- rullatura con rullo gommato con peso superiore a 10 t;
- apertura al traffico a velocità ridotta di 30 km/ora per 24 ore.

### 8.1.6 Controlli

Il controllo della qualità dei materiali costituenti deve essere effettuato mediante prove di laboratorio per verificarne le caratteristiche di accettabilità. La mostra il tipo di campione, l'ubicazione, la frequenza dei prelievi e le prove che si devono eseguire per controllare tutto il processo di costruzione.

Controllo dei materiali e verifiche prestazionali			
Tipo di campione	Ubicazione del controllo	Frequenza del controllo	Requisiti
Aggregato in frazione unica	Impianto	Inizio cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	Caratteristiche
Aggregato grosso	Impianto	Inizio cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	Caratteristiche
Emulsione bituminosa	Cisterna	Inizio cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	Caratteristiche
Emulsione bituminosa	Cantiere	Giornaliera o ogni 5000 m <sup>2</sup> di stesa cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	Caratteristiche e dosaggio
Aggregato grosso	Cantiere	Giornaliera o ogni 5000 m <sup>2</sup> di stesa cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	Dosaggio dell'aggregato grosso
Superficie della pavimentazione*	Pavimentazione	Ogni 250 m di stesa cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	Pendulum Test Value (PTV ≥ 45 o 55)
Superficie della pavimentazione	Pavimentazione	Ogni 250 m di stesa cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	Macrotecture depth (MTD ≥ 0,4 - 1,0)
Superficie della pavimentazione	Pavimentazione	Ogni 250 m di stesa cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	Scostamento ( $\Delta \leq 5$ mm)
Superficie della pavimentazione	Pavimentazione	Ogni 250 m di stesa cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	Nessun difetto tramite ispezione visiva (UNI EN 12271-2)

\*solo quando espressamente richiesto

Tabella 86. Controlli per la depolverizzazione

### 8.1.7 Penali

Le detrazioni di seguito descritte sono applicate in punti percentuali sul prezzo di aggiudicazione lavori della depolverizzazione.

Il non rispetto degli aggregati e delle emulsioni accettate per lo specifico uso, comporta il rifiuto del materiale.

Per il dosaggio degli aggregati e del bitume residuo determinato a seguito della spruzzatura è tollerato uno scostamento di  $\pm 10\%$  rispetto al valore richiesto (per esempio, se richiesto  $1,00 \text{ kg/m}^2$  l'intervallo di accettabilità sarebbe  $1,10$  e  $0,90 \text{ kg/m}^2$ ). Al fuori di tale limite l'Impresa aggiudicataria dell'appalto è tenuta ad una immediata correzione della modalità di applicazione.

La granulometria e il contenuto di bitume riscontrati dopo l'estrazione, in riferimento alla ricetta (prodotto accettato dalla Direzione Lavori), deve rispettare le seguenti tolleranze:

- granulometria: per dimensione superiore o uguale a  $4 \text{ mm}$  si applica una tolleranza di  $\pm 5$  punti percentuali;
- granulometria: per dimensioni comprese tra  $4$  e  $0,063 \text{ mm}$  si applica una tolleranza di  $\pm 3$  punti percentuali;
- granulometria: al passante al setaccio  $0,063 \text{ mm}$  si applica una tolleranza di  $\pm 1,5$  punti percentuali;
- contenuto di bitume: si applica una tolleranza del  $\pm 5\%$  rispetto al valore dichiarato per il progetto.

Nel caso di non conformità la Direzione Lavori può richiedere, in funzione del contesto, il rifacimento dello strato, opere di ripristino a spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto o l'applicazione di una detrazione del 10% sul prezzo di aggiudicazione della lavorazione per lo strato interessato. La superficie di riferimento è calcolata considerando la lunghezza compresa tra la metà della distanza dalla misurazione precedente e la metà della distanza dalla misurazione successiva (oppure considerando la lunghezza del tronco omogeneo) moltiplicato per la larghezza dell'intervento.

La superficie deve risultare prima da difetti riscontrabili da ispezione visiva secondo la UNI EN 12271-2. In caso contrario la Direzione Lavori può richiedere, in funzione del contesto, il rifacimento dello strato, opere di ripristino a spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto o l'applicazione di una detrazione del 10% sul prezzo di aggiudicazione lavori della lavorazione per lo strato interessato. La superficie di riferimento è calcolata considerando la lunghezza compresa tra la metà della distanza dalla misurazione precedente e la metà della distanza dalla misurazione successiva (oppure considerando la lunghezza del tronco omogeneo) moltiplicato per la larghezza dell'intervento.

La superficie dello strato deve presentarsi priva di irregolarità ed ondulazioni. È tollerato uno scostamento massimo di  $5 \text{ mm}$  al di sopra del quale la Direzione Lavori può richiedere, in funzione del contesto, il rifacimento dello strato, opere di ripristino a spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto o l'applicazione di una detrazione del 10% sul prezzo di aggiudicazione lavori della lavorazione per lo strato interessato. La superficie di riferimento è calcolata considerando la lunghezza compresa tra la metà della distanza dalla misurazione precedente e la metà della distanza dalla misurazione successiva (oppure considerando la lunghezza del tronco omogeneo) moltiplicato per la larghezza dell'intervento.

Per valori PTV inferiori al valore richiesto è applicata una detrazione dell'1% per ogni unità in meno. Valori PTV inferiori a 40 comportano in funzione del contesto, il rifacimento dello strato, opere di ripristino a spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto o l'applicazione di una detrazione del 10% sul prezzo di aggiudicazione della lavorazione per lo strato interessato. La superficie a cui applicare la detrazione sarà

calcolata considerando la lunghezza compresa tra la metà della distanza dalla misurazione precedente e la metà della distanza dalla misurazione successiva (oppure considerando la lunghezza del tronco omogeneo) moltiplicato per la larghezza dell'intervento.

Per valori MTD inferiori a 0,40 e superiori a 1,0 è applicata una detrazione dell'1% per ogni 5 decimi di scostamento. Valori MTD inferiori a 0,25 o superiori a 1,15 comportano, in funzione del contesto, il rifacimento dello strato, opere di ripristino a spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto o l'applicazione di una detrazione del 10% sul prezzo di aggiudicazione della lavorazione per lo strato interessato. La superficie a cui applicare la detrazione è calcolata considerando la lunghezza compresa tra la metà della distanza dalla misurazione precedente e la metà della distanza dalla misurazione successiva (oppure considerando la lunghezza del tronco omogeneo) moltiplicato per la larghezza dell'intervento.

Salvo casi particolari che andranno giudicati dalla Direzione Lavori, le penali precedentemente indicate sono cumulabili.

## 8.2 Microtappeto a freddo

### **Elenco prezzi: monostrato NV 22; doppio strato NV 23.**

Il microtappeto a freddo (UNI EN 12273) è definito come una miscela bituminosa autolivellante e autocompattante caratterizzata da uno stato semiliquido in fase di produzione e stesa. L'evoluzione dello stato di consistenza fino al raggiungimento di uno stato solido deve avvenire entro un'ora dalla posa. Il microtappeto a freddo è composto da emulsione di bitume modificato, aggregati (granulometria continua), acqua e additivi (cemento, calce, cenere volante, attivanti di adesione, fibre ecc.).

Il microtappeto a freddo è proporzionato, mescolato e uniformemente steso in situ a temperatura ambiente come una ricopertura omogenea sopra una superficie appropriatamente preparata alla quale deve aderire perfettamente. In riferimento al progetto specifico, il microtappeto può essere impiegato in due strati sovrapposti o in strato unico usualmente dello spessore pari alla dimensione massima della miscela di aggregati. A seguito della presa il microtappeto deve essere rullato con rullo gommato leggero per migliorare l'adesione con il piano di posa specialmente nelle aree dove insistono maggiori sforzi tangenziali (variazioni di pendenza, di tracciato e di velocità di percorrenza).

La miscela impiegata deve essere qualificata in conformità al regolamento UE 305/2011 sui prodotti da costruzione. Ciascuna fornitura deve essere accompagnata dal documento di trasporto e dalla dichiarazione di prestazione (DoP), attestante la conformità alla relativa norma europea armonizzata, da fornire alla Direzione Lavori al momento della consegna in cantiere.

Una volta accettato il materiale da parte della Direzione Lavori, l'Impresa aggiudicataria dell'appalto, è vincolata al rigoroso utilizzo di tutte le sue componenti nel rispetto delle tolleranze riportate nel paragrafo Penali.

### 8.2.1 Aggregati

Gli aggregati lapidei costituiscono la matrice litica del microtappeto a freddo e sono composti da aggregati grossi, fini, in frazione unica e filler incluso nella frazione fine o di additivazione.

Gli aggregati grossi e fini sono costituiti da elementi ottenuti dalla lavorazione di materiali naturali (rocce, aggregati naturali a spigoli vivi). L'aggregato grosso ( $D \leq 45$  mm;  $d \geq 2$  mm) può essere di provenienza o natura petrografica diversa purché risultino soddisfatti i requisiti indicati nella Tabella 87. La designazione dell'aggregato grosso deve essere effettuata mediante le dimensioni dei setacci appartenenti al gruppo di base, più gruppo 2 della UNI EN 13043.

Parametro	Metodo di prova	Unità di misura	Valori richiesti	Categoria UNI EN 13043
Resistenza alla frammentazione	UNI EN 1097-2	[%]	$\leq 20$	LA <sub>20</sub>
Resistenza all'usura (umida)	UNI EN 1097-1		$\leq 10$	M <sub>DE10</sub>
Percentuale di particelle frantumate	UNI EN 933-5	[%]	100	C <sub>100/0</sub>
Passante allo staccio 0,063 mm	UNI EN 933-1	[%]	$\leq 2$	f <sub>4</sub>
Resistenza al gelo e disgelo	UNI EN 1367-1	[%]	$\leq 1$	F <sub>1</sub>
Coefficiente di appiattimento	UNI EN 933-3	[%]	$\leq 10$	FI <sub>10</sub>
Coefficiente di forma	UNI EN 933-4	[%]	$\leq 15$	SI <sub>15</sub>
Resistenza alla levigabilità	UNI EN 1097-8	[-]	$\geq 50$	PSV <sub>50</sub>
Assorbimento d'acqua	UNI EN 1097-6	[%]	$\leq 2$	WA <sub>242</sub>

Tabella 87. Caratteristiche dell'aggregato grosso per microtappeto a freddo

L'aggregato fine ( $D \leq 2$  mm;  $d = 0$  mm) deve essere costituito esclusivamente da sabbie di frantumazione e potrà essere di provenienza o natura petrografica diversa purché, per ogni tipologia, risultino soddisfatti i requisiti indicati nella Tabella 88. Per motivi di congruenza con le pezzature fini attualmente prodotte in Italia, è permesso l'impiego come aggregato fine anche di aggregati in frazione unica con dimensione massima  $D = 4$  mm. La designazione dell'aggregato fine deve essere effettuata mediante le dimensioni dei setacci appartenenti al gruppo di base, più gruppo 2 della UNI EN 13043. La roccia da cui è ricavata per frantumazione la sabbia deve avere caratteristiche di resistenza conformi a quanto riportato in Tabella 87.

Parametro	Metodo di prova	Unità di misura	Valori richiesti	Categoria UNI EN 13043
Equivalente in sabbia	UNI EN 933-8	[%]	$\geq 70$	SE <sub>70</sub>
Indice di plasticità	UNI CEN ISO/TS 17892-12	-	Non plastico	-
Blu di metilene	UNI EN 933-9	[g/kg]	$\leq 2$	-

Tabella 88. Caratteristiche dell'aggregato fine per microtappeto a freddo

Il filler, frazione per la maggior parte passante allo staccio 0,063 mm, può essere costituito da polvere di roccia preferibilmente silicea, da cemento, calce idrata, ceneri volanti. Il filler deve inoltre soddisfare i requisiti indicati in Tabella 89. La granulometria del filler deve essere conforme a quella prevista della norma UNI EN 13043.

Parametro	Metodo di prova	Unità di misura	Valori richiesti	Categoria UNI EN 13043
Indice di plasticità	UNI CEN ISO/TS 17892-12	-	Non plastico	-
Porosità del filler secco compattato (Rigden)	UNI EN 1097-4	[%]	$\geq 38$	V <sub>38/45</sub>
Passante al setaccio 0,063 mm	-	[%]	$\geq 70$	-
Stiffening Power	UNI EN 13179-1	[°C]	$8 \div 25$	$\Delta_{R\&B} 8/25$

Tabella 89. Caratteristiche del filler per microtappeto a freddo

In alternativa è possibile usare l'aggregato in frazione unica ( $D > 6,3$  mm;  $d = 0$ ) nel rispetto dei requisiti di Tabella 87, Tabella 88 e Tabella 89 e della granulometria riportata in Tabella 91.

Il paragrafo 1.2 (Certificati di prequalifica e relative penali) specifica le modalità di presentazione e accettazione della documentazione di qualifica.

Resta salva la facoltà della Direzione Lavori di verificare con controlli di accettazione i requisiti dichiarati dal produttore.

### 8.2.2 Emulsione di bitume modificato

Le emulsioni bituminose impiegate per il microtappeto a freddo devono avere caratteristiche specifiche (UNI EN 13808, UNI/TR 11362). Ciascuna fornitura deve essere accompagnata dal documento di trasporto e DoP, attestante la conformità norma europea armonizzata UNI EN 13808, da fornire alla Direzione Lavori al momento della consegna in cantiere.

Il materiale da impiegare per il microtappeto è una emulsione cationica di bitume modificato a rottura controllata (da lenta a rapida) in funzione delle condizioni climatiche e di apertura al traffico rispondente alle specifiche indicate nella Tabella 90.

Emulsione di bitume modificato				
Parametro	Metodo di prova	Unità di misura	Valori richiesti	Classe UNI EN 13808
Polarità	UNI EN 1430	-	positiva	2
Contenuto di bitume	UNI EN 1428	[%]	65 ± 2	7
Sedimentazione a 7 giorni	UNI EN 12847	[%]	≤ 10	3
Indice di rottura	UNI EN 13075-1	-	110 - 195	4
Adesività con aggregati	UNI EN 13614 UNI CN/TS 16346	[%]	90	3
Viscosità (Tempo di efflusso a 40°C)	UNI EN 12846	[s]	5-70	5
Bitume residuo				
Penetrazione a 25°C	UNI EN1426	[0,1 × mm]	≤ 100	3
Punto di rammollimento	UNI EN1427	[°C]	≥ 55	3
Ritorno elastico	UNI EN 13398	[%]	≥ 50	5
Punto di rottura Fraass	UNI EN 12593	[°C]	≤ 10	5
Coesione (Force Ductility a 5°C)	UNI EN 13589 UNI EN 13703	[J/cm²]	≥ 2	3

Tabella 90. Caratteristiche dell'emulsione di bitume modificato per microtappeto a freddo

Il paragrafo 1.2 (Certificati di prequalifica e relative penali) specifica le modalità di presentazione e accettazione della documentazione di qualifica.

Resta salva la facoltà della Direzione Lavori di verificare con controlli di accettazione i requisiti dichiarati dal produttore.

### 8.2.3 Cemento

Il cemento deve presentare denominazione e DoP secondo la UNI EN 197-1. L'Impresa aggiudicataria dell'appalto, è tenuta a presentare la documentazione attestante la DoP del cemento che intende impiegare secondo la UNI EN 197-1.

Le caratteristiche del cemento devono includere la granulometria (Passante al 2; 0,125; 0,063 mm), massa volumica e superficie specifica (Blain).

Il paragrafo 1.2 (Certificati di prequalifica e relative penali) specifica le modalità di presentazione e accettazione della documentazione di qualifica.

Resta salva la facoltà della Direzione Lavori di verificare con controlli di accettazione i requisiti dichiarati dal produttore.

### 8.2.4 Miscela di progetto

La miscela degli aggregati da adottare per la produzione del microtappeto a freddo, deve avere una composizione granulometrica contenuta nei fusi riportati in Tabella 91. La percentuale di bitume modificato deve essere compresa nei limiti indicati nella stessa tabella.

Per il microtappeto in strato unico si raccomanda una granulometria compresa nel fuso 0/8, mentre per doppio strato si raccomanda uno strato di livellamento con granulometria compresa nel fuso 0/4 e uno strato di ricopertura con granulometria compresa nel fuso 0/8. La Tabella 91 mostra anche gli intervalli consentiti per il dosaggio del bitume, cemento, acqua e miscela. Il dosaggio della miscela è indicativo in quanto esso dipende dalla densità degli aggregati, forma e tessitura della superficie di posa.

Fuso granulometrico		
Classe di conglomerato bituminoso riciclato a caldo	0/4	0/8
Apertura setacci UNI [mm]	Passante totale in peso [%]	
10	-	100
8	-	90 - 100
6	100	70 - 95
4	85 - 100	55 - 75
2	55 - 85	35 - 50
0,5	15 - 35	15 - 30
0,25	10 - 25	8 - 20
0,063	6,0 - 10,0	5,0 - 10,0
Dosaggio di bitume		
Contenuto di bitume riferito alla miscela [%]	6,5 - 9,5	6,1 - 8,3
Contenuto di bitume riferito agli aggregati [%]	7,0 - 10,5	6,5 - 9,0
Dosaggio di cemento		
Contenuto di cemento riferito agli aggregati [%]	0,5 - 2,0	0,5 - 2,0
Dosaggio di acqua		
Contenuto di acqua riferito agli aggregati [%]	10,0 - 20,0	10,0 - 15,0
Dosaggio della miscela		
Dosaggio della miscela [kg/m <sup>3</sup> ]	10,0 - 15,0	15,0 - 20,0

I valori del contenuto di bitume devono essere adeguati agli aggregati utilizzati moltiplicandoli per il fattore:  
 $a = 2,650/\rho_a$ , dove  $\rho_a$  è la massa volumica apparente degli aggregati, in Mg/m<sup>3</sup> determinata secondo la UNI EN 1097-6.

Tabella 91. Fuso di progetto, intervallo del contenuto di bitume e dosaggio di miscela per microtappeto a freddo

La miscela per il microtappeto a freddo deve rispettare i requisiti riportati in Tabella 92. Il dosaggio ottimo di acqua deve essere identificato con il supporto di prove di consistenza secondo la norma UNI EN 12274-3 ed eventualmente aggiustato in opera in funzione delle condizioni climatiche e della superficie di posa.

Parametro	Metodo di prova	Unità di misura	Valori richiesti
Coesione dopo 30 min.	UNI EN 12274-4	[N·m]	≥ 1,2
Coesione dopo 60 min.	UNI EN 12274-4	[N·m]	≥ 2,0
Consistenza	UNI EN 12274-3	[mm]	25 - 35
Usura (immersione: 1 ora)	UNI EN 12274-5	[g/m <sup>2</sup> ]	< 500

Tabella 92. Prestazione della miscela per microtappeto a freddo

I tempi necessari al raggiungimento di un valore di coesione secondo la UNI EN 12274-4 di 1,2 e 2,0 N·m, rispettivamente corrispondenti al tempo di presa e di apertura al traffico devono essere dichiarati.

La curva granulometrica degli aggregati minerali, la curva granulometria della miscela (incluso il filler attivo), tutte le componenti della ricetta di progetto e l'intervallo di temperatura di impiego dell'emulsione e della miscela all'uscita dal banco devono essere dichiarate dal produttore.

Il produttore deve dichiarare il TAIT (Type approval installation trial) o ITT riferito ad una sezione dove il prodotto è stato applicato usando il FPC (Facotry production control) ed è stato sottomesso a prove prestazionali dopo un anno (UNI EN 12273).

Il paragrafo 1.2 (Certificati di prequalifica e relative penali) specifica le modalità di presentazione e accettazione della documentazione di qualifica.

Resta salva la facoltà della Direzione Lavori di verificare con controlli di accettazione i requisiti dichiarati dal produttore.

## 8.2.5 Preparazione della superficie di stesa

In funzione del contesto, la Direzione Lavori può richiedere la preparazione del giunto trasversale nella sezione di inizio e fine del trattamento per garantire perfetta complanarità con la pavimentazione esistente antecedente o successiva all'intervento tramite una fresatura di ampiezza di almeno 50 cm e profondità pari allo spessore del microtappeto. Le stesse modalità devono essere adottate in caso di presenza di pozzi per i quali non si preveda l'aggiustamento in quota.

Prima della realizzazione del microtappeto a freddo si deve procedere alla preparazione del piano di posa mediante pulizia della superficie stradale (rimozione di detriti, macchie di olio, polveri e sostanze estranee), sigillatura delle fessure, eventuale umidificazione del supporto se completamente asciutto e riprofilatura dei tratti deformati. Nel caso in cui siano presenti chiusini, pozzi, caditoie o altre singolarità, Impresa aggiudicataria dell'appalto deve comunque garantire la regolarità del piano e omogeneità di stesa oltre che provvedere ad apposita protezione dei servizi per consentirne un appropriato funzionamento.

## 8.2.6 Posa in opera della miscela

Il confezionamento dell'impasto deve essere realizzato con apposita macchina impastatrice-stenditrice semovente in grado di assicurare lo stoccaggio dei materiali costituenti (aggregati lapidei, emulsione bituminosa, acqua, additivi, regolatori di rottura), il corretto dosaggio, una intima miscelazione, la stesa e il livellamento delle miscele mediante apposito stenditore a carter.

Nei casi in cui siano presenti zone caratterizzate da elevate sollecitazioni tangenziali o che presentino un profilo irregolare, è raccomandabile effettuare due strati di malta bituminosa. Il secondo strato deve essere sovrapposto al primo dopo almeno un giorno di servizio.

Al termine delle operazioni di stesa il microtappeto deve presentare un aspetto superficiale regolare, scabra e uniforme (omogenea distribuzione degli elementi litoidi componenti la miscela), esente da difetti (UNI EN 12274-8), imperfezioni (sbavature, strappi, giunti di ripresa) e nessun fenomeno di trasudamento del legante.

In zone caratterizzate da elevate sollecitazioni superficiali tangenziali è opportuno che la malta bituminosa sia rullata prima del completo indurimento per assicurare un miglior fissaggio del manto bituminoso alla superficie sottostante. La rullatura deve essere effettuata con apposito rullo gommato in grado di simulare l'azione del traffico veicolare. Il rullo gommato deve procedere a velocità inferiore a 5 km/h, evitando variazioni di direzione, di velocità e marcia al di sopra del trattamento. Tutta la superficie dovrà essere rullata in maniera omogenea operando per fasce con sovrapposizione di almeno 20 cm. Per evitare qualsiasi distacco di materiale in fase di rullatura è raccomandato bagnare le ruote del mezzo con apposita soluzione anti-incollaggio.

La produzione o la posa in opera del microtappeto deve essere interrotta con temperatura dell'aria inferiore a 5 °C ed in caso di pioggia.

A termine dei lavori, l'Impresa aggiudicataria dell'appalto deve provvedere a liberare e alla completa pulizia dell'area adibita a stoccaggio dei materiali ed eventuale parcheggio dei mezzi.

## 8.2.7 Controlli

Il controllo della qualità microtappeto a freddo deve essere effettuato mediante prove di laboratorio sui materiali costituenti, sulla miscela e sulla superficie dello strato finito per verificarne le caratteristiche di accettabilità. La Tabella 93 mostra il tipo di campione, l'ubicazione e la frequenza del controllo e i requisiti da rispettare durante tutto il processo di costruzione.

Controllo dei materiali e verifiche prestazionali			
Tipo di campione	Ubicazione del controllo	Frequenza del controllo	Requisiti
Aggregato grosso	Stoccaggio	Inizio cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	Caratteristiche
Aggregato fine	Stoccaggio	Inizio cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	Caratteristiche
Filler	Stoccaggio	Inizio cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	Caratteristiche
Emulsione bituminosa	Cisterna	Inizio cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	Caratteristiche
Microtappeto sfuso	Vibrofinitrice	Giornaliera o ogni 5000 m <sup>2</sup> di stesa o a discrezione della Direzione Lavori	Temperatura di stesa, proporzionamento, dosaggio e prestazioni della miscela
Superficie della pavimentazione	Pavimentazione	Ogni 250 m di stesa cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	Scostamento ( $\Delta \leq 5$ mm)
Superficie della pavimentazione	Pavimentazione	Ogni 250 m di stesa cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	Pendulum Test Value (PTV $\geq 60$ )
Superficie della pavimentazione	Pavimentazione	Ogni 250 m di stesa cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	Macrotexture depth (MTD = 0,4 - 1,0)
Superficie della pavimentazione	Pavimentazione	Ogni 250 m di stesa cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	Ispezione visiva, privo di difetti

Tabella 93. Controlli per il microtappeto a freddo

La temperatura di stesa del microtappeto deve essere controllata immediatamente dietro la macchina combinata all'atto della stesa e deve rispettare l'intervallo di temperatura dichiarato per lo specifico prodotto.

Ogni prelievo deve essere costituito da due campioni:

- uno utilizzato per i controlli presso un laboratorio conto terzi selezionato dalla Direzione Lavori;
- uno a disposizione dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto.

Per ogni campione di microtappeto sfuso sono determinate: la percentuale di bitume (UNI EN 12697-1), il contenuto di acqua, la granulometria degli aggregati estratti (UNI EN 12697-2) e il dosaggio della miscela.

La macrotessitura e la resistenza allo slittamento/derapaggio sulla superficie stradale devono essere verificate rispettivamente con la tecnica volumetrica ad impronta (UNI EN 13036-1) e il metodo del pendolo (UNI EN 13036-4) tra il trentesimo e il sessantesimo giorno dall'apertura al traffico.

Le eventuali irregolarità superficiali dovranno essere misurate in direzione longitudinale e trasversale tramite un regolo di 3 m (UNI EN 13036-7).

La valutazione dei dissesti (UNI EN 12274-8) è eseguita tra l'undicesimo e il dodicesimo mese dalla stesa sotto traffico.

## 8.2.8 Penali

Le detrazioni di seguito descritte saranno applicate in punti percentuali sul prezzo di aggiudicazione lavori del microtappeto a freddo (preparazione, materiale e stesa).

Il non rispetto dell'intervallo di temperatura di stesa o dell'emulsione dichiarato per lo specifico prodotto comporta il rifiuto del materiale.

Per i materiali costituenti, le caratteristiche compositive, volumetriche e meccaniche della miscela, la Direzione Lavori valuta l'accettabilità della miscela e le eventuali penali da applicare.

La granulometria e il contenuto di bitume riscontrati dopo l'estrazione del materiale sciolto, in riferimento alla ricetta (prodotto accettato dalla Direzione Lavori), deve rispettare le seguenti tolleranze:

- granulometria: per dimensione superiore o uguale a 4 mm si applica una tolleranza di  $\pm 5$  punti percentuali;
- granulometria: per dimensioni comprese tra 4 e 0,063 mm si applica una tolleranza di  $\pm 3$  punti percentuali;
- granulometria: al passante al setaccio 0,063 mm si applica una tolleranza di  $\pm 1,5$  punti percentuali;
- contenuto di bitume: si applica una tolleranza del  $\pm 5\%$  rispetto al valore dichiarato per la miscela di progetto.

Nel caso di non conformità la Direzione Lavori può richiedere, in funzione del contesto, il rifacimento dello strato, opere di ripristino a spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto o l'applicazione di una detrazione del 10% sul prezzo di aggiudicazione della lavorazione per lo strato interessato. La superficie di riferimento è calcolata considerando la lunghezza compresa tra la metà della distanza dalla misurazione precedente e la metà della distanza dalla misurazione successiva (oppure considerando la lunghezza del tronco omogeneo) moltiplicato per la larghezza dell'intervento.

Per valori PTV inferiori a 60 è applicata una detrazione dell'1% per ogni unità in meno. Valori PTV inferiori a 50 comportano in funzione del contesto, il rifacimento dello strato, opere di ripristino a spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto o l'applicazione di una detrazione del 10% sul prezzo di aggiudicazione della lavorazione per lo strato interessato. La superficie a cui applicare la detrazione è calcolata considerando la lunghezza compresa tra la metà della distanza dalla misurazione precedente e la metà della distanza dalla misurazione successiva (oppure considerando la lunghezza del tronco omogeneo) moltiplicato per la larghezza dell'intervento.

Per valori MTD inferiori a 0,40 o superiori a 1,00 è applicata una detrazione dell'1% per ogni 5 decimi di scostamento. Valori MTD inferiori a 0,30 o superiori a 1,10 comportano, in funzione del contesto, il rifacimento dello strato, opere di ripristino a spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto o l'applicazione di una detrazione del 10% sul prezzo di aggiudicazione della lavorazione per lo strato interessato. La superficie a cui applicare la detrazione è calcolata considerando la lunghezza compresa tra la metà della distanza dalla misurazione precedente e la metà della distanza dalla misurazione successiva (oppure considerando la lunghezza del tronco omogeneo) moltiplicato per la larghezza dell'intervento.

La superficie dello strato deve presentarsi priva di irregolarità, sgranamenti e ondulazioni. È tollerato uno scostamento massimo di 5 mm al di sopra del quale la Direzione Lavori può richiedere, in funzione del contesto, la rimozione dello strato e la successiva ricostruzione o la sovrapposizione di un nuovo trattamento a spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto o l'applicazione di una detrazione del 10% sul prezzo di

aggiudicazione lavori dello strato. La superficie di riferimento è calcolata considerando la lunghezza compresa tra la metà della distanza dalla misurazione precedente e la metà della distanza dalla misurazione successiva (oppure considerando la lunghezza del tronco omogeneo) moltiplicato per la larghezza dell'intervento. La Direzione Lavori può applicare le opportune tolleranze in funzione della regolarità del piano di posa (pavimentazione esistente) nel caso in cui non si preveda lo strato di livellamento ma si operi in strato unico.

L'Impresa aggiudicataria dell'appalto è tenuta a garantire il buon funzionamento (assenza di dissesti secondo la UNI EN 12274-8) del materiale per una durata di 12 mesi a decorrere dall'apertura al traffico della tratta. In caso si dovessero manifestare difetti prima dei 12 mesi, l'Impresa aggiudicataria dell'appalto deve provvedere a sua cura e spese al ripristino nel rispetto delle relative prescrizioni.

Salvo casi particolari che andranno giudicati dalla Direzione Lavori, le penali precedentemente indicate sono cumulabili.



Capitolato Speciale d'Appalto per la Manutenzione  
Straordinaria di Pavimentazioni Stradali  
Versione 23-10-2022

GEAT s.r.l.

Sede legale:

Viale Lombardia 17 – 47838 Riccione (RN)

tel.: 0541/668011 - fax: 0541/643613

PEC: geat@legal-pec.it - www.geat.it

## 9 Sistemi all'interfaccia

## 9.1 Impregnazione

### **Elenco prezzi: NV 24.**

Per impregnazione (mano di ancoraggio) si intende l'applicazione di una emulsione bituminosa a rottura media o lenta e bassa viscosità, spruzzata sopra uno strato di misto granulare o misto cementato prima della realizzazione di uno strato in conglomerato bituminoso. Scopo di tale lavorazione è quello di riempire i vuoti dello strato non legato o macrorugoso rendendo coesa la parte superficiale, impermeabilizzare la superficie di posa e fornire una migliore adesione del successivo strato in conglomerato bituminoso.

Le emulsioni bituminose impiegate per l'impregnazione devono avere caratteristiche specifiche (UNI EN 13808, UNI/TR 11362). Ciascuna fornitura deve essere accompagnata dal documento di trasporto e dalla marcatura CE, attestante la conformità norma europea armonizzata UNI EN 13808, da consegnare al momento della consegna in cantiere.

### 9.1.1 Emulsione bituminosa a rottura lenta

Il materiale da impiegare per l'impregnazione è una emulsione bituminosa cationica a rottura lenta o media rispondente alle specifiche indicate nella Tabella 94. È ammesso anche l'utilizzo di emulsioni bituminose cationiche diversamente diluite a condizione che non varino gli indicatori di qualità (valutati sul bitume residuo) ed il dosaggio del bitume residuo prescritto.

Emulsione bituminosa per impregnazione				
Parametro	Metodo di prova	Unità di misura	Valori richiesti	Classe UNI EN 13808
Polarità	UNI EN 1430	-	positiva	2
Contenuto di bitume	UNI EN 1428	[%]	55 ± 2	5
Sedimentazione a 7 giorni	UNI EN 12847	[%]	≤ 10	3
Indice di rottura	UNI EN 13075-1	-	> 110	4 o 5
Bitume residuo				
Penetrazione a 25°C	UNI EN1426	[0,1 × mm]	≤ 220	5
Punto di rammollimento	UNI EN1427	[°C]	≥ 35	8

*Tabella 94. Caratteristiche dell'emulsione bituminosa per impregnazione*

Il paragrafo 1.2 (Certificati di prequalifica e relative penali) specifica le modalità di presentazione e accettazione della documentazione di qualifica.

### 9.1.2 Posa in opera dell'impregnazione

Prima dell'applicazione dell'impregnazione l'Impresa aggiudicataria dell'appalto deve rimuovere tutte le impurità presenti tramite spazzolatura meccanica e aspirazione.

L'emulsione bituminosa deve essere spruzzata tramite autobotte dotata di barra posteriore con ugelli perfettamente funzionanti tali da lasciare un velo di emulsione omogeneo e garantire la ricopertura di tutta la superficie di applicazione.

Il dosaggio di bitume residuo pari a 1,0 kg/m<sup>2</sup>. L'emulsione bituminosa deve essere saturata tramite la stesa con mezzi idonei di graniglia o filler o sabbia fine a discrezionalità della Direzione Lavori. La sovrapposizione di strisciati adiacenti deve essere di 10 cm.

Nel caso di piccoli interventi, la Direzione Lavori si riserva la possibilità di accettare l'uso di una unica emulsione sia per impregnazione che per mano d'attacco a favore di una più facile gestione del cantiere.

### 9.1.3 Controlli

Il controllo della qualità è effettuato mediante prove di laboratorio sui materiali costituenti e sulla superficie dello strato per verificarne le caratteristiche di accettabilità. La Tabella 95 mostra il tipo di campione, l'ubicazione e la frequenza del controllo e i requisiti da rispettare durante tutto il processo di costruzione.

Controllo dei materiali e verifiche prestazionali			
Tipo di campione	Ubicazione del controllo	Frequenza del controllo	Requisiti
Emulsione bituminosa	Cisterna	Inizio cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	Caratteristiche
Emulsione bituminosa	Cantiere	Giornaliera o ogni 5000 m <sup>2</sup> di stesa o a discrezione della Direzione Lavori	Dosaggio e caratteristiche

Tabella 95. Controlli da eseguire per l'impregnazione

### 9.1.4 Penali

Le detrazioni di seguito descritte saranno applicate in punti percentuali sul prezzo di aggiudicazione lavori dell'impregnazione (preparazione, materiale e stesa).

Il non rispetto delle emulsioni accettate per lo specifico uso, comporta il rifiuto del materiale.

Per il dosaggio di bitume residuo per mano d'attacco o di impregnazione determinato a seguito della spruzzatura è tollerato uno scostamento di  $\pm 10\%$  rispetto al valore richiesto (per esempio, se richiesto 1,0 kg/m<sup>2</sup> l'intervallo di accettabilità è 1,1 e 0,9 kg/m<sup>2</sup>). Al fuori di tale limite l'Impresa aggiudicataria dell'appalto è tenuta ad una immediata correzione della modalità di applicazione.

Nel caso di non conformità della lavorazione la Direzione Lavori può richiedere, in funzione del contesto, il rifacimento dello strato, opere di ripristino a spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto o l'applicazione di una detrazione del 10% sul prezzo di aggiudicazione della lavorazione per lo strato interessato. La superficie di riferimento è calcolata considerando la lunghezza compresa tra la metà della distanza dalla misurazione precedente e la metà della distanza dalla misurazione successiva (oppure considerando la lunghezza del tronco omogeneo) moltiplicato per la larghezza dell'intervento.

## 9.2 Mano d'attacco

### **Elenco prezzi: C01.022.005.b.**

Per mano d'attacco si intende l'applicazione di una emulsione bituminosa a rottura rapida, spruzzata sopra uno strato di conglomerato bituminoso (nuovo, fresato o usurato) prima della realizzazione di uno strato in conglomerato bituminoso. Scopo di tale lavorazione è quello di rendere solidali i due strati sovrapposti ed evitare possibili scorrimenti relativi tra i due strati in successione, aumentando l'adesione all'interfaccia.

Le emulsioni bituminose impiegate per la mano d'attacco devono avere caratteristiche specifiche (UNI EN 13808, UNI/TR 11362). Ciascuna fornitura deve essere accompagnata dal documento di trasporto e dalla marcatura CE, attestante la conformità norma europea armonizzata UNI EN 13808, da consegnare al momento della consegna in cantiere.

### 9.2.1 Emulsione bituminosa a rottura rapida

Il materiale da impiegare a tale fine è rappresentato da una emulsione bituminosa cationica a rottura rapida rispondente alle specifiche indicate nella Tabella 96. È ammesso anche l'utilizzo di emulsioni bituminose cationiche diversamente diluite a condizione che non varino gli indicatori di qualità (valutati sul bitume residuo) ed il dosaggio del bitume residuo prescritto.

Emulsione bituminosa per mano d'attacco				
Parametro	Metodo di prova	Unità di misura	Valori richiesti	Classe UNI EN 13808
Polarità	UNI EN 1430	-	positiva	2
Contenuto di bitume	UNI EN 1428	[%]	65 ± 2	8
Sedimentazione a 7 giorni	UNI EN 12847	[%]	≤ 10	3
Indice di rottura	UNI EN 13075-1	-	70 - 155	3
Bitume residuo				
Penetrazione a 25°C	UNI EN1426	[0,1 × mm]	≤ 100	3
Punto di rammollimento	UNI EN1427	[°C]	≥ 43	6

Tabella 96. Caratteristiche dell'emulsione bituminosa per mano d'attacco

In alcuni casi specifici può essere richiesto l'uso di emulsione di bitume modificato (Tabella 97).

Emulsione di bitume modificato per mano d'attacco				
Parametro	Metodo di prova	Unità di misura	Valori richiesti	Classe UNI EN 13808
Polarità	UNI EN 1430	-	positiva	2
Contenuto di bitume	UNI EN 1428	[%]	69 ± 2	9
Sedimentazione a 7 giorni	UNI EN 12847	[%]	≤ 10	3
Indice di rottura	UNI EN 13075-1	-	70 - 155	3
Bitume residuo				
Penetrazione a 25°C	UNI EN1426	[0,1 × mm]	≤ 100	3
Punto di rammollimento	UNI EN1427	[°C]	≥ 60	2
Ritorno elastico	UNI EN 13398	[%]	≥ 50	3

Tabella 97. Caratteristiche dell'emulsione di bitume modificato per mano d'attacco

Il paragrafo 1.2 (Certificati di prequalifica e relative penali) specifica le modalità di presentazione e accettazione della documentazione di qualifica.

### 9.2.2 Posa in opera della mano d'attacco

Prima dell'applicazione della mano d'attacco l'Impresa aggiudicataria dell'appalto deve rimuovere tutte le impurità presenti tramite spazzolatura meccanica e aspirazione.

L'emulsione bituminosa deve essere spruzzata tramite autobotte dotata di barra posteriore con ugelli perfettamente funzionanti tali da lasciare un velo di emulsione omogeneo e garantire la ricopertura di tutta la superficie di applicazione. Il dosaggio di bitume residuo varia a seconda del tipo del piano di posa. Quando la mano d'attacco è applicata su un conglomerato bituminoso di nuova costruzione (strato nuovo o di risagomatura), il dosaggio dell'emulsione bituminosa deve essere tale che il bitume residuo risulti pari a 0,30 kg/m<sup>2</sup>. Quando la mano d'attacco è applicata su una pavimentazione precedentemente fresata il dosaggio deve essere di 0,45 kg/m<sup>2</sup> di bitume residuo. Quando la mano d'attacco è applicata sopra una vecchia pavimentazione in conglomerato bituminoso (ricopertura o risagomatura) il dosaggio deve essere di 1,00 kg/m<sup>2</sup> di bitume residuo. La sovrapposizione di strisciate adiacenti deve essere di 10 cm.

L'emulsione bituminosa deve essere saturata tramite la stesa con mezzi idonei di filler o sabbia fine.

Nel caso di piccoli interventi, la Direzione Lavori si riserva la possibilità di accettare l'uso di una unica emulsione sia per impregnazione che per mano d'attacco a favore di una più facile gestione del cantiere.

### 9.2.3 Controlli

Il controllo della qualità è effettuato mediante prove di laboratorio sui materiali costituenti e sulla superficie dello strato per verificarne le caratteristiche di accettabilità. La Tabella 98 mostra il tipo di campione, l'ubicazione e la frequenza del controllo e i requisiti da rispettare durante tutto il processo di costruzione.

Controllo dei materiali e verifiche prestazionali			
Tipo di campione	Ubicazione del controllo	Frequenza del controllo	Requisiti
Emulsione bituminosa	Cisterna	Inizio cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	Caratteristiche
Emulsione bituminosa	Cantiere	Giornaliera o ogni 5000 m <sup>2</sup> di stesa o a discrezione della Direzione Lavori	Dosaggio e caratteristiche

Tabella 98. Controlli da eseguire per la mano d'attacco

### 9.2.4 Penali

Le detrazioni di seguito descritte saranno applicate in punti percentuali sul prezzo di aggiudicazione lavori della mano d'attacco (preparazione, materiale e stesa).

Il non rispetto delle emulsioni accettate per lo specifico uso, comporta il rifiuto del materiale.

Per il dosaggio di bitume residuo per mano d'attacco o di impregnazione determinato a seguito della spruzzatura è tollerato uno scostamento di  $\pm 10\%$  rispetto al valore richiesto (per esempio, se richiesto 1,0 kg/m<sup>2</sup> l'intervallo di accettabilità è 1,1 e 0,9 kg/m<sup>2</sup>). Al fuori di tale limite l'Impresa aggiudicataria dell'appalto è tenuta ad una immediata correzione della modalità di applicazione.

Nel caso di non conformità della lavorazione la Direzione Lavori può richiedere, in funzione del contesto, il rifacimento dello strato, opere di ripristino a spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto o l'applicazione



Capitolato Speciale d'Appalto per la Manutenzione  
Straordinaria di Pavimentazioni Stradali  
Versione 23-10-2022

GEAT s.r.l.

Sede legale:

Viale Lombardia 17 – 47838 Riccione (RN)

tel.: 0541/668011 - fax: 0541/643613

PEC: geat@legal-pec.it - www.geat.it

di una detrazione del 10% sul prezzo di aggiudicazione della lavorazione per lo strato interessato. La superficie di riferimento è calcolata considerando la lunghezza compresa tra la metà della distanza dalla misurazione precedente e la metà della distanza dalla misurazione successiva (oppure considerando la lunghezza del tronco omogeneo) moltiplicato per la larghezza dell'intervento.

### 9.3 Geocomposito con rete o tessuto in fibra di vetro

I geocompositi prevedono un accoppiamento di un tessuto e una geogriglia e offrono i benefici di entrambe questi prodotti. Il tessuto, assorbendo e trattenendo il bitume, permette una adeguata impermeabilizzazione e adesione del composito alla superficie stradale, mentre la geogriglia conferisce alta resistenza e rigidezza ritardando e impedendo il progredire dello stato fessurativo. La combinazione delle funzioni svolte da questi materiali li rende particolarmente indicata per lavori di manutenzione stradale, quando viene fresata sola una parte del vecchio pacchetto bituminoso o quando occorre rinforzare i giunti di ancoraggio o sezioni di scavo o tra vecchia pavimentazione e strato di ricopertura.

Il geocomposito per il rinforzo, l'impermeabilizzazione ed il ripristino di pavimentazioni stradali deve essere costituito da un pacchetto bituminoso, accoppiato ad un velo di vetro di supporto, nel quale è integrata una griglia a base di fibra di vetro.

Il pacchetto bituminoso deve essere costituito da una mescola di bitume distillato modificato con elastomeri termoplastici SBS, resine idrocarboniche, compatibilizzanti sintetici e filler inerti stabilizzanti.

La griglia a base di fibra di vetro deve formare una armatura imputrescibile a maglie quadrate di dimensioni 12,5 mm x 12,5 mm.

Il geocomposito nel suo complesso deve essere un sistema solidale, autoadesivo, impermeabile, termicamente stabile, dotato di una ottima resistenza meccanica, elasticità e flessibilità anche alle basse temperature.

Il geocomposito deve presentare le caratteristiche tecniche riportate nella Tabella 99.

Caratteristiche tecniche	Norma di riferimento	Unità di misura	Valori richiesti
Difetti visibili	UNI EN 1850-1	-	supera
Spessore	UNI EN 1849-1	mm	2,5
Impermeabilità all'acqua (metodo B)	UNI EN 1928	kPa	60 - supera
Resistenza a trazione longitudinale / trasversale (carico massimo)	UNI EN 12311-1	kN/m	≥ 40 / 40
Allungamento a rottura longitudinale / trasversale	UNI EN 12311-1	%	≥ 4 / 4
Resistenza al punzonamento statico – B	UNI EN 12730	kg	-
Flessibilità a freddo	UNI EN 1109	°C	- 25
Flessibilità a freddo dopo invecchiamento	UNI EN 1296 / UNI EN 1109	°C	- 15
Stabilità di forma a caldo	UNI EN 1110	°C	≥ 80
Stabilità di forma a caldo dopo invecchiamento termico	UNI EN 1296 / UNI EN 1110	°C	≥ 70

Tabella 99. Caratteristiche del geocomposito con rete in fibra di vetro

In alternativa alla geogriglia interna può essere previsto un tessuto (foglio continuo di fibre di vetro adirezionali). In questo caso la resistenza minima a trazione longitudinale e trasversale deve essere di 35 / 35 [kN/m] e l'allungamento a rottura longitudinale e trasversale di 30 / 30 [%].

Il paragrafo 1.2 (Certificati di prequalifica e relative penali) specifica le modalità di presentazione e accettazione della documentazione di qualifica.

### 9.3.1 Preparazione e posa in opera del geocomposito

Il geocomposito deve essere fornito in rotoli (lunghezza 10 m, larghezza 1 m, a discrezione della direzione lavori potranno essere accettate o meno altre dimensioni) e consentire un'agevole e veloce posa in opera, facilmente maneggevole e con proprietà autoadesive. La parte autoadesiva inferiore deve essere protetta da un film siliconato da asportare durante la posa, mentre la faccia superiore deve essere trattata con inerte antiaderente o con un leggero tessuto non tessuto sintetico o con un film polimerico per consentire il transito dei mezzi da cantiere. Questi elementi poi devono essere assorbiti dal pacchetto bituminoso con il calore di posa del conglomerato bituminoso dello strato di ricopertura.

Il geocomposito deve essere facilmente fresabile, riciclabile e non costituire un rifiuto pericoloso.

Per la perfetta adesione di due strisce affiancate deve essere prevista una fascia di sormonto adesiva protetta con film siliconato da asportare.

Il geocomposito deve essere steso su uno strato di conglomerato bituminoso (nuovo, vecchio o fresato). Per conglomerato bituminoso nuovo si intende uno strato di base, binder o di risagomatura.

Prima dell'applicazione del geocomposito è raccomandata la mano d'attacco con emulsione bituminosa solo nel caso in cui il piano di posa sia una superficie fresata o un vecchio conglomerato bituminoso molto abraso con dosaggio variabile tra 0,30 e 0,45 kg/m<sup>2</sup> di bitume residuo a seconda delle asperità del piano di posa.

Dopo l'applicazione del geocomposito è steso il nuovo conglomerato bituminoso, uno o più strati, con spessore minimo di 5 cm in zone soggette a forti sforzi di taglio e negli altri casi spessore minimo di 4 cm.

### 9.3.2 Controlli

I parametri prestazionali caratteristici possono essere verificati a discrezione della Direzione Lavori. Il non rispetto dei requisiti comporta la rimozione e la sostituzione del materiale.

### 9.3.3 Penali

Difetti di posa o non conformità delle caratteristiche del geocomposito comporta il rifiuto e la sostituzione a cura e spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto.

## 9.4 Geotessile non tessuto

### Elenco prezzi: E.01.030c

Lo strato di filtro, separazione e rinforzo tra sottofondo e anticapillare è realizzato tramite l'installazione di un geotessile non tessuto. Esso può essere usato per avvolgere uno strato anticapillare, di fondazione o su superfici eterogenee su interventi puntuali.

Il geotessile non tessuto deve essere imputrescibile, resistente ai raggi ultravioletti, ai solventi, alle reazioni chimiche che si instaurano nel terreno, all'azione dei microrganismi ed essere non inquinante.

Le prestazioni devono soddisfare i requisiti mostrati in Tabella 100.

Caratteristiche tecniche	Norma di riferimento	Unità di misura	Valori richiesti
Resistenza a trazione	EN ISO 10319	[kN/m]	≥ 25
Elongazione	EN ISO 10319	[%]	≥ 40
Jsec (tra le due direzioni ortogonali e al 5% di deformazione)	EN ISO 10319	[kN/m]	≥ 20
Apertura caratteristica pori	UNI EN ISO 12956	[mm]	≤ 0,13
Cone drope test	UNI EN ISO 13433	[mm]	≤ 18

Tabella 100. Caratteristiche richieste per il geotessuto

Il paragrafo 1.2 (Certificati di prequalifica e relative penali) specifica le modalità di presentazione e accettazione della documentazione di qualifica.

### 9.4.1 Preparazione e posa in opera del geotessile non tessuto

Prima della posa del geotessile, è cura dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto preparare il terreno naturale o la superficie di posa pulendolo da oggetti appuntiti o sporgenti quali ad esempio rami, rocce o altri materiali in grado di produrre lacerazioni. Il terreno non deve presentare dislivelli o solchi profondi più di 5 cm.

Una volta preparato il piano con adeguata rullatura con rullo ferro-gomma e rullo gommato entrambe di almeno 14 t, si procede alla stesa dei teli di geotessile in direzione del traffico di cantiere.

Il geotessile non tessuto deve essere fornito in opera in rotoli di larghezza la più ampia possibile in relazione al modo di impiego. I teli devono essere ben stesi senza presentare pieghe od ondulazioni. Nell'eventualità di ulteriore compattazione del piano di posa, l'abbassamento deve essere compensato con lo strato superiore.

Eventuali lacerazioni accidentali devono essere coperte da un rappezzo di geotessile intatto, dello stesso tipo e di dimensioni 5 volte più grandi della lacerazione stessa.

I singoli teli devono essere sovrapposti per almeno 50 cm, o per lunghezze maggiori a seconda di quanto previsto dalle schede tecniche fornite dal produttore, e fissati al terreno, lungo le sovrapposizioni, con graffe metalliche in numero di almeno 4 ogni 25 m<sup>2</sup> di sovrapposizione. Particolare cura, nelle fasi operative, deve essere posta nella realizzazione dei risvolti, prevedendo un'adeguata lunghezza del telo da posare. I lembi di geotessile da risvoltare devono risultare ben stesi e i teli paralleli tra loro.

Il taglio del geotessile da rullo deve avvenire senza danneggiare il materiale avvolto o comunque sottostante. Il materiale accidentalmente danneggiato deve essere allontanato.

I teli non devono essere in alcun modo esposti al diretto passaggio dei mezzi di cantiere prima della loro totale copertura con materiale granulare sovrastante.

#### 9.4.2 Controlli

I parametri prestazionali caratteristici possono essere verificati a discrezione della Direzione Lavori. Il non rispetto dei requisiti comporta la rimozione e la sostituzione del materiale.

#### 9.4.3 Penali

Difetti di posa o non conformità delle caratteristiche del geotessile comporta il rifiuto e la sostituzione a cura e spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto.

## 9.5 Geogriglia

La geogriglia in fibra di vetro con superficie adesiva a pressione prebitumata o ricoperta con polimero compatibile con bitume è impiegata come rinforzo nei rappezzi o nei giunti al fine di evitare la fessurazione di riflessione in superficie e conferire maggiore resistenza alle inflessioni cicliche all'interfaccia degli strati in cui è posta.

La geogriglia deve essere imputrescibile, resistente ai raggi ultravioletti, alle alte temperature, ai solventi, alle reazioni chimiche che si instaurano nel terreno, all'azione dei microrganismi ed essere non inquinante.

Le prestazioni devono soddisfare i seguenti requisiti di Tabella 101. La Direzione Lavori può richiedere una geogriglia con maglia  $12 \times 12$  oppure  $25 \times 25 \text{ mm}^2$  in funzione della dimensione dell'area di applicazione e della dimensione massima degli aggregati all'interstrato. Generalmente una tessitura più fitta è preferita per interventi localizzati e tra strati a grana fine (paragonabile al distanziamento tra le nervature).

Caratteristiche tecniche per maglia $12 \times 12 \text{ mm}^2$	Norma di riferimento	Unità di misura	Valori richiesti
Resistenza a trazione	EN ISO 10319	[kN/m]	$\geq 100 \times 100$
Elongazione	EN ISO 10319	[%]	$\geq 3$
Modulo di Young		[kN/mm $^2$ ]	$\geq 50$
Massa unitaria		[g/m $^2$ ]	$\geq 300$
Punto di rammollimento		[°C]	$\geq 500$
Caratteristiche tecniche per maglia $25 \times 25 \text{ mm}^2$	Norma di riferimento	Unità di misura	Valori richiesti
Resistenza a trazione	EN ISO 10319	[kN/m]	$\geq 50 \times 50$
Elongazione	EN ISO 10319	[%]	$\geq 3$
Modulo di Young		[kN/mm $^2$ ]	$\geq 50$
Massa unitaria		[g/m $^2$ ]	$\geq 300$
Punto di rammollimento		[°C]	$\geq 500$

Tabella 101. Prescrizioni per la geogriglia in fibra di vetro

I parametri prestazionali caratteristici possono essere verificati a discrezione della Direzione Lavori. Il non rispetto dei requisiti comporta la rimozione e la sostituzione del materiale.

Il paragrafo 1.2 (Certificati di prequalifica e relative penali) specifica le modalità di presentazione e accettazione della documentazione di qualifica.

### 9.5.1 Preparazione e posa in opera della geogriglia

Prima della posa della geogriglia, è cura dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto preparare il supporto pulendolo da oggetti estranei.

La geogriglia deve essere fornita in rotoli (lunghezza 10 m, larghezza 1 m, a discrezione della direzione lavori possono essere accettate o meno altre dimensioni) e consentire un'agevole e veloce posa in opera, facilmente maneggevole e con proprietà autoadesive. La parte autoadesiva inferiore deve essere protetta da un film siliconato da asportare durante la posa.

La geogriglia deve essere facilmente fresabile, riciclabile e non costituire un rifiuto pericoloso.

La geogriglia deve essere stesa su uno strato di conglomerato bituminoso preferibilmente nuovo (base, binder o di risagomatura) e regolare seppur, in casi particolari, può essere impiegata anche su una pavimentazione esistente o fresata.

Prima dell'applicazione della geogriglia è raccomandata la mano d'attacco con emulsione bituminosa solo nel caso in cui il piano di posa sia una superficie fresata o un vecchio conglomerato bituminoso molto abraso con dosaggio variabile tra 0,30 e 0,45 kg/m<sup>2</sup> di bitume residuo a seconda delle asperità del piano di posa.

La geogriglia deve aderire perfettamente al piano di posa e può essere previsto un passaggio di rullo per attivare l'incollaggio per pressione.

Dopo l'applicazione della geogriglia è steso il nuovo conglomerato bituminoso, uno o più strati, con spessore minimo di 5 cm in zone soggette a forti sforzi di taglio e negli altri casi spessore minimo di 4 cm.

### 9.5.2 Controlli

I parametri prestazionali caratteristici possono essere verificati a discrezione della Direzione Lavori. Il non rispetto dei requisiti comporta la rimozione e la sostituzione del materiale.

### 9.5.3 Penali

Difetti di posa o non conformità delle caratteristiche del materiale comporta il rifiuto e la sostituzione a cura e spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto.



Capitolato Speciale d'Appalto per la Manutenzione  
Straordinaria di Pavimentazioni Stradali  
Versione 23-10-2022

GEAT s.r.l.

Sede legale:

Viale Lombardia 17 – 47838 Riccione (RN)

tel.: 0541/668011 - fax: 0541/643613

PEC: geat@legal-pec.it - www.geat.it

## 10 Sigillatura delle fessure

## 10.1 Sigillatura a caldo delle fessure

### **Elenco prezzi: D.01.053a**

La sigillatura a caldo con mastice a base di bitume modificato con elastomeri e filler ha lo scopo di riempire e impermeabilizzare le fessure longitudinali e trasversali, generalmente di spessore e profondità superiore a 5 mm e inferiore a 25 mm, e i giunti di costruzioni che si manifestano sulla pavimentazione stradale. La sigillatura evita l'infiltrazione dell'acqua negli strati sottostanti con obiettivo di interrompere lo sgrancamento progressivo della lesione che può degenerare in buca e di evitare la perdita di resistenza degli strati portanti che può provocare cedimenti localizzati. Il materiale è generalmente posato a temperatura superiore di 160°C. Il materiale è caratterizzato da notevole elasticità.

Il materiale deve essere conforme alla UNI EN 14188-1.

### 10.1.1 Mastice di bitume modificato con elastomeri

Il mastice è un composto di bitume modificato con elastomeri e filler e deve rispettare le caratteristiche riportate in Tabella 102. Il materiale deve mostrare elevata omogeneità, flessibilità, duttilità ed elasticità.

Parametro	Metodo di prova	Unità di misura	Valori richiesti
Punto di rammollimento	UNI EN 1427	[°C]	≥ 85
Tensione massima	UNI EN 13880-13	[N/mm <sup>2</sup> ]	≤ 1
Tensione finale	UNI EN 13880-13	[N/mm <sup>2</sup> ]	≤ 0,15
Difetto di adesione	UNI EN 13880-13	[%]	no
Difetto di coesione	UNI EN 13880-13	[%]	no
Tensione massima	UNI EN 13880-10	[N/mm <sup>2</sup> ]	≤ 0,50
Difetto di adesione	UNI EN 13880-10	[mm <sup>2</sup> ]	≤ 50
Difetto di coesione	UNI EN 13880-10	[mm <sup>2</sup> ]	≤ 20
Tensione massima sul materiale rivestito	UNI EN 13880-7	[N/mm <sup>2</sup> ]	≤ 0,30
Ritorno elastico	UNI EN 13880-3	[%]	≥ 60
Penetrazione del cono	UNI EN 13880-2	[mm×10 <sup>-1</sup> ]	40-130
Resistenza al flusso	UNI EN 13880-5	[mm]	≤ 20
Compatibilità	UNI EN 13880-9	[−]	conforme
Densità a 25°C	UNI EN 13880-1	[g/cm <sup>3</sup> ]	1,4 ± 0,1

*Tabella 102. Caratteristiche del mastice di bitume modificato con elastomeri per sigillatura a caldo*

Il paragrafo 1.2 (Certificati di prequalifica e relative penali) specifica le modalità di presentazione e accettazione della documentazione di qualifica.

### 10.1.2 Aggregati per saturazione

Il legante bituminoso deve essere saturato dopo l'applicazione con aggregati grossi e fini ottenuti dalla lavorazione di materiali naturali (rocce, aggregati naturali tondeggianti, aggregati naturali a spigoli vivi). L'aggregato grosso ( $D \leq 45$  mm;  $d \geq 2$  mm), fine ( $D \leq 2$  mm;  $d = 0$  mm) o in frazione unica può essere di provenienza o natura petrografica diversa purché risultino soddisfatti i requisiti indicati nella Tabella 103.

È consentito l'impiego di aggregati pre-bitumati.

Il paragrafo 1.2 (Certificati di prequalifica e relative penali) specifica le modalità di presentazione e accettazione della documentazione di qualifica.

Parametro	Metodo di prova	Unità di misura	Valori richiesti	Categoria UNI EN 13043
Dimensione massima nominale	UNI EN 933-1	[mm]	≤ 4	-
Resistenza alla frammentazione	UNI EN 1097-2	[%]	≤ 20	LA <sub>20</sub>
Percentuale di particelle frantumate	UNI EN 933-5	[%]	100	C <sub>100/0</sub>
Resistenza al gelo e disgelo	UNI EN 1367-1	[%]	≤ 1	F <sub>1</sub>
Coefficiente di appiattimento	UNI EN 933-3	[%]	≤ 15	FI <sub>15</sub>
Coefficiente di forma	UNI EN 933-4	[%]	≤ 15	SI <sub>15</sub>
Resistenza alla levigabilità	UNI EN 1097-8	[–]	≥ 50	PSV <sub>50</sub>
Assorbimento d'acqua	UNI EN 1097-6	[%]	≤ 2	WA <sub>242</sub>
Equivalente in sabbia	UNI EN 933-8	[%]	≥ 70	SE <sub>70</sub>
Passante allo staccio 0,063 mm	UNI EN 933-1	[%]	≤ 5	f <sub>5</sub>
Indice di plasticità	UNI CEN ISO/TS 17892-12	[%]	non plastico	-

Tabella 103. Caratteristiche dell'aggregati per la saturazione del legante di sigillatura

### 10.1.3 Preparazione e posa

L'applicazione del legante a caldo deve essere eseguita su fessure con spessore e profondità di almeno 5 mm, temperatura dell'aria non inferiore a 10°C e superficie asciutta. Le fessure devono essere accuratamente pulite con getto di aria calda con temperatura fino a 500°C per deumidificare, scaldare i lembi della fessura e bruciare eventuali impurità. In alternativa può essere prevista la pulizia e la scarifica di impurità con idonee attrezzature e successivo riscaldamento a temperature comunque superiori ai 100°C prima dell'applicazione del sigillante.

Il mastice bituminoso deve essere scaldato ad una temperatura compresa tra 160 e 200°C e reso omogeneo e fluido per l'iniezione tramite lancia con terminale di dimensione e forma appropriata allo spessore delle fessure da sigillare per consentire una perfetta percolazione ed evitare di bagnare la superficie della pavimentazione adiacente.

Con il fine di irruvidire la sigillatura, prima del raffreddamento del mastice (temperatura superiore a 85°C) deve essere applicato un aggregato di saturazione, tipicamente ma non esclusivamente, del tipo graniglia 2/4 mm lavata. È consentito applicare graniglia pre-bitumata con un contenuto di bitume non superiore al 3%. L'aggregato deve essere distribuito sopra il legante in monostrato.

Nel caso di contaminazione della superficie stradale adiacente la fessura, l'Impresa aggiudicatrice dell'appalto è tenuta ad immediata pulizia. L'apertura al traffico è consentita quando il sigillante ha raggiunto una consistenza stabile (generalmente 30 minuti dopo l'applicazione).

### 10.1.4 Controlli

I parametri prestazionali caratteristici possono essere verificati a discrezione della Direzione Lavori. Il non rispetto dei requisiti comporta la rimozione e la sostituzione del materiale.

### 10.1.5 Penali

Difetti di posa o non conformità delle caratteristiche del materiale comporta il rifiuto e la sostituzione a cura e spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto o il non riconoscimento della lavorazione.

## 10.2 Sigillatura a freddo delle fessure

La sigillatura a freddo con sigillante bicomponente ha lo scopo di riempire e impermeabilizzare le fessure longitudinali e trasversali, generalmente di spessore e profondità superiore a 5 mm, e i giunti di costruzioni che si manifestano sulla pavimentazione stradale. La sigillatura evita l'infiltrazione dell'acqua negli strati sottostanti con obiettivo di interrompere lo sgrramento progressivo della lesione che può degenerare in buca e di evitare la perdita di resistenza degli strati portanti che può provocare cedimenti localizzati.

Il materiale è posato a temperatura ambiente e sfrutta una reazione di indurimento, che ha inizio al momento della miscelazione tra i due componenti. Il materiale è caratterizzato da notevole rigidezza.

### 10.2.1 Legante bicomponente

Il legante bicomponente deve rispettare le caratteristiche riportate in Tabella 104 Tabella 102.

Parametro	Metodo di prova	Unità di misura	Valori richiesti
Punto di rammollimento	UNI EN 1427	[°C]	≥ 85
Tensione massima	UNI EN 13880-13	[N/mm <sup>2</sup> ]	≤ 1
Tensione finale	UNI EN 13880-13	[N/mm <sup>2</sup> ]	≤ 0,15
Difetto di adesione	UNI EN 13880-13	[%]	no
Difetto di coesione	UNI EN 13880-13	[%]	no
Penetrazione del cono	UNI EN 13880-2	[mm×10 <sup>-1</sup> ]	≥ 20
Densità a 25°C	UNI EN 13880-1	[g/cm <sup>3</sup> ]	1,1 ± 0,1

*Tabella 104. Caratteristiche del legante bicomponente per sigillatura a freddo*

Il paragrafo 1.2 (Certificati di prequalifica e relative penali) specifica le modalità di presentazione e accettazione della documentazione di qualifica.

### 10.2.2 Aggregati per saturazione

Il legante bicomponente deve essere saturato dopo l'applicazione con aggregati grossi e fini ottenuti dalla lavorazione di materiali naturali (rocce, aggregati naturali tondegianti, aggregati naturali a spigoli vivi). L'aggregato grosso ( $D \leq 45$  mm;  $d \geq 2$  mm), fine ( $D \leq 2$  mm;  $d = 0$  mm) o in frazione unica può essere di provenienza o natura petrografica diversa purché risultino soddisfatti i requisiti indicati nella Tabella 105.

Il paragrafo 1.2 (Certificati di prequalifica e relative penali) specifica le modalità di presentazione e accettazione della documentazione di qualifica.

Parametro	Metodo di prova	Unità di misura	Valori richiesti	Categoria UNI EN 13043
Dimensione massima nominale	UNI EN 933-1	[mm]	≤ 4	-
Resistenza alla frammentazione	UNI EN 1097-2	[%]	≤ 20	LA <sub>20</sub>
Percentuale di particelle frantumate	UNI EN 933-5	[%]	100	C <sub>100/0</sub>
Resistenza al gelo e disgelo	UNI EN 1367-1	[%]	≤ 1	F <sub>1</sub>
Coefficiente di appiattimento	UNI EN 933-3	[%]	≤ 15	FI <sub>15</sub>
Coefficiente di forma	UNI EN 933-4	[%]	≤ 15	SI <sub>15</sub>
Resistenza alla levigabilità	UNI EN 1097-8	[‐]	≥ 50	PSV <sub>50</sub>
Assorbimento d'acqua	UNI EN 1097-6	[%]	≤ 2	WA <sub>242</sub>
Equivalente in sabbia	UNI EN 933-8	[%]	≥ 70	SE <sub>70</sub>
Passante allo staccio 0,063 mm	UNI EN 933-1	[%]	≤ 5	f <sub>5</sub>
Indice di plasticità	UNI CEN ISO/TS 17892-12	[%]	non plastico	-

Tabella 105. Caratteristiche dell'aggregati per la saturazione del legante di sigillatura

### 10.2.3 Preparazione e posa

L'applicazione del legante bicomponente a freddo deve essere eseguita su fessure con spessore e profondità di almeno 5 mm, temperatura dell'aria non inferiore a 10°C e superficie asciutta. Le fessure devono essere accuratamente pulite con getto di aria e la scarifica di impurità con idonee attrezature prima dell'applicazione del sigillante.

Il legante bicomponente deve fuoriuscire omogeneo e fluido per l'iniezione tramite lancia con terminale di dimensione e forma appropriata allo spessore delle fessure da sigillare per consentire una perfetta percolazione ed evitare di bagnare la superficie della pavimentazione adiacente.

Con il fine di irruvidire la sigillatura, prima della completa solidificazione del legante deve essere applicato un aggregato di saturazione, tipicamente ma non esclusivamente, del tipo graniglia 2/4 mm lavata. L'aggregato deve essere distribuito sopra il legante in monostrato.

Nel caso di contaminazione della superficie stradale adiacente la fessura, l'Impresa aggiudicatrice dell'appalto è tenuta ad immediata pulizia. L'apertura al traffico è consentita quando il sigillante ha raggiunto una consistenza stabile (generalmente 20 minuti dopo l'applicazione).

### 10.2.4 Controlli

I parametri prestazionali caratteristici possono essere verificati a discrezione della Direzione Lavori. Il non rispetto dei requisiti comporta la rimozione e la sostituzione del materiale.

L'impresa aggiudicataria dell'appalto è tenuta a presentare la misura cumulativa delle fessure sigillate ogni 500 m evidenziando un chiaro riferimento assoluto del punto di inizio e fine tratta.

### 10.2.5 Penali

Difetti di posa o non conformità delle caratteristiche del materiale comporta il rifiuto e la sostituzione a cura e spese dell'Impresa aggiudicataria dell'appalto o il non riconoscimento della lavorazione.