



AZIENDA AUTONOMA DI STATO PER I LAVORI PUBBLICI

Via 28 Luglio, 50 - 47893 BORGIO MAGGIORE - REP. SAN MARINO

Tel. 0549 883111 - Fax 0549 883600 - e-mail: segreteria@aasp.sm

Cod. Op. Econ. SM 02461



Allegato B

**Capitolato Speciale d'Appalto per la
Manutenzione degli Strati In
Conglomerato Bituminoso delle
Pavimentazioni Stradali**

Anno 2024

Sommario

Sommario	2
Indice delle Tabelle	3
Premessa	4
1. Conglomerati bituminosi	5
1.1 Strati della pavimentazione e classificazione dei conglomerati bituminosi	5
1.2 Materiali costituenti	7
1.2.1 Aggregati naturali	7
1.2.2 Bitumi	10
1.2.3 Additivi	10
1.2.4 Aggregati artificiali	11
1.2.5 Conglomerato bituminoso di recupero	12
1.3 Studio di ottimizzazione del conglomerato bituminoso	12
1.3.1 Mix design	12
1.3.2 Verifica in vera grandezza mediante campo prove	17
1.4 Produzione e posa del conglomerato bituminoso	24
1.4.1 Produzione del conglomerato bituminoso	24
1.4.2 Posa del conglomerato bituminoso	25
1.5 Controlli in corso d'opera e finali	28
1.6 Detrazioni e penali	30
2. Mano di attacco	37
2.1 Fornitura e posa in opera della mano di attacco	37
2.2 Controlli	38
2.3 Detrazioni e penali	38

Indice delle Tabelle

Tabella 1.1. Tipologie di miscele in conglomerato bituminoso e possibile strato di impiego	6
Tabella 1.2. Requisiti degli aggregati grossi impiegati nella produzione dei conglomerati bituminosi	8
Tabella 1.3. Requisiti degli aggregati fini impiegati nella produzione dei conglomerati bituminosi	9
Tabella 1.4. Requisiti del filler impiegato nella produzione dei conglomerati bituminosi	9
Tabella 1.5. Requisiti dei leganti bituminosi (bitume tal quale, bitume modificato e bitume chiaro)	10
Tabella 1.6. Distribuzione granulometrica delle miscele di aggregati	13
Tabella 1.7. Contenuto minimo di legante del conglomerato bituminoso	13
Tabella 1.8. Temperature dei materiali costituenti e delle miscele in fase di produzione	14
Tabella 1.9. Requisiti delle caratteristiche volumetriche dei conglomerati bituminosi	15
Tabella 1.10. Requisiti delle caratteristiche meccaniche dei conglomerati bituminosi	16
Tabella 1.11 Riferimenti per la verifica dei materiali costituenti	21
Tabella 1.12 Verifiche volumetriche del conglomerato bituminoso prelevato in sito	22
Tabella 1.13 Verifiche meccaniche del conglomerato bituminoso prelevato in sito	23
Tabella 1.14 Verifiche volumetriche e meccaniche dei carotaggi estratti dalla pavimentazione	23
Tabella 1.15. Verifiche funzionali sullo strato di usura	24
Tabella 1.16 Frequenze dei controlli in corso d'opera	29
Tabella 1.17 Frequenze dei controlli finali	29
Tabella 1.18 Requisiti, limiti di accettazione senza penali, i limiti di tolleranza per accettazione con penali e le condizioni di rimozione dello strato	31
Tabella 1.19 Limiti di tolleranza per accettazione con penali ed equazioni per il calcolo delle penali	32
Tabella 2.1 Requisiti prestazionali delle emulsioni bituminose per mano di attacco	37
Tabella 2.2 Frequenza e requisiti dei controlli per la mano di attacco	38

Premessa

Il presente Capitolato Speciale d'Appalto per la Manutenzione degli Strati in Conglomerato bituminoso delle Pavimentazioni stradali della rete viaria della Repubblica di San Marino è stato redatto in collaborazione con il Politecnico di Milano - Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale.

Il Capitolato Speciale d'Appalto definisce le prestazioni dei conglomerati bituminosi e dei materiali costituenti, disciplina lo studio di ottimizzazione del conglomerato bituminoso, compreso la verifica in vera grandezza mediante campo prove, i prelievi e campionamenti, le verifiche composizionali, volumetriche, meccaniche e funzionali ai fini della approvazione.

Il Capitolato Speciale d'Appalto disciplina inoltre la produzione e la posa del conglomerato bituminoso ed i controlli in corso d'opera e finali, nonché le detrazioni e penalità applicate sulla base della verifica di conformità degli esiti dei controlli in corso d'opera e finali alle prescrizioni del presente documento.

1. Conglomerati bituminosi

I conglomerati bituminosi sono prodotti a caldo in apposito impianto fisso automatizzato e posati in opera, sempre a caldo, con idonee macchine e attrezzature (a titolo esemplificativo, macchine vibrofinitrici mobili e rulli di compattazione gommati o metallici, statici o vibranti) da personale specializzato.

I conglomerati bituminosi (abbreviazione CB) sono costituiti da una miscela di aggregati opportunamente graduata, filler e bitume tal quale (abbreviazione BTQ), oppure bitume modificato con polimeri o conglomerati bituminosi con bitume tal quale contenenti additivo per il miglioramento delle prestazioni strutturali di cui alla norma italiana UNI 11837 (abbreviazione BMP), oppure bitume trasparente (indicato anche come albino o chiaro, abbreviazione BCH). È inoltre possibile la presenza di additivi per il miglioramento di una o più prestazioni.

In via generale e in dipendenza della finalità d'uso, è ammesso l'impiego di conglomerati bituminosi di recupero e aggregati artificiali, secondo quanto di seguito specificato.

I conglomerati bituminosi sono prodotti da costruzione impiegati nella realizzazione degli strati di pavimentazioni di aree soggette a traffico, come, a titolo esemplificativo ma non esaustivo, strade, aeroporti, piste ciclabili e percorsi pedonali, piazzali e aree di sosta e di parcheggio.

I conglomerati bituminosi sono prodotti da costruzione regolamentati dal Regolamento Europeo n. 305/2011 e pertanto sono soggetti a Marcatura CE (sistema di attestazione VVCP livello 2+).

I conglomerati bituminosi sono sottoposti a controllo di procedura in fabbrica in conformità agli allegati ZA delle norme armonizzate della serie EN 13108.

1.1 Strati della pavimentazione e classificazione dei conglomerati bituminosi

Gli strati in conglomerati bituminoso costituenti una pavimentazione sono, dal piano di rotolamento degli pneumatici verso il basso (ad eccezione dello strato di risagomatura):

- strato di usura: ha spessore costante e garantisce la regolarità del piano di rotolamento degli pneumatici e quindi comfort e sicurezza di guida, assicurando l'aderenza pneumatico-pavimentazione sia in condizione di strada asciutta, sia in condizione di strada bagnata;
- strato di collegamento (qui e di seguito anche indicato come binder): ha spessore costante ed è posto tra lo strato di usura (sempre presente) e lo strato inferiore di base (o di fondazione), ha funzione strutturale, riducendo tensioni e deformazioni derivanti dal traffico ad un livello compatibile con le prestazioni degli strati sottostanti;
- strato di base: ha spessore costante ed è posto tra lo strato di binder (se presente) o di usura e lo strato inferiore di fondazione, ha funzione strutturale, riducendo tensioni e deformazioni derivanti dal traffico ad un livello compatibile con le prestazioni degli strati sottostanti;
- strato di risagomatura: ha spessore variabile e trova applicazione per interventi di manutenzione ordinaria o straordinaria, è posto tra lo strato di base e lo strato di collegamento, oppure tra lo strato di usura e lo strato di binder e, in presenza di avvallamenti o irregolarità dello strato sottostante, ha la funzione di regolarizzare la superficie di posa dello/degli strato/i sovrastanti, oppure è utilizzato per il

ripristino delle pendenze trasversali e/o longitudinali atte a garantire sullo stato di usura il deflusso superficiale delle acque di pioggia.

Ognuno degli strati in elenco può essere realizzato con conglomerati bituminosi di caratteristiche composizionali, volumetriche e meccaniche diverse a seconda della finalità d'impiego.

La scelta del tipo di conglomerato bituminoso in relazione allo strato e alla finalità d'uso è effettuata dal Progettista, facendo riferimento alla successiva Tabella 1.1, nella quale per ogni strato, di cui al precedente elenco, è riportato il Codice utilizzato per la singola tipologia di conglomerato bituminoso ammesso dal presente Capitolato Speciale d'Appalto (CSA), il diametro massimo dell'aggregato (D_{MAX}), una sintetica descrizione (compreso il tipo di bitume: bitume tal quale – BTQ, bitume modificato con polimeri – BMP, bitume chiaro - BCH) e il riferimento alla parte della norma EN 13108 di interesse.

Conglomerato bituminoso					Strato di impiego
Miscela	Codice ¹⁾	D_{MAX} [mm]	Descrizione	Norma	
Conglomerato bituminoso per strato di Usura	Us-10-BTQ	10	Usura con diametro massimo dell'aggregato da 10 mm e bitume tal quale (BTQ)	EN 13108-1	Usura Risagomatura
	Us-10-BMP	10	Usura con diametro massimo dell'aggregato da 10 mm e bitume modificato con polimeri o bitume tal quale e additivo per il miglioramento delle prestazioni strutturali di cui alla norma italiana UNI 11837 (BMP)	EN 13108-1	Usura Risagomatura
	Us-12,5-BTQ	12,5	Usura con diametro massimo dell'aggregato da 12,5 mm e bitume tal quale (BTQ)	EN 13108-1	Usura Risagomatura
	Us-12,5-BMP	12,5	Usura con diametro massimo dell'aggregato da 12,5 mm e bitume modificato con polimeri o bitume tal quale e additivo per il miglioramento delle prestazioni strutturali di cui alla norma italiana UNI 11837 (BMP)	EN 13108-1	Usura Risagomatura
	SMA-12,5-BMP	12,5	Usura tipo Splittmastix Asphalt con diametro massimo dell'aggregato da 12,5 mm e bitume modificato con polimeri o bitume tal quale e additivo per il miglioramento delle prestazioni strutturali di cui alla norma italiana UNI 11837 (BMP)	EN 13108-5	Usura
	Us-12,5-BCH	12,5	Usura con diametro massimo dell'aggregato da 12,5 mm e bitume chiaro (BCH)	EN 13108-1	Usura
Conglomerato bituminoso per strato di Collegamento (Binder)	Bi-20-BTQ	20	Binder con diametro massimo dell'aggregato da 20 mm e bitume tal quale (BTQ)	EN 13108-1	Binder Risagomatura
	Bi-20-BMP	20	Binder con diametro massimo dell'aggregato da 20 mm e bitume modificato con polimeri o bitume tal quale e additivo per il miglioramento delle prestazioni strutturali di cui alla norma italiana UNI 11837 (BMP)	EN 13108-1	Binder Risagomatura
Conglomerato bituminoso per strato di Base	Ba-31,5-BTQ	31,5	Base con diametro massimo dell'aggregato da 31,5 mm e bitume tal quale (BTQ)	EN 13108-1	Base
	Ba-31,5-BMP	31,5	Base con diametro massimo dell'aggregato da 31,5 mm e bitume modificato con polimeri o bitume tal quale e additivo per il miglioramento delle prestazioni strutturali di cui alla norma italiana UNI 11837 (BMP)	EN 13108-1	Base

1) Il Codice è composto da tre elementi: il primo indica il tipo di conglomerato bituminoso (es. Us individua un conglomerato bituminoso per strato di usura); il secondo è riferito al diametro massimo dell'aggregato (es. 20 indica che il passante al setaccio da 20 mm è compreso tra il 90% e il 100%); il terzo è relativo al tipo di bitume (es. BMP si riferisce all'impiego di bitume modificato con polimeri o bitume tal quale e additivo per il miglioramento delle prestazioni strutturali di cui alla norma italiana UNI 11837)

Tabella 1.1. Tipologie di miscela in conglomerato bituminoso e possibile strato di impiego

Il Progettista, sulla base di proprie circostanziate valutazioni e per applicazioni che richiedano conglomerati bituminosi diversi da quelli riportati in Tabella 1.1, ha facoltà di redigere un CSA destinato ad un singolo intervento.

1.2 Materiali costituenti

I conglomerati bituminosi sono composti dai seguenti materiali costituenti:

- aggregati naturali, divisi in:
 - aggregati grossi;
 - aggregati fini;
 - filler;
- bitume.

Secondo le modalità di seguito specificate e comunque previa autorizzazione della Direzione Lavori, sulla base dell'analisi della documentazione prodotta dall'Impresa, possono essere utilizzati come materiali costituenti anche:

- additivi;
- aggregati artificiali;
- conglomerato bituminoso di recupero.

Per ogni singolo appalto, le caratteristiche dei materiali costituenti sono determinate a cura e spese dell'Impresa mediante prove di laboratorio scelto dalla Direzione Lavori su proposta dell'Impresa. I relativi rapporti di prova devono essere inclusi nello studio di ottimizzazione del conglomerato bituminoso (Paragrafo 1.3), che l'Impresa è tenuta a consegnare alla Direzione Lavori con congruo anticipo rispetto all'inizio lavori.

1.2.1 Aggregati naturali

Gli aggregati naturali sono qualificati secondo la norma armonizzata EN 13043 "Aggregati per miscele bituminose e trattamenti superficiali per strade, aeroporti ed altre aree soggette al traffico", ivi compreso il controllo della produzione ai sensi dell'Allegato ZA di detta norma. Il prelievo degli aggregati per effettuare la qualificazione è effettuato secondo la norma EN 932-1 "Metodi di campionamento degli aggregati".

1.2.1.1 Aggregati grossi

Gli aggregati grossi sono ottenuti per frantumazione e selezione di elementi lapidei derivanti da cave di prestito in roccia compatta o da depositi alluvionali.

Gli aggregati grossi hanno granulometria compresa tra 4 mm (escluso) e 40 mm e sono divisi in classi granulometriche.

Ogni classe granulometrica è definita mediante un diametro minimo (d_{min}), a cui è trattenuto almeno il 90% in massa dell'aggregato, e da un diametro massimo (D_{MAX}) a cui è passante almeno il 90% in massa dell'aggregato.

La classe granulometrica può essere costituita anche da elementi di natura petrografica diversa, purché ognuna delle classi impiegate per la produzione dei conglomerati bituminosi di cui in Tabella 1.1 soddisfi i requisiti riportati in Tabella 1.2.

Per gli aggregati grossi utilizzati per la produzione di SMA-12,5-BMP è prescritto l'impiego di riolite o porfido. È comunque prescritta la rispondenza ai requisiti riportati in Tabella 1.2.

Per gli aggregati grossi utilizzati per la produzione di Us-12,5-BCH è prescritto l'impiego di riolite (qualora le esigenze cromatiche della superficie della pavimentazione siano di ottenere una colorazione chiara, tendente al bianco) oppure porfido (qualora le esigenze cromatiche della superficie della pavimentazione siano di ottenere una colorazione rossa). È comunque prescritta la rispondenza ai requisiti riportati in Tabella 1.2.

Requisito	Norma	Simbolo	UM	Valori richiesti ¹⁾ – conglomerati bituminosi per:			
				Us-10-BTQ Us-10-BMP Us-12,5-BTQ Us-12,5-BMP	SMA-12,5-BMP Us-12,5-BCH	Bi-20-BTQ Bi-20-BMP	Ba-31,5-BTQ Ba-31,5-BMP
Descrizione petrografica semplificata	EN 932-3	-	-	Valore dichiarato	Riolite – porfido ³⁾	Valore dichiarato	Valore dichiarato
Diametro massimo	EN 933-1	D _{MAX}	mm	10 (Us-10-BTQ, Us-10-BMP) 12,5 (Us-12,5-BTQ, Us-12,5-BMP)	12,5	20	31,5
Assorbimento d'acqua	EN 1097-6	WA	%	Valore dichiarato	Valore dichiarato	Valore dichiarato	Valore dichiarato
Resistenza alla frammentazione	EN 1097-2	LA	%	≤ 20 (LA ₂₀)	≤ 20 ⁴⁾ (LA ₂₀)	≤ 25 (LA ₂₅)	≤ 25 (LA ₂₅)
Percentuale di superfici frantumate	EN 933-5	C	%	100 (C _{100/0})	100 (C _{100/0})	≥ 70 (C _{70/10})	≥ 50 (C _{50/10})
Resistenza al gelo/disgelo	EN 1367-1	F	%	< 1 (F ₁)	< 1 (F ₁)	< 1 (F ₁)	< 1 (F ₁)
Affinità ai leganti bituminosi	EN 12697-11	-	%	Valore dichiarato	Valore dichiarato	Valore dichiarato	Valore dichiarato
Indice di appiattimento	EN 933-3	FI	%	< 15 (FI ₁₅)	< 15 (FI ₁₅)	< 20 (FI ₂₀)	< 20 (FI ₂₀)
Indice di forma	EN 933-4	SI	%	< 20 (SI ₂₀)	< 20 (SI ₂₀)	< 25 (SI ₂₅)	< 25 (SI ₂₅)
Resistenza alla levigazione	EN 1097-8	PSV	-	> 45 ⁴⁾ (PSV ₄₅)	> 45 ⁴⁾ (PSV ₄₅)	-	-
Componenti che alterano la stabilità di volume ²⁾	EN 1744-1	V	%	< 3,5 (V _{3,5})	< 3,5 (V _{3,5})	< 3,5 (V _{3,5})	< 3,5 (V _{3,5})

1) I valori riportati tra parentesi sono le categorie di riferimento per la classificazione secondo la norma EN 13043

2) Nel caso di impiego di aggregati industriali derivanti dal trattamento di scorie di acciaieria

3) Nel caso di impiego per Us-12,5-BCH, è da utilizzare riolite per ottenere strati di usura con prevalente colorazione bianca, è da utilizzare porfido per ottenere strati di usura con prevalente colorazione rossa

4) In particolari circostanze in cui si richiedono elevata e/o duratura aderenza (a titolo esemplificativo ma non esaustivo: strade ad elevato traffico, tratte in pendenza, in curva, o altro), è fortemente consigliato adottare LA ≤ 15 (LA₁₅) e PSV > 50 (PSV₅₀)

Tabella 1.2. Requisiti degli aggregati grossi impiegati nella produzione dei conglomerati bituminosi

1.2.1.2 Aggregati fini

Gli aggregati fini derivano da cave di prestito in roccia compatta o da depositi alluvionali.

Gli aggregati fini sono sabbie prive di polveri, materiali estranei, materiali vegetali o elementi in fase di alterazione.

Gli aggregati fini hanno granulometria compresa tra 0,063 mm e 4 mm (incluso) e, di norma, non sono divisi in classi granulometriche. Possono avere natura petrografica diversa, e devono rispettare i requisiti riportati in Tabella 1.3.

Per gli aggregati fini utilizzati per la produzione di SMA-12,5-BMP è prescritto l'impiego di riolite o porfido. È comunque prescritta la rispondenza ai requisiti riportati in Tabella 1.3.

Per gli aggregati fini utilizzati per la produzione di Us-12,5-BCH è prescritto l'impiego di riolite (qualora le esigenze cromatiche della superficie della pavimentazione siano di ottenere una colorazione chiara, tendente al bianco) oppure porfido (qualora le esigenze cromatiche della superficie della pavimentazione siano di ottenere una colorazione rossa). È comunque prescritta la rispondenza ai requisiti riportati in Tabella 1.3.

Requisito	Norma	Simbolo	UM	Valori richiesti per tutti i tipi di conglomerato bituminoso
Contenuto dei fini	EN 933-1	f	%	Valore dichiarato
Equivalente in sabbia ¹⁾	EN 933-8	ES	%	> 70
Blu di metilene ²⁾	EN 933-9 (Appendice A)	MB _F	g/kg	< 10

¹⁾ Requisito da determinare solo nel caso in cui il contenuto dei fini "f" sia maggiore del 3%

²⁾ Requisito da determinare solo nel caso in cui il requisito contenuto dei fini "F" sia maggiore del 3% e il requisito "equivalente in sabbia" non sia soddisfatto

Tabella 1.3. Requisiti degli aggregati fini impiegati nella produzione dei conglomerati bituminosi

Inoltre, se gli aggregati fini sono ottenuti da operazioni di frantumazione e selezione di elementi lapidei per la produzione di aggregati grossi, l'Impresa è tenuta a dichiarare il Valore di Resistenza alla Frammentazione (EN 1097-2) del materiale di origine, che deve essere conforme al requisito relativo agli aggregati grossi (Tabella 1.2) del conglomerato bituminoso in cui sono utilizzati.

1.2.1.3 Filler

Il filler è costituito da polvere di roccia, cemento o calce.

È ammesso l'impiego di filler ottenuto dal recupero delle polveri dell'impianto di produzione del conglomerato bituminoso.

Per filler utilizzato per la produzione di Us-12,5-BCH è prescritto l'impiego di riolite (qualora le esigenze cromatiche della superficie della pavimentazione siano di ottenere una colorazione chiara, tendente al bianco) oppure porfido (qualora le esigenze cromatiche della superficie della pavimentazione siano di ottenere una colorazione rossa).

Per tutte le tipologie di conglomerati bituminosi di cui in Tabella 1.1, il filler deve soddisfare i requisiti riportati in Tabella 1.4.

Requisito	Norma	Simbolo	UM	Valori richiesti per tutti i tipi di conglomerato bituminoso
Granulometria (Passante al setaccio 2mm)	EN 933-10	-	%	100
Granulometria (Passante al setaccio 0,125mm)	EN 933-10	-	%	da 85 a 100
Granulometria (Passante al setaccio 0,063mm)	EN 933-10	-	%	da 70 a 100
Indice di plasticità	CEN ISO/TS 1789-12	I.P.	-	N.P.

Tabella 1.4. Requisiti del filler impiegato nella produzione dei conglomerati bituminosi

1.2.2 Bitumi

I bitumi sono corredati da Marcatura CE, con controllo di produzione in fabbrica in conformità all'Allegato ZA delle relative norme armonizzate (EN 12591 per BTQ, EN 14023 per BMP e BCH) e conformi a:

- norma tecnica EN 12597 "Bitumi e leganti bituminosi – Terminologia";
- norma armonizzata EN 12591 "Bitumi e leganti bituminosi – Specifiche per i bitumi per applicazioni stradali" (norma relativa ai bitumi tal quali – BTQ);
- norma armonizzata EN 14023 "Bitumi e leganti bituminosi. Quadro delle specifiche riguardanti i bitumi modificati da polimeri" (norma relativa ai bitumi modificati con polimeri – BMP e BCH).

I bitumi, a seconda del conglomerato bituminoso in cui sono utilizzati (Tabella 1.1), devono soddisfare i requisiti riportati in Tabella 1.5.

Requisito	Norma	Simbolo	UM	Bitume tal quale		Bitume modificato		Bitume chiaro
				BTQ 50/70	BTQ 70/100	BMP 45/80-70	BMP 10/40-70	BCH
Penetrazione con ago (a 25 °C)	EN 1426	P	0,1 mm	50/70	70/100	da 45 a 80 (Classe 4)	da 10 a 40 (Classe 2)	50/70
Punto di rammollimento	EN 1427	T	°C	46 - 54	43 - 51	≥ 70 (Classe 4)	≥ 70 (Classe 4)	≥ 60
Punto di rottura (metodo Fraass)	EN 12593	T	°C	≤ - 8	≤ - 10	≤ - 15 (Classe 7)	≤ - 18 (Classe 8)	≤ - 12
Ritorno elastico (a 25°C)	EN 13398	R _E	%	-	-	> 75 (Classe 2)	> 80 (Classe 2)	> 50
Viscosità dinamica a 160 °C, Y=10s ⁻¹	EN 13702-2	η	Pa*s	-	-	≥ 0,40	≥ 0,40	≥ 0,40
Resistenza all'indurimento per effetto del calore e dell'aria (EN 12607-1, metodo RTFOT)								
Variatione in massa (M ₂ /M ₁ *100)	EN 12607-1	M	%	≤ 0,5	≤ 0,8	≤ 0,5 (Classe 3)	≤ 0,5 (Classe 3)	≤ 0,5
Variatione della penetrazione residua (P ₂ /P ₁ *100)	EN 1426	P	%	≥ 50	≥ 46	≥ 60 (Classe 7)	≥ 65 (Classe 7)	≥ 55
Incremento del punto di rammollimento (T ₂ -T ₁)	EN 1427	T	°C	≤ 11	≤ 11	≤ 5 (Classe 3)	≤ 5 (Classe 3)	≤ 8
Stabilità allo stoccaggio del bitume modificato (EN 13399, metodo "Tuben test")								
Differenza della penetrazione con ago a 25°C	EN 1426	P	0,1 mm	-	-	< 9 (Classe 2)	< 9 (Classe 2)	< 5
Differenza del punto di rammollimento	EN 1427	T	°C	-	-	< 5 (Classe 2)	< 5 (Classe 2)	< 2

Tabella 1.5. Requisiti dei leganti bituminosi (bitume tal quale, bitume modificato e bitume chiaro)

1.2.3 Additivi

Gli additivi sono aggiunti al conglomerato bituminoso per conferire determinate qualità, proprietà fisiche e/o meccaniche.

Gli additivi sono classificati in base alle principali funzioni svolte. Tali funzioni si esplicano in fase di produzione, stesa e compattazione del conglomerato bituminoso oppure nel corso della vita utile della pavimentazione in cui i conglomerati bituminosi sono utilizzati.

Gli additivi sono aggiunti al conglomerato bituminoso in fase di produzione e/o, in precedenza, al bitume.

Gli additivi sono qualificati secondo la norma tecnica italiana UNI 11837 "Criteri di qualificazione, controllo e impiego di additivi per miscele legate a bitume per la formazione di strati di sovrastrutture per infrastrutture di trasporto".

La Direzione Lavori è tenuta al controllo documentale degli esiti della qualificazione degli additivi ai sensi della UNI 11837.

L'Impresa è tenuta a fornire alla Direzione Lavori detti esiti con congruo anticipo rispetto all'inizio delle lavorazioni, in fase di consegna degli esiti dello studio di ottimizzazione del conglomerato bituminoso (Paragrafo 1.3).

Gli esiti della qualificazione degli additivi non sostituiscono lo studio di ottimizzazione del conglomerato bituminoso.

Tipo/i di additivo/i e relative quantità (espresse in un intervallo, es. tra 6 ‰ e 9 ‰ in massa rispetto alla massa del conglomerato bituminoso) sono definiti dal Progettista, a seconda della specifica lavorazione, oppure, se di necessità, dalla Direzione Lavori, anche su proposta dell'Impresa.

Modalità di impiego, tecnologie di additivazione e apparecchiature di dosaggio sono definite dall'Impresa su indicazione del produttore dell'additivo (o degli additivi).

È ammessa la possibilità di impiego di additivi multifunzione.

È ammesso l'impiego di additivi per tutti i conglomerati bituminosi di cui in Tabella 1.1.

È prescritto l'impiego di additivo stabilizzante per la produzione di conglomerato bituminoso per strati di usura di tipo SMA (SMA-12,5-BMP).

1.2.4 Aggregati artificiali

Per determinate applicazioni e fatta salva la necessaria verifica ambientale ai sensi della normativa vigente, il Progettista (o la Direzione Lavori, anche su proposta dell'Impresa) può ricorrere all'impiego delle seguenti tipologie di aggregati artificiali:

- aggregati grossi di origine industriale provenienti dall'industria siderurgica (da forno ad arco elettrico); se di adeguate e verificate prestazioni meccaniche (Paragrafo 1.2.1.1), tali aggregati possono essere utilizzati per la produzione di conglomerati per strato di usura (Us-10-BTQ, Us-10-BMP, Us-12,5-BTQ, Us-12,5-BMP, SMA-12,5-BMP), binder (Bi-20-BTQ, Bi-20-BMP) o base (Ba-31,5-BTQ, Ba-31,5-BMP);
- sabbie da termovalorizzatore; se di adeguate e verificate prestazioni (Paragrafo 1.2.1.2), tali sabbie possono essere utilizzate, con contenuto non superiore al 15% in massa rispetto alla massa totale degli aggregati, per la produzione di conglomerati per strato di usura (Us-10-BTQ, Us-10-BMP, Us-12,5-BTQ, Us-12,5-BMP, SMA-12,5-BMP), binder (Bi-20-BTQ, Bi-20-BMP) o base (Ba-31,5-BTQ, Ba-31,5-BMP).

1.2.5 Conglomerato bituminoso di recupero

Il conglomerato bituminoso di recupero deve essere conforme al Regolamento 29 marzo 2024 n.12 – “Qualificazione ambientale e tecnica del conglomerato bituminoso di recupero (fresato) proveniente dalla demolizione di pavimentazioni stradali”.

Il contenuto massimo di conglomerato bituminoso di recupero ammesso, in relazione al tipo di conglomerato bituminoso di cui in Tabella 1.1, è:

- 10% per conglomerato bituminoso per strato di usura (Us-10-BTQ; Us-10-BMP; Us-12,5-BTQ; Us-12,5-BMP);
- 20% per conglomerato bituminoso per strato di binder (Bi-20-BTQ; Bi-20-BMP);
- 50% per conglomerato bituminoso per strato di base (Ba-31,5-BTQ; Ba-31,5-BMP).

Il contenuto massimo di conglomerato bituminoso di recupero è espresso in percentuale, ottenuta come rapporto tra la massa del conglomerato bituminoso di recupero e la massa totale del conglomerato bituminoso.

In presenza di conglomerato bituminoso di recupero è prescritto l'impiego di additivo rigenerante per bitume invecchiato, qualificato secondo la norma tecnica italiana UNI 11837 (Paragrafo 1.2.3).

Non è ammesso l'impiego di conglomerato bituminoso di recupero in conglomerati bituminosi tipo SMA e con bitume chiaro (SMA-12,5-BMP, Us-12,5-BCH).

1.3 Studio di ottimizzazione del conglomerato bituminoso

Lo studio di ottimizzazione del conglomerato bituminoso è effettuato a cura e spese dell'Impresa e ha due obiettivi:

- effettuare il mix-design, ovvero proporzionare i materiali costituenti (Paragrafo 1.2) per definire in modo univoco la composizione del conglomerato bituminoso medesimo, mediante l'ottimizzazione, con prove di laboratorio, delle caratteristiche composizionali, volumetriche e meccaniche;
- verificare in vera grandezza, mediante apposito campo prove, che il conglomerato bituminoso sia proporzionato in modo tale da essere correttamente lavorato con le macchine e le attrezzature di cantiere in dotazione all'Impresa e garantisca in opera le necessarie caratteristiche composizionali, volumetriche, meccaniche e funzionali (solo per strato di usura).

1.3.1 Mix design

Il mix design del conglomerato bituminoso è conforme alle prescrizioni delle norme armonizzate EN 13108 “*Miscela bituminose. Specifiche del materiale*”, in particolare alla parte 20 di dette norme “*Miscela bituminose. Specifiche del materiale – Prove di tipo*”.

Il mix design è basato su prove di laboratorio.

Il mix design è effettuato da laboratorio di comprovata esperienza e con dotazioni adatte allo studio di mix design per conglomerati bituminosi.

Il laboratorio è scelto dalla Direzione Lavori su proposta dell'Impresa.

Il laboratorio è conforme alla legislazione vigente nella Repubblica di San Marino.

1.3.1.1 Ottimizzazione della distribuzione granulometrica degli aggregati

L'ottimizzazione della distribuzione granulometrica degli aggregati, con riferimento ai conglomerati bituminosi di cui in Tabella 1.1, è effettuata mediante verifica di rispondenza agli intervalli riportati in Tabella 1.6.

Apertura setacci [mm]	Conglomerato bituminoso - Codice miscela				
	Us-10-BTQ Us-10-BMP	Us-12,5-BTQ Us-12,5-BMP Us-12,5-BCH	SMA-12,5-BMP	Bi-20-BTQ Bi-20-BMP	Ba-31,5-BTQ Ba-31,5-BMP
31,5	-	-	-	-	100
20	-	-	-	100	70 - 90
16	-	-	-	90 - 100	-
14	-	-	-	-	50 - 75
12,5	-	100	100	65 - 85	-
10	100	-	-	-	40 - 65
8	90 - 100	90 - 100	50 - 70	50 - 75	-
6,3	75 - 90	-	-	-	30 - 55
4	50 - 65	45 - 65	25 - 45	35 - 55	25 - 50
2	30 - 45	25 - 45	20 - 30	25 - 40	18 - 40
0,5	15 - 25	10 - 25	12 - 22	10 - 25	8 - 20
0,250	10 - 20	8 - 20	10 - 18	5 - 15	5 - 15
0,063	4 - 10	4 - 10	8 - 12	4 - 8	4 - 8

Tabella 1.6. Distribuzione granulometrica delle miscele di aggregati

La determinazione della distribuzione granulometrica è effettuata conformemente alle norme EN 933-1 e EN 1297-2, utilizzando i setacci del gruppo base +2.

1.3.1.2 Ottimizzazione del contenuto di bitume

In Tabella 1.7 è riportato il contenuto minimo di bitume (espresso in percentuale e ottenuto come rapporto tra la massa del bitume e quella del conglomerato bituminoso) per i diversi conglomerati bituminosi di cui in Tabella 1.1.

In presenza di conglomerato bituminoso di recupero, la massa del bitume - per il calcolo del contenuto minimo di cui in Tabella 1.7 - è determinata sommando la massa bitume di primo impiego e la massa di bitume presente nel conglomerato bituminoso di recupero.

Requisito	Norma	Simbolo	UM	Valori richiesti per tipo di conglomerato bituminoso ¹⁾ - Codice miscela									
				Us-10		Us-12,5			SMA-12,5	Bi-20		Ba-31,5	
				BTQ	BMP	BTQ	BMP	BCH	BMP	BTQ	BMP	BTQ	BMP
Contenuto di legante (riferito alla miscela)	EN 12697-1 o EN 12697-39	B _{min}	%	≥ 5,2 (B _{min5,2})	≥ 5,2 (B _{min5,2})	≥ 5,0 (B _{min5,0})	≥ 5,0 (B _{min5,0})	≥ 5,0 (B _{min5,0})	≥ 5,8 (B _{min5,8})	≥ 4,5 (B _{min4,5})	≥ 4,5 (B _{min4,5})	≥ 4,0 (B _{min4,0})	≥ 4,0 (B _{min4,0})

1) I valori riportati tra parentesi sono le categorie di riferimento per la classificazione secondo la norma EN 13108-1

Tabella 1.7. Contenuto minimo di legante del conglomerato bituminoso

La miscelazione dei conglomerati bituminosi è effettuata mediante apparecchiature di laboratorio, oppure in impianto di produzione.

L'ottimizzazione del contenuto di bitume è effettuata mediante metodo volumetrico con pressa a taglio giratorio (EN 12697-31).

È prescritto un diametro dei campioni pari a 150 mm per conglomerati bituminosi per strati di binder e base (Bi-20-BTQ, Bi-20-BMP, Ba-31,5-BTQ, Ba-31,5-BMP).

È prescritto un diametro minimo dei campioni pari a 100 mm per conglomerati bituminosi per strati di usura (Us-10-BTQ, Us-10-BMP, Us-12,5-BTQ, Us-12,5-BMP, SMA-12,5-BMP, Us-12,5-BCH).

In Tabella 1.8 sono riportate le prescrizioni relative alle temperature di miscelazione e compattazione. È facoltà dell'Impresa chiedere di derogare alle prescrizioni di cui in Tabella 1.8 nel caso in cui siano impiegati bitumi che, per ragioni documentate, necessitano di intervalli di temperature di miscelazione e compattazione diverse. La richiesta di deroga è valutata ed eventualmente avallata dalla Direzione Lavori. Tutta la documentazione (richiesta, concessione e documentazione di supporto) è allegata allo studio di ottimizzazione del conglomerato bituminoso.

Tipo di legante	Temperature			
	Materiali/conglomerato bituminoso	UM	Miscelazione (in laboratorio e in impianto)	Compattazione (in laboratorio e in sito)
Bitume Tal Quale BTQ	Temperatura degli aggregati	°C	150 ÷ 180 ¹⁾	-
	Temperatura del bitume	°C	150 ÷ 160	-
	Temperatura del conglomerato bituminoso	°C	150 ÷ 180 ²⁾	≥ 140 ³⁾
Bitume Modificato con Polimeri BMP	Temperatura degli aggregati	°C	160 ÷ 180 ¹⁾	-
	Temperatura del bitume	°C	160 ÷ 170	-
	Temperatura del conglomerato bituminoso	°C	160 ÷ 180 ²⁾	≥ 150 ³⁾
Bitume Chiaro BCH	Temperatura degli aggregati	°C	150 ÷ 180 ¹⁾	-
	Temperatura del bitume	°C	150 ÷ 160	-
	Temperatura del conglomerato bituminoso	°C	160 ÷ 180 ²⁾	≥ 140 ³⁾

1) In caso di impiego di granulato di conglomerato bituminoso la temperatura degli aggregati può essere innalzata fino ad un massimo di 200°C.

2) da verificare secondo DoP del conglomerato bituminoso

3) in sito, misurata in prossimità della parte posteriore della vibrofinitrice mobile

Tabella 1.8. Temperature dei materiali costituenti e delle miscele in fase di produzione

L'Impresa è tenuta a dichiarare le temperature di miscelazione e compattazione utilizzate.

Lo studio di ottimizzazione del contenuto di bitume è basato sulla determinazione delle caratteristiche volumetriche (Tabella 1.9) e meccaniche (Tabella 1.10) al variare del contenuto di bitume per almeno quattro diverse percentuali.

Sono quindi da realizzare almeno quattro conglomerati bituminosi aventi medesima curva granulometrica (Paragrafo 1.3.1.1) e quattro diversi contenuti di bitume, partendo dal contenuto minimo di cui in Tabella 1.7 ed incrementando tale valore di 0,25%.

Requisito ¹⁾	Norma	Simbolo	UM	Conglomerato bituminoso - Codice miscela	Valori richiesti
Contenuto vuoti a 10 rotazioni (N1 - iniziale)	EN 12697-8	V	%	Tutti i tipi	10 ÷ 15 (V _{min10} - V _{max15})
Contenuto vuoti a 100 rotazioni (N2 – di progetto)	EN 12697-8	V	%	Us-10-BTQ Us-10-BMP Us-12,5-BTQ Us-12,5-BMP Us-12,5-BCH Bi-20-BTQ Bi-20-BMP Ba-31,5-BTQ Ba-31,5-BMP	3 ÷ 6 (V _{min3} - V _{max6})
				SMA-12,5-BMP	2 ÷ 5 (V _{min2} - V _{max5})
Contenuto vuoti a 180 rotazioni (N3 finale)	EN 12697-8	V	%	Tutti i tipi	≥ 2 (V _{min2})

¹⁾ I parametri di configurazione del procedimento sono conformi alla norma UNI EN 12697-31 (angolo di rotazione, carico, diametro del provino, velocità di rotazione)

Tabella 1.9. Requisiti delle caratteristiche volumetriche dei conglomerati bituminosi

In merito alla Tabella 1.10, si specifica che è divisa in due parti (A e B):

- parte A - requisiti obbligatori, da verificare sempre e per ogni tipologia di conglomerato bituminoso di cui in Tabella 1.1;
- parte B - requisiti opzionali, da verificare (tutti o alcuni) su richiesta della Committenza o della Direzione Lavori in relazione alle specificità dell'intervento in progetto.

In merito alle verifiche di ormaiamento, i campioni di prova sono prodotti secondo uno dei metodi previsti dalla EN 12697-33. Il metodo è dichiarato nel rapporto di prova del laboratorio, come anche il metodo di esecuzione delle prove di ormaiamento, tra quelli previsti dalla EN 12697-22.

PARTE A												
Requisiti obbligatori												
per tipo di conglomerato bituminoso - Codice miscela												
Requisito	Norma	Simbolo	UM	Us-10		Us-12,5		SMA-12,5-BMP	Bi-20		Ba-31,5	
				BTQ	BMP	BTQ BCH	BMP		BTQ	BMP	BTQ	BMP
Sensibilità all'acqua ¹⁾	UNI EN 12697-12	ITSR	%	> 90	> 90	> 90	> 90	> 90	> 90	> 90	> 90	> 90
Resistenza a trazione indiretta (a 20°C) ¹⁾	UNI EN 12697-23	ITS	kPa	700 ÷ 1.400	1.300 ÷ 2.000	700 ÷ 1.400	1.300 ÷ 2.000	900 ÷ 1.700	700 ÷ 1.600	950 ÷ 1.700	700 ÷ 1.600	950 ÷ 1.700
Modulo di rigidezza (a 20°C) ¹⁾	UNI EN 12697-26 (Annex C)	Sm	MPa	3.000 ÷ 8.000	4.000 ÷ 7.000	3.000 ÷ 8.000	4.000 ÷ 7.000	4.000 ÷ 7.000	3.000 ÷ 12.000	5.000 ÷ 10.000	3.000 ÷ 10.000	4.000 ÷ 9.000

PARTE B												
Requisiti opzionali												
da verificare su richiesta della Committenza o della Direzione Lavori per tipo di conglomerato bituminoso - Codice miscela												
Requisito	Norma	Simbolo	UM	Us-10		Us-12,5		SMA-12,5-BMP	Bi-20		Ba-31,5	
				BTQ	BMP	BTQ BCH	BMP		BTQ	BMP	BTQ	BMP
Modulo di rigidezza (a 5°C) ¹⁾	UNI EN 12697-26 (Annex C)	Sm	MPa	≤14.000	≤ 12.000	≤14.000	≤ 12.000	≤12.000	≤ 22.000	≤ 20.000	≤ 22.000	≤ 20.000
Modulo di rigidezza (a 40°C) ¹⁾	UNI EN 12697-26 (Annex C)	Sm	MPa	≥ 700	≥ 1.000	≥ 700	≥ 1.000	≥ 1.000	≥ 1.000	≥ 1.500	≥ 1.000	≥ 1.500
Ormaiamento (a 60°C)	UNI EN 12697-22	%RD	%	Valore dichiarato					Non richiesto			
		WTS	-	Valore dichiarato					Non richiesto			

1) I provini sono preparati con pressa a taglio giratorio con numero intermedio di rotazioni N2 = 100 alla temperatura dichiarata nello studio di ottimizzazione del conglomerato bituminoso

Tabella 1.10. Requisiti delle caratteristiche meccaniche dei conglomerati bituminosi

Il contenuto ottimo di bitume è quel valore (minimo) a cui sono verificate tutte le prescrizioni di cui in Tabella 1.9 (caratteristiche volumetriche) e Tabella 1.10 (caratteristiche meccaniche).

Qualora nessuno dei quattro conglomerati bituminosi soddisfi i requisiti di cui in Tabella 1.9 (caratteristiche volumetriche) e Tabella 1.10 (caratteristiche meccaniche), l'Impresa è tenuta a ripetere il mix design fino al soddisfacimento dei requisiti di cui alle tabelle appena richiamate. A tal fine, l'Impresa può anche chiedere alla Direzione Lavori la non ottemperanza alle prescrizioni di cui in Tabella 1.5 e Tabella 1.6. In altre parole, il soddisfacimento dei requisiti delle caratteristiche volumetriche e meccaniche prevale sulle prescrizioni relative alla composizione (materiali costituenti) del conglomerato bituminoso.

1.3.1.3 Ottimizzazione del contenuto di additivo

Nel caso in cui l'Impresa ritenga di far ricorso all'impiego di additivi (o nel caso questi siano prescritti: impiego di conglomerato bituminoso di recupero – Paragrafo 1.2.5, o per SMA-12,5-BMP), l'ottimizzazione del

contenuto di additivi è effettuata successivamente all'ottimizzazione del contenuto di bitume di cui al Paragrafo 1.3.1.2.

Il quantitativo di additivo (o additivi, o additivo multifunzione) è definito nell'intervallo suggerito dal produttore dell'additivo. In detto intervallo, l'ottimizzazione è effettuata utilizzando tre quantitativi (del singolo additivo, degli additivi, o dell'additivo multifunzione): il valore medio, un quantitativo inferiore ed uno superiore.

In questo modo viene definita la composizione di tre diversi conglomerati bituminosi aventi granulometria ottimizzata secondo le procedure di cui al Paragrafo 1.3.1.1, contenuto di bitume ottimo, secondo le determinazioni di cui al Paragrafo 1.3.1.2 e contenuto di additivo (o additivi, o additivo multifunzione) secondo la metodologia appena descritta.

Per ognuno dei tre conglomerati bituminosi sono verificate le caratteristiche volumetriche (Tabella 1.9) e meccaniche (Tabella 1.10).

Il contenuto ottimo di additivo (o additivi, o additivo multifunzione) è quel valore minimo (o minimi, nel caso di più additivi) per cui risultano verificate tutte le prescrizioni di cui in Tabella 1.9 (caratteristiche volumetriche) e Tabella 1.10 (caratteristiche meccaniche).

Qualora i risultati delle prove di ottimizzazione dell'additivo ne prefigurino la necessità o la possibilità, è possibile variare (ridurre o aumentare) il contenuto di bitume rispetto a quello ottimo determinato secondo le prescrizioni di cui al Paragrafo 1.3.1.2. Tale variazione non può essere comunque superiore allo 0,50% in massa rispetto al contenuto ottimo di bitume e devono essere comunque rispettate le prescrizioni di cui in Tabella 1.7.

Per il conglomerato bituminoso con il nuovo contenuto di bitume (variato rispetto a quello ottimo di cui al Paragrafo 1.3.1.2) e l'additivo (additivi, o additivo multifunzione) deve essere effettuata una nuova verifica di rispondenza alle prescrizioni di cui in Tabella 1.9 e Tabella 1.10.

1.3.2 Verifica in vera grandezza mediante campo prove

La verifica in vera grandezza è parte integrante dello studio di ottimizzazione del conglomerato bituminoso.

La verifica in vera grandezza è effettuata per tutti i conglomerati bituminosi previsti dal Progetto.

La verifica in vera grandezza, mediante apposito campo prove, del conglomerato bituminoso ottimizzato secondo il mix design di cui al Paragrafo 1.3.1 è effettuata a cura e spese dell'Impresa con lo scopo di verificare metodi di produzione e posa.

La Direzione Lavori è tenuta a sovrintendere e presenziare a tutte le fasi di verifica in vera grandezza.

Per quanto riguarda la verifica dei metodi di produzione, l'Impresa ha l'obbligo di produrre con il medesimo impianto automatizzato e con le stesse tecnologie e procedure che intende utilizzare per le lavorazioni previste dal Progetto.

Nel caso di più impianti di produzione, l'Impresa è tenuta ad effettuare tante verifiche in vera grandezza (mediante campi prova) quanti sono gli Impianti che intende utilizzare. L'impresa, sulla base di chiare e documentate esigenze, ha facoltà di chiedere alla Direzione Lavori di ridurre all'unità il numero di verifiche in

vera grandezza. È discrezione della Direzione Lavori accettare o meno tale richiesta, senza necessità di motivarla.

Le quantità prodotte dal singolo impianto sono tali da permettere la produzione del conglomerato bituminoso per la realizzazione del campo prove, senza soluzione di continuità.

La realizzazione del campo prove è effettuata su un'area pubblica o privata scelta dalla Direzione Lavori, su proposta dell'Impresa. Qualora la proposta dell'Impresa non risultasse soddisfacente, è facoltà della Direzione Lavori individuare l'area di effettuazione del campo prove, a proprio insindacabile giudizio.

Il campo prove replica in modo fedele le condizioni di lavorazione che si prevede siano presenti sul sito di lavorazione.

Per la realizzazione del campo prove sono utilizzate le medesime macchine, attrezzature e modalità operative che si prevede vengano utilizzate per il sito di lavorazione. Per tale motivo, l'Impresa è tenuta a fornire alla Direzione Lavori l'elenco di macchine e attrezzature che intende utilizzare. In particolare, per le macchine (vibrofinitrice mobile e rullo - o rulli), l'Impresa è tenuta a dare evidenza che dette macchine sono nella propria disponibilità (indicando se di proprietà, nolo o altro), specificando tipologia, marca, modello, numero identificativo, corretta manutenzione e tutto quanto necessario per verificarne il corretto funzionamento e l'adeguatezza rispetto alle lavorazioni previste dal Progetto.

La vibrofinitrice mobile deve essere su gomme per lavorazioni in cui il nuovo strato è posato su conglomerato bituminoso (esistente o di nuova realizzazione), in perfetto stato di efficienza, dotata di sistemi di autolivellamento e precompattazione (piastre vibranti e tamper).

Nel caso in cui il nuovo strato sia posato su materiale granulare o debolmente legato (per esempio, in misto cementato), l'Impresa può proporre l'uso di vibrofinitrice mobile su cingoli. La proposta deve essere accettata dalla Direzione Lavori.

I rulli compattatori devono essere di massa adeguata e, ad eccezione di casi particolari di seguito riportati, del tipo ferro/ferro a doppio tamburo dotati di dispositivo di vibrazione. La massa dei rulli deve essere adeguata alle caratteristiche e allo spessore dello strato.

In generale, per strati con spessore da Progetto fino a 50 mm (compresi gli strati di risagomatura) sono da impiegare rulli con massa non inferiore a 8 ton.

Per strati con spessore da Progetto compreso tra 50 mm e 100 mm, sono da impiegare rulli con massa non inferiore a 12 ton.

Per strati con spessore da Progetto superiore 100 mm, sono da impiegare rulli con massa non inferiore a 15 ton. Nel caso in cui detti strati siano per la formazione di strati di binder o base, l'Impresa può impiegare rulli del tipo gomma/gomma, previa accettazione da parte della Direzione Lavori.

L'Impresa è tenuta a dare evidenza documentale alla Direzione Lavori in merito alla massa dei rulli utilizzati.

Nel corso delle operazioni di posa deve essere misurata la temperatura di lavorazione del conglomerato bituminoso mediante termometro a sonda e nella parte posteriore della vibrofinitrice, con un passo di circa 10 m nella direzione di avanzamento della vibrofinitrice. La verifica è onere dell'Impresa. La Direzione Lavori è

tenuta a supervisionare detta verifica e può effettuare proprie misure con propria strumentazione o richiedere controlli in punti specifici del sito di lavorazione. La temperatura di posa è quella riportata in Tabella 1.8, con una tolleranza di $\pm 5^{\circ}\text{C}$. Se la temperatura eccede tale tolleranza, la Direzione Lavori ha facoltà di richiedere che il conglomerato bituminoso della specifica fornitura sia allontanato dal cantiere.

Il campo prova è costituito da almeno due unità campionarie.

Ogni unità campionaria ha dimensione minima di 50 m di lunghezza e 2,5 m di larghezza. Lo spessore dello strato finito è oggetto di verifica a termine di lavorazione, in modo che sia verificata la conformità alle prescrizioni del Progetto.

Per ogni unità campionaria, l'Impresa è tenuta a dichiarare le modalità di lavorazione che intende verificare, in particolare:

- per la stesa, la velocità di avanzamento della vibrofinitrice mobile, che deve essere comunque inferiore a 5 m/min;
- per la compattazione, definita da (almeno) numero di passaggi e modalità di lavorazione (statica, dinamica, mista) del rullo (o dei rulli).

A mero titolo esemplificativo, ma non esaustivo, si ipotizza di dover realizzare uno strato di usura in conglomerato bituminoso prodotto da un singolo impianto di produzione. Lo spessore finale dello strato è, da Progetto, pari a 40 mm.

Il campo prova proposto dall'Impresa è costituito da due unità campionarie (A e B in esempio).

L'Impresa ritiene di verificare le seguenti modalità di posa:

- unità campionaria A:
 - velocità di avanzamento della vibrofinitrice pari a 4 m/min;
 - rullo di massa pari a 8 ton con 6 passate A/R in modalità statica;
- unità campionaria B:
 - velocità di avanzamento della vibrofinitrice pari a 3 m/min;
 - rullo di massa pari a 10 ton con 4 passate A/R, 2 in modalità vibrante e 2 in modalità statica.

L'adeguatezza della produzione in impianto (compresi materiali costituenti) e della modalità di posa (in esempio, unità campionaria A, oppure B) è verificata quando sono soddisfatti tutti i requisiti delle verifiche di cui al Paragrafo 1.3.2.2, al Paragrafo 1.3.2.3, al Paragrafo 1.3.2.4 e, per il solo strato di usura, al Paragrafo 1.3.2.5.

In caso di esito negativo, il campo prova viene ripetuto, con nuove modalità (di produzione e/o posa), oppure con nuova formulazione del conglomerato bituminoso (mix design, Paragrafo 1.3.1), anche, se necessario, non ottemperando alle prescrizioni di cui in Tabella 1.5 e Tabella 1.6, sempre previa autorizzazione della Direzione Lavori e purché siano soddisfatti i requisiti di cui in Tabella 1.9 (caratteristiche volumetriche) e

Tabella 1.10 (caratteristiche meccaniche), nonché le caratteristiche funzionali per il solo strato di usura (Paragrafo 1.3.2.5).

Nel caso di ripetizione del campo prova è possibile realizzare un'unica Unità Campionaria.

Su richiesta dell'Impresa, la Direzione Lavori può dare disposizione di non procedere alla verifica in vera grandezza in ragione di chiare e documentate esigenze, tra le quali:

- lavorazioni di modesta entità, di norma inferiori ai 500 m² di lavorazione;
- lavorazioni inerenti allo strato di risagomatura, allorché per detti strati siano utilizzati conglomerati bituminosi anche impiegati per altri strati della pavimentazione del medesimo Progetto;
- lavorazioni effettuate con medesimi conglomerati bituminosi impiegati nell'ultimo anno per interventi analoghi a quelli in Progetto e realizzati dalla stessa Impresa, la quale è tenuta a dare evidenza documentale che non siano occorse variazioni dell'impianto di produzione (o di sue componenti sostanziali) dei materiali costituenti, di procedimenti, attrezzature, macchine e modalità operative di posa.

1.3.2.1 Modalità di prelievo

I prelievi sono da effettuarsi per:

- materiali costituenti;
- conglomerato bituminoso;
- campionamento in sito mediante carotaggio.

I prelievi dei materiali costituenti sono effettuati presso l'impianto di produzione del conglomerato bituminoso nella stessa giornata di realizzazione del campo prove.

Sono prelevati tutti i materiali componenti:

- aggregato grosso e fino (per ognuna delle classi granulometriche definite dal mix design) da cumulo o dalle tramogge di preselezione all'impianto;
- filler, preferibilmente dal silo di stoccaggio;
- bitume, preferibilmente alla cisterna dell'impianto;

e, se previsti dal mix design:

- additivo (o additivi), dal sistema di adduzione in impianto;
- conglomerato bituminoso di recupero (per ognuna delle classi granulometriche, se previste dal mix design in numero maggiore dell'unità), da cumulo o dai sistemi di preselezione all'impianto;
- aggregati artificiali (per ognuna delle classi granulometriche, se previste dal mix design in numero maggiore dell'unità), da cumulo o dalle tramogge di preselezione all'impianto.

Per i conglomerati bituminosi, il prelievo è effettuato durante le operazioni di posa in opera, dalla parte anteriore oppure da quella posteriore della vibrofinitrice mobile. Il prelievo deve essere effettuato in quantità tale da permettere le verifiche composizionali e le verifiche volumetriche e meccaniche di cui al Paragrafo 1.3.2.3 e al Paragrafo 1.3.2.4.

In merito al campionamento in sito mediante carotaggio dalla pavimentazione, le carote sono estratte in doppio (a distanza di 1 m circa, in direzione ortogonale alla direzione di posa) e, insieme, costituiscono unico punto di prelievo.

Per ogni Unità Campionaria, la Direzione Lavori individua almeno due punti di prelievo, verificando che detti punti siano sufficientemente lontani dai bordi laterali (almeno 0,5 m) e dalle sezioni di inizio e fine delle lavorazioni (almeno 15 m). Il prelievo è onere dell'Impresa ed è effettuato in contraddittorio con la Direzione Lavori.

I prelievi di materiali costituenti e conglomerati bituminoso devono essere effettuati dall'Impresa in triplo e in contraddittorio, alla presenza della Direzione Lavori. I prelievi devono essere posti in contenitori adeguati sia per forma e dimensioni, sia per caratteristiche tecniche, in modo che non sia possibile alcuna forma di contaminazione.

Per i prelievi di materiali costituenti possono essere usati:

- sacchi o secchi per aggregati grossi e fini e conglomerato bituminoso di recupero;
- contenitori in metallo (o di materiale idoneo atto a garantire la non contaminazione e il trasporto in sicurezza) per filler, bitume e additivi.

I prelievi dei conglomerati bituminosi sono posti in sacchi o secchi, purché di idonea resistenza al calore.

Per le carote sono utilizzati contenitori di forma e volumi adeguati e resistenza tale da proteggere le carote da urti e danneggiamenti durante il trasporto.

Ogni prelievo è opportunamente sigillato, datato e siglato da Impresa e Direzione Lavori, identificandolo con codice univoco. Un prelievo è inviato dall'Impresa al laboratorio accreditato per l'esecuzione delle prove, gli altri (nel caso di materiali costituenti e conglomerato bituminoso) o l'altro (nel caso di carote) vengono (o viene) consegnato alla Direzione Lavori, che li (lo) conserva per eventuali prove successive. È facoltà della Direzione Lavori effettuare ulteriori prove di approfondimento o conferma presso laboratorio di propria fiducia. I costi di detti approfondimenti sono a carico della Direzione Lavori o della Committenza.

1.3.2.2 Verifica dei materiali costituenti

I riferimenti per la verifica dei materiali costituenti sono riportati in Tabella 1.11.

Materiale costituente	Aggregato grosso (per singola classe granulometrica)	Aggregato fino (per singola classe granulometrica)	Filler	Bitume	Additivi (per singolo additivo)	Conglomerato bituminoso di recupero (per singola classe granulometrica)	Aggregati artificiali (per singola classe granulometrica)
Riferimento per la verifica	Tabella 1.2	Tabella 1.3	Tabella 1.4	Tabella 1.5	Come da Scheda tecnica e UNI 11837	Come da Regolamento 29 marzo 2024 n.12	Tabella 1.2 per aggregati grossi di origine industriale Tabella 1.3 per sabbie da termovalorizzatore

Tabella 1.11 Riferimenti per la verifica dei materiali costituenti

1.3.2.3 Verifiche composizionali

Le verifiche composizionali (minime) da effettuare sul conglomerato bituminoso sono eseguite in laboratorio mediante estrazione del bitume, secondo EN 12697-1 e EN 12697-2, e consistono in:

- determinazione del contenuto di bitume, prescrizione: come da mix design con tolleranza di $\pm 0,25\%$ in massa;
- determinazione della distribuzione granulometrica degli aggregati, prescrizione: come da mix design con tolleranza di $\pm 4\%$ in massa per aggregati grossi e $\pm 2\%$ in massa per aggregati fini e filler.

1.3.2.4 Verifiche volumetriche e meccaniche

Le verifiche volumetriche e meccaniche sono effettuate:

- sul conglomerato bituminoso prelevato durante le operazioni di posa in opera;
- su campioni estratti con carotaggio dalla pavimentazione (carote).

Per quanto riguarda il conglomerato bituminoso prelevato durante le operazioni di posa, è utilizzato per produrre campioni di laboratorio secondo le medesime modalità definite per il mix design (Paragrafo 1.3.1). Detti campioni sono sottoposti a prove per verificare la rispondenza ai requisiti volumetrici (Tabella 1.12) e meccanici (Tabella 1.13) definiti dal mix design.

Requisito ¹⁾	Norma	Simbolo	UM	Conglomerato bituminoso - Codice miscela	Valori richiesti
Contenuto vuoti a 10 rotazioni (N1 - iniziale)	EN 12697-8	V	%	Tutti i tipi	10 – 15 ($V_{min10} - V_{max15}$)
Contenuto vuoti a 100 rotazioni (N2 – di progetto)	EN 12697-8	V	%	Tutti i tipi	Come da mix design $\pm 1\%$
Contenuto vuoti a 180 rotazioni (N3 finale)	EN 12697-8	V	%	Tutti i tipi	≥ 2 (V_{min2})

1) I parametri di configurazione del procedimento sono conformi alla norma EN 12697-31 (angolo di rotazione, carico, diametro del provino, velocità di rotazione)

Tabella 1.12 Verifiche volumetriche del conglomerato bituminoso prelevato in sito

Requisito	Norma	Simbolo	UM	PARTE A - Requisiti obbligatori per tutti i tipi di conglomerato bituminoso
Sensibilità all'acqua ¹⁾	EN 12697-12	ITSR	%	Come da mix design - 10%
Resistenza a trazione indiretta ¹⁾ (a 20°C)	EN 12697-23	ITS	kPa	Come da mix design ± 10%
Modulo di rigidezza ¹⁾ (a 20°C)	EN 12697-26 (Annex C)	Sm	Mpa	Come da mix design ± 20%
Requisito	Norma	Simbolo	UM	PARTE B - Requisiti opzionali verificare su richiesta della Committenza o della Direzione Lavori per tipo di conglomerato bituminoso
Modulo di rigidezza ¹⁾ (a 5°C)	EN 12697-26 (Annex C)	Sm	Mpa	Come da mix design ± 20%
Modulo di rigidezza ¹⁾ (a 40°C)	EN 12697-26 (Annex C)	Sm	Mpa	Come da mix design ± 20%
Ormaiamento ²⁾ (a 60°C)	EN 12697-22	%RD	%	Come da mix design ± 20%
		WTS	-	

1) I provini sono preparati con pressa a taglio giratorio con numero intermedio di rotazioni N2 = 100 alla temperatura dichiarata nello studio di ottimizzazione del conglomerato bituminoso

2) La preparazione dei provini e le prove di ormaiamento sono effettuati con le stesse modalità dichiarate nello studio di ottimizzazione del conglomerato bituminoso

Tabella 1.13 Verifiche meccaniche del conglomerato bituminoso prelevato in sito

Per quanto riguarda i campioni estratti con carotaggio dalla pavimentazione, le verifiche volumetriche e meccaniche per ogni punto di prelievo (media aritmetica delle risultanze sperimentali) devono soddisfare i requisiti di cui in Tabella 1.14.

Requisito	Norma	Simbolo	UM	Conglomerato bituminoso - Codice miscela	Valori richiesti
Spessore	EN 12697-36	s	mm	Tutti i tipi	Come da Progetto - 10% se lo spessore dello strato è inferiore o uguale a 50 mm oppure Come da Progetto - 5 mm se lo spessore dello strato è superiore a 50 mm
Contenuto vuoti	EN 12697-8	V	%	Tutti i tipi	3-7 ($V_{min3} - V_{max7}$)
Resistenza a trazione indiretta (a 20°C)	EN 12697-23	ITS	kPa	Tutti i tipi	Come da mix design ± 30%
Modulo di rigidezza ¹⁾ (a 40°C)	EN 12697-26 (Annex C)	Sm	Mpa	Tutti i tipi	Come da mix design ± 30%

1) Requisito opzionale da verificare su richiesta della Committenza o della Direzione Lavori

Tabella 1.14 Verifiche volumetriche e meccaniche dei carotaggi estratti dalla pavimentazione

1.3.2.5 Verifiche funzionali

Le verifiche funzionali consistono in prove sperimentali in sito e sono effettuate per il solo strato di usura, dopo almeno 72 ore dal termine delle lavorazioni.

A ciò fare, la Direzione Lavori individua, per ogni Unità Campionaria, almeno due stazioni di misura, verificando che siano sufficientemente lontane dai bordi laterali (almeno 0,5 m) e dalle sezioni di inizio e fine delle lavorazioni (almeno 15 m). Le misure sono onere dell'Impresa e sono effettuate in contraddittorio con la Direzione Lavori.

La Direzione Lavori ha facoltà di far eseguire ulteriori prove da laboratorio di propria fiducia, sostenendone oneri e spese.

Per ogni stazione di misura e per ogni prova di cui in Tabella 1.15, sono condotte prove in doppia determinazione (a distanza di 1 m circa, in direzione ortogonale alla direzione di posa). Le due prove, insieme, costituiscono unica stazione di misura.

Le verifiche funzionali per ogni stazione di misura (media aritmetica delle risultanze sperimentali) devono soddisfare i requisiti di cui in Tabella 1.15.

Requisito	Norma	Simbolo	UM	Valori richiesti
Resistenza allo slittamento (metodo del pendolo)	EN 13036-4	PTV	-	≥45
Profondità della macrotestitura (tecnica volumetrica a impronta)	EN 13036-1	MTD	mm	≥0,50

Tabella 1.15. Verifiche funzionali sullo strato di usura

1.4 Produzione e posa del conglomerato bituminoso

La realizzazione a regola d'arte dello strato finito in conglomerato bituminoso è composta da due principali attività:

- produzione del conglomerato bituminoso in apposito impianto fisso automatizzato (Paragrafo 1.4.1);
- posa del conglomerato bituminoso per la formazione dello strato secondo le prescrizioni del Progetto, mediante operazioni ben definite e consequenziali (Paragrafo 1.4.2).

1.4.1 Produzione del conglomerato bituminoso

Il conglomerato bituminoso deve essere prodotto dal medesimo impianto fisso automatizzato utilizzato per la verifica in vera grandezza, di cui al precedente Paragrafo 1.3.2.

L'impianto deve garantire uniformità di produzione, in modo che possa in ogni momento essere verificata la rispondenza del conglomerato bituminoso ai risultati delle verifiche in vera grandezza mediante campo prove (Paragrafo 1.3.2).

Il dosaggio dei materiali costituenti è effettuato, in massa o in volume a seconda del materiale costituente, mediante idonee apparecchiature.

Modalità e tempo di miscelazione devono essere tali da garantire, anche mediante ispezione visiva, completo e uniforme ricoprimento degli aggregati e omogeneità del conglomerato bituminoso.

Il tempo di miscelazione è definito dal Produttore in ragione delle caratteristiche dell'impianto e del tipo di conglomerato bituminoso prodotto.

La temperatura di produzione deve essere la stessa definita in fase di mix design (Paragrafo 1.3.1), con una tolleranza di $\pm 5^{\circ}\text{C}$.

Salvo casi eccezionali e documentati, la produzione è effettuata entro e non oltre sei mesi dalla conclusione delle verifiche in vera grandezza. In caso contrario è necessario ripetere le verifiche di cui al Paragrafo 1.3.2.

L'efficienza dell'impianto e delle relative apparecchiature deve essere verificata e dimostrata dal Produttore, attraverso apposita documentazione attestante la corretta esecuzione delle verifiche periodiche di taratura, che non dovranno avere data antecedente a un anno rispetto alle operazioni di produzione del conglomerato bituminoso. In caso di anomalie, deve essere prodotta apposita documentazione di risoluzione di dette anomalie e successiva taratura dell'impianto.

Nel caso di impiego di conglomerato bituminoso di recupero quale materiale componente, il Produttore è tenuto a dare evidenza documentale che l'impianto è dotato delle idonee attrezzature per la lavorazione di detto materiale componente, anche in relazione alle quantità definite dallo studio di ottimizzazione del conglomerato bituminoso (Paragrafo 1.3).

Il Produttore è tenuto a mettere a disposizione della Direzione Lavori la documentazione di cui sopra, prima delle verifiche in vera grandezza. La Direzione Lavori è tenuta alla verifica di tale documentazione. Nel caso in cui detta verifica dia esito negativo, la Direzione Lavori ha facoltà di imporre all'Impresa di non utilizzare quel determinato impianto di produzione.

1.4.2 Posa del conglomerato bituminoso

La posa del conglomerato bituminoso per la formazione dello strato è composta da una serie di operazioni definite e consequenziali:

- preparazione del piano di posa;
- trasporto;
- stesa;
- compattazione.

Mediante apposita documentazione, l'Impresa è tenuta dimostrare:

- di essere nella disponibilità delle necessarie macchine e mezzi (proprietà, nolo o altro);
- che macchine e mezzi di cui dispone soddisfano il fabbisogno del cantiere.

1.4.2.1 Preparazione del piano di posa

La preparazione del piano di posa consiste in operazioni preliminari, che sono differenti a seconda se il Progetto preveda una nuova realizzazione o una manutenzione, più o meno profonda, di una pavimentazione esistente.

Nel caso di nuova realizzazione, la preparazione del piano di posa consiste nella rimozione di eventuali elementi estranei, nella pulizia mediante opportune macchine spazzatrici e nella successiva posa della mano di attacco (Capitolo 2).

Nel caso di manutenzione di pavimentazione esistente, la prima operazione di preparazione del piano di posa dello strato (o degli strati) di nuovo impianto consiste nella rimozione degli strati esistenti, fino alla profondità prevista dal Progetto.

Detta rimozione è effettuata mediante idonee macchine operatrici, quali fresatrici a freddo, che asportano lo strato (o gli strati) esistente (o esistenti) e, senza soluzione di continuità, immettono il materiale asportato sui mezzi adibiti al trasporto, per l'allontanamento del materiale rimosso dal sito di lavorazione.

Alla rimozione segue la pulizia, mediante opportune macchine spazzatrici.

La Direzione Lavori è tenuta a valutare la documentazione relativa a detta procedura e, nel caso di esito negativo, imporre all'Impresa le necessarie integrazioni e/o sostituzioni.

A seguito della pulizia, si procede con la verifica della regolarità del piano di posa (con rilievo topografico o mediante stadia, a seconda della tipologia di cantiere e secondo le prescrizioni del Progetto o della Direzione Lavori), con particolare riferimento alle pendenze longitudinali e trasversali dello strato di posa.

Nel caso in cui detta verifica di regolarità accerti che lo spessore di pavimentazione rimossa è inferiore (anche per porzioni limitate e identificate) di quello previsto dal Progetto, si procede a risagomatura mediante nuove operazioni di rimozione. Se la risagomatura è da effettuarsi per porzioni molto limitate della pavimentazione, è possibile procedere con modalità manuale, previa approvazione della Direzione Lavori.

Nel caso in cui la verifica di regolarità accerti che lo spessore di pavimentazione rimossa è superiore a quello di Progetto (anche per porzioni limitate e identificate) o nel caso di buche o avvallamenti preesistenti con profondità maggiore rispetto a quella di rimozione, si procede a risagomatura, mediante stesa di conglomerato bituminoso, che, a seconda dello spessore di risagomatura, è scelto tra quelli di cui in Tabella 1.1. Prima della posa dello strato di risagomatura viene effettuata la pulizia della superficie di stesa, la regolarizzazione dei bordi del cavo di posa (se del caso) e la posa della mano di attacco (Capitolo 2). Se la risagomatura è da effettuarsi per porzioni molto limitate della pavimentazione, è possibile procedere con modalità manuale, previa approvazione della Direzione Lavori.

In entrambi i casi di cui sopra, al termine delle operazioni di risagomatura è effettuata una nuova verifica della regolarità del piano di posa.

A seguito di esito positivo della verifica di regolarità, è possibile procedere con le operazioni di pulizia del piano di posa e di successiva stesa della mano di attacco (Capitolo 2).

1.4.2.2 Trasporto

Il trasporto del conglomerato bituminoso, dall'impianto di produzione al cantiere di lavorazione, deve essere effettuato con mezzi di trasporto dotati di cassone e di sistema di scarico posteriore.

I mezzi di trasporto devono essere di adeguata portata e in perfetto stato di efficienza e manutenzione.

I cassoni dei mezzi di trasporto devono essere integri, puliti e privi di residui (per la pulizia non è ammesso l'uso di gasolio o di altri solventi del bitume).

I cassoni dei mezzi di trasporto devono essere dotati di telone di copertura, per evitare il raffreddamento, anche localizzato, del conglomerato bituminoso.

Con lo scopo di garantire il continuo rifornimento al cantiere, l'Impresa è tenuta a redigere un piano del trasporto, in cui individua:

- il numero di mezzi necessari alla fornitura del conglomerato bituminoso senza soluzione di continuità, arrotondato per eccesso e incrementato di almeno una unità, per far fronte ad eventuali imprevisti;
- almeno due percorsi alternativi per raggiungere il cantiere dall'impianto di produzione, in modo da prevenire ritardi dovuti a ostruzioni della rete stradale (per esempio, per traffico, incidenti o altro).

Detto piano del trasporto è consegnato alla Direzione Lavori con congruo anticipo rispetto all'inizio delle operazioni di cantiere ed è corredato da apposita documentazione atta a dimostrare di avere nella propria disponibilità tutti i mezzi di trasporto necessari.

La Direzione Lavori è tenuta a valutare il piano del trasporto redatto dall'Impresa e, nel caso di esito negativo, imporre le necessarie integrazioni e/o sostituzioni.

1.4.2.3 Stesa

La stesa del conglomerato bituminoso è effettuata con la stessa vibrofinitrice (o equivalente, previa verifica e accettazione da parte della Direzione Lavori) e le medesime modalità definite nel corso delle verifiche in vera grandezza (Paragrafo 1.3.2).

Lo strato formato dalla vibrofinitrice deve essere compatto, correttamente sagomato, privo di fessure, sgranamenti e segregazione degli elementi grossolani.

La stesa è effettuata solo in condizioni meteorologiche adeguate, ovvero in assenza di pioggia e con temperatura dell'aria non inferiore ai 10°C. In previsione di eventi piovosi, la Direzione Lavori ha facoltà di interrompere o impedire (nel caso di inizio giornata) le lavorazioni. In caso di lavorazione successive a eventi piovosi, è prescritto che il piano di posa sia asciutto e privo di ristagni d'acqua.

Durante la stesa, massima cura deve essere posta nella formazione dei giunti longitudinali (per strati stesi con strisciate affiancate) e trasversali (per riprese di lavorazione dovute a interruzioni giornaliere o per soste prolungate).

Per quanto riguarda la formazione dei giunti longitudinali è prescritto (se il contesto del cantiere lo permette) di affiancare tempestivamente due strisciate contigue, in modo che nella successiva fase di compattazione si possa compattare il giunto transitandovi sopra con il rullo. Nel caso non sia possibile l'affiancamento tempestivo, si deve verificare la regolarità del bordo della strisciata precedente e, in presenza di danneggiamenti, procedere con la profilatura mediante taglio verticale con idonea attrezzatura.

Per la formazione dei giunti trasversali dovuti a ripresa delle lavorazioni, è prescritto che il giunto sia preparato mediante regolarizzazione del bordo della strisciata precedente, ottenuta attraverso il taglio verticale con idonea attrezzatura, successiva rimozione del materiale asportato e pulizia finale.

1.4.2.4 Compattazione

La compattazione deve essere effettuata con gli stessi rulli (o equivalenti, previa verifica e accettazione da parte della Direzione Lavori) e con le medesime modalità definite nel corso della verifica in vera grandezza (Paragrafo 1.3.2).

La temperatura di compattazione deve essere quella individuata nella fase di mix design (Paragrafo 1.3.1), con una differenza massima di ± 5 °C. La temperatura di compattazione è misurata subito dietro la parte posteriore della vibrofinitrice mobile.

La compattazione deve essere portata a termine entro un tempo tale per cui la temperatura dello strato non sia diminuita più di 20 °C rispetto a quella di compattazione (misurata subito dietro la parte posteriore della vibrofinitrice mobile e individuata nella fase di mix design – Paragrafo 1.3.1).

Massima cura deve essere posta nella compattazione di punti singolari della pavimentazione (per esempio, in adiacenza a chiusini, caditoie o altro). Per questo motivo è prescritto l'impiego di apposite attrezzature manuali (per esempio, piastra o pestello vibrante) in aggiunta ai rulli compattatori.

1.5 Controlli in corso d'opera e finali

I controlli in corso d'opera e finali sono effettuati allo scopo di verificare la conformità di materiali costituenti, conglomerato bituminoso e lavorazioni alle prescrizioni del Progetto e del presente CSA.

I controlli in corso d'opera e finali sono effettuati per ognuno degli strati in conglomerato bituminoso previsti dal Progetto e per ogni singolo impianto di produzione.

Oneri e costi per l'esecuzione dei controlli sono a carico dell'Impresa, a meno che non sia diversamente stabilito dal contratto. È comunque facoltà della Direzione Lavori effettuare prove aggiuntive di controllo, mediante laboratorio di propria fiducia.

I controlli in corso d'opera sono effettuati mediante prove di laboratorio conseguenti ai prelievi di materiali costituenti all'impianto (o agli impianti) e di conglomerato bituminoso sciolto dal cantiere.

I controlli finali attengono alla verifica di conformità delle lavorazioni e sono effettuati mediante prove di laboratorio conseguenti a campionamenti sulla pavimentazione finita (carotaggi) e, per il solo strato di usura, con prove in sito.

Modalità di prelievo e requisiti compositivi, volumetrici, meccanici e, per il solo strato di usura, funzionali sono i medesimi definiti al Paragrafo 1.3.2.

La frequenza dei controlli in corso d'opera è riportata in Tabella 1.16.

Campione	Requisiti di verificare	Frequenza	
Materiali costituenti	Aggregati grossi naturali o artificiali (per singola pezzatura)	Come da mix-design (Tabella 1.2)	Su richiesta della Committenza o della Direzione Lavori
	Aggregati fini naturali o artificiali	Come da mix-design (Tabella 1.3)	Su richiesta della Committenza o della Direzione Lavori
	Filler	Come da mix-design (Tabella 1.4)	Su richiesta della Committenza o della Direzione Lavori
	Bitume	Come da mix-design (Tabella 1.5)	Su richiesta della Committenza o della Direzione Lavori
	Additivi	Come da mix-design (UNI 11837)	Su richiesta della Committenza o della Direzione Lavori
	Conglomerato bituminoso di recupero	Come da mix-design (Come da Regolamento 29 marzo 2024 n.12)	Su richiesta della Committenza o della Direzione Lavori
Conglomerato bituminoso sciolto (prelevato alla vibrofinitrice)	Distribuzione granulometrica (Paragrafo 1.3.2.3)	Giornaliera e per impianto di produzione, da incrementare su richiesta della Committenza o della Direzione Lavori	
	Contenuto di bitume (Paragrafo 1.3.2.3)	Giornaliera e per impianto di produzione, da incrementare su richiesta della Committenza o della Direzione Lavori	
	Contenuto di vuoti (Tabella 1.12)	Giornaliera e per impianto di produzione, da incrementare su richiesta della Committenza o della Direzione Lavori	
	Prestazioni meccaniche (Tabella 1.13)	Giornaliera e per impianto di produzione, da incrementare su richiesta della Committenza o della Direzione Lavori	

Tabella 1.16 Frequenze dei controlli in corso d'opera

La frequenza dei controlli finali è riportata in Tabella 1.17.

Campione	Requisiti di verificare	Frequenza
Carota	Spessore (Tabella 1.14)	Un punto di prelievo su fascia di stesa con lunghezza non superiore a 200 m e comunque per ogni giornata di lavorazione
	Contenuto di vuoti (Tabella 1.14)	Un campione su fascia di stesa con lunghezza non superiore a 200 m e comunque per ogni giornata di lavorazione
	Resistenza a trazione indiretta (Tabella 1.14)	Un campione su fascia di stesa con lunghezza non superiore a 200 m e comunque per ogni giornata di lavorazione
	Modulo di rigidità ¹⁾ (a 40°C) (Tabella 1.14)	Un campione su fascia di stesa con lunghezza non superiore a 200 m e comunque per ogni giornata di lavorazione
Superficie della pavimentazione (strato di usura)	Resistenza allo slittamento ²⁾ (metodo del pendolo)	Una stazione di misura su fascia di stesa con lunghezza non superiore a 400 m e comunque per ogni giornata di lavorazione
	Profondità della macrotessitura (tecnica volumetrica a impronta) (Tabella 1.15)	Una stazione di misura su fascia di stesa con lunghezza non superiore a 400 m e comunque per ogni giornata di lavorazione

1) Requisito opzionale da verificare su richiesta della Committenza o della Direzione Lavori

2) Il valore richiesto è PTV ≥ 65 da misurare in un tempo compreso tra 60 e 90 giorni dall'apertura al traffico

Tabella 1.17 Frequenze dei controlli finali

1.6 Detrazioni e penali

Detrazioni e penali sono applicate sulla base della verifica di conformità degli esiti dei controlli in corso d'opera e finali alle prescrizioni del presente CSA secondo quanto di seguito riportato.

Nel caso di non conformità, la Direzione Lavori procede con:

- applicazione di una detrazione funzione della penale calcolata in base all'entità dello scostamento, se contenuto entro un valore di tolleranza, ritenuto comunque accettabile ai fini della corretta realizzazione;
- rimozione e ricostruzione dello strato, o di parte di esso, a completa cura e spese dell'Impresa qualora l'entità dello scostamento sia superiore al valore di tolleranza, tale da non soddisfare l'accettabilità dell'esecuzione.

La detrazione è calcolata come prodotto tra la penale (applicata in punti percentuali), il prezzo unitario di aggiudicazione dello strato in conglomerato bituminoso e la quantità di riferimento. La quantità di riferimento è determinata come di seguito:

- per conglomerato bituminoso sciolto, la quantità di conglomerato bituminoso lavorazione della singola giornata in cui è emersa la non conformità;
- per campionamenti con carotaggi, come prodotto tra la larghezza di stesa e una lunghezza di 200 m, o per singola giornata di lavorazione;
- per stazioni di misura per prove superficiali, come prodotto tra la larghezza di stesa e una lunghezza di 400 m, o per singola giornata di lavorazione.

La detrazione totale è la somma delle singole detrazioni.

In Tabella 1.18 sono riportati: requisiti, limiti di accettazione senza penali, limiti di tolleranza per accettazione con penali e condizioni di rimozione dello strato.

Campione	Requisito		Accettazione senza penali	Tolleranza di accettazione con penali	Rimozione dello strato
Conglomerato bituminoso sciolto (prelevato alla vibrofinitrice)	Distribuzione granulometrica	Aggregato grosso	Come da mix design ± 4 % in massa	± 2 % oltre i limiti dell'intervallo di accettazione	Oltre i limiti di tolleranza di accettazione con penali
		Aggregato fino e filler	Come da mix design ± 2 % in massa	± 1 % oltre i limiti dell'intervallo di accettazione	
	Contenuto di bitume		Come da mix design ± 0,25 % in massa	- 0,25 % oltre il limite minimo dell'intervallo di accettazione	Oltre il limite minimo di tolleranza di accettazione con penali
	Prestazioni meccaniche ¹⁾ (Tabella 1.13 - Parte A – Requisiti obbligatori)	Sensibilità all'acqua	Come da mix design - 10 %	- 10 % oltre il limite minimo dell'intervallo di accettazione	Oltre il limite minimo di tolleranza di accettazione con penali
		Resistenza a trazione indiretta (a 20°C)	Come da mix design ± 10 %	± 10 % oltre i limiti dell'intervallo di accettazione	Oltre i limiti di tolleranza di accettazione con penali
		Modulo di rigidezza (a 20°C)	Come da mix design ± 20 %	± 10 % oltre i limiti dell'intervallo di accettazione	Oltre i limiti di tolleranza di accettazione con penali
	Prestazioni meccaniche ¹⁾ (Tabella 1.13 - Parte B – Requisiti opzionali)	Modulo di rigidezza (a 5°C)	Come da mix design ± 20 %	± 10 % oltre i limiti dell'intervallo di accettazione	Oltre i limiti di tolleranza di accettazione con penali
		Modulo di rigidezza (a 40°C)	Come da mix design ± 20 %	± 10 % oltre i limiti dell'intervallo di accettazione	Oltre i limiti di tolleranza di accettazione con penali
		Ormaiamento (a 60°C) %RD	Come da mix design + 5 %	+ 5 % oltre il limite massimo dell'intervallo di accettazione	Oltre i limiti di tolleranza di accettazione con penali
	Campionamento per carotaggio (media su due carote per ogni punto di prelievo)	Spessore		Come da Progetto - 10% se lo spessore dello strato è inferiore o uguale a 50 mm <i>oppure</i> Come da Progetto - 5 mm se lo spessore dello strato è superiore a 50 mm	- 5 % oltre i limiti dell'intervallo di accettazione se lo spessore dello strato è inferiore o uguale a 50 mm <i>oppure</i> - 3 mm oltre i limiti dell'intervallo di accettazione se lo spessore dello strato è superiore a 50 mm
Contenuto di Vuoti		3-7 ($V_{min3} - V_{max7}$)	± 2% di vuoti oltre i limiti dell'intervallo di accettazione	Oltre i limiti di tolleranza di accettazione con penali	
Resistenza a trazione indiretta (a 20°C)		Come da mix design ± 30%	± 10% oltre i limiti dell'intervallo di accettazione	Oltre i limiti di tolleranza di accettazione con penali	
Modulo di rigidezza ³⁾ (a 40°C)		Come da mix design ± 30%	± 10% oltre i limiti dell'intervallo di accettazione	Oltre i limiti di tolleranza di accettazione con penali	
Superficie della pavimentazione (strato di usura)	Resistenza allo slittamento ²⁾ (metodo del pendolo)		≥ 65	Compreso tra 55 (incluso) e 65 (escluso)	Inferiore al limite minimo di accettazione con penali
	Profondità della macrotestitura (tecnica volumetrica a impronta)		≥ 0,50 mm	Compreso tra 0,40 mm (incluso) e 0,50 mm (escluso)	Inferiore al limite minimo di accettazione con penali

1) misure da condurre su provini compattati con pressa giratoria a 100 rotazioni (N2) e con contenuto di vuoti come da mix design ± 1 %

2) tra 60 e 90 giorni dall'apertura al traffico

3) Requisito opzionale da verificare su richiesta della Committenza o della Direzione Lavori

Tabella 1.18 Requisiti, limiti di accettazione senza penali, i limiti di tolleranza per accettazione con penali e le condizioni di rimozione dello strato

In Tabella 1.19 sono riportati i limiti di tolleranza per accettazione con penali e le equazioni per il calcolo delle penali.

Campione	Requisito		Tolleranza di accettazione con penali	Penale
Conglomerato bituminoso sciolto (prelevato alla vibrofinitrice)	Distribuzione granulometrica	Aggregato grosso	$\pm 2\%$ oltre i limiti dell'accettazione senza penali	Penale [%] = $(\sum \Delta_{G_{ran}})^2 \times 0,04$
		Aggregato fino e filler	$\pm 1\%$ oltre i limiti dell'intervallo di accettazione	
	Contenuto di bitume		- 0,25 % oltre il limite minimo dell'intervallo di accettazione	Penale [%] = $\Delta_{Bt} \times 50$
	Prestazioni meccaniche	Sensibilità all'acqua	- 10 % oltre il limite minimo dell'intervallo di accettazione	Penale [%] = $(\Delta_{ITSR})^2 \times 0,15$
		Resistenza a trazione indiretta (a 20°C)	$\pm 10\%$ oltre i limiti dell'intervallo di accettazione	Penale [%] = $\Delta_{ITS} \times 0,20$
		Modulo di rigidità	$\pm 10\%$ oltre i limiti dell'intervallo di accettazione	Penale [%] = $\Delta_{Sm} \times 0,05$
	Ormaiamento (a 60°C) %RD	+ 5% oltre il limite massimo dell'intervallo di accettazione	Penale [%] = Δ_{RD}	
Campionamento per carotaggio (media su due carote per ogni punto di prelievo)	Spessore		- 5% oltre i limiti dell'intervallo di accettazione se lo spessore dello strato è inferiore o uguale a 50 mm <i>oppure</i> - 3 mm oltre i limiti dell'intervallo di accettazione se lo spessore dello strato è superiore a 50 mm	Penale [%] = $\Delta_{S-CAR} \times 5$ se $s \leq 50$ mm Penale [%] = $\Delta_{S-CAR} \times 8$ se $s > 50$ mm
	Contenuto di Vuoti		$\pm 2\%$ di vuoti oltre i limiti dell'intervallo di accettazione	Penale [%] = $\Delta_{V-CAR} \times 10$
	Resistenza a trazione indiretta (a 20°C)		$\pm 10\%$ oltre i limiti dell'intervallo di accettazione	Penale [%] = $\Delta_{ITS-CAR} \times 0,30$
	Modulo di rigidità (a 40°C)		$\pm 10\%$ oltre i limiti dell'intervallo di accettazione	Penale [%] = $\Delta_{Sm} \times 0,05$
Superficie della pavimentazione (strato di usura)	Resistenza allo slittamento ²⁾ (metodo del pendolo)		Compreso tra 45 (incluso) e 65 (escluso)	Penale [%] = Δ_{PTV}
	Profondità della macrotestitura (tecnica volumetrica a impronta)		Compreso tra 0,40 mm (incluso) e 0,50 mm (escluso)	Penale [%] = $\Delta_{MTD} \times 150$

Tabella 1.19 Limiti di tolleranza per accettazione con penali ed equazioni per il calcolo delle penali

Lo scostamento Δ assume valore diverso a seconda del requisito ed è relativo alla variazione rispetto al limite dell'intervallo di accettazione senza penali. Lo scostamento Δ è calcolato esclusivamente se il requisito rientra nell'intervallo di accettazione con penali.

Qualora la somma delle penali relative a due o più requisiti raggiunga il 50% la tratta (o la giornata) cui è associato il singolo campione è da considerare non idonea e quindi va rimossa.

Per i soli strati di base e binder, nel caso in cui la tratta (o la giornata) cui è associato il singolo campione sia da rimuovere, la Direzione Lavori ha facoltà di non dar luogo alla rimozione e applicare una detrazione pari al 50%.

Di seguito si forniscono alcuni esempi per il calcolo delle detrazioni e delle penali, in cui è esplicitata la modalità di determinazione dello scostamento Δ per ciascun requisito.

ESEMPIO CALCOLO DETRAZIONE E PENALE PER REQUISITO: DISTRIBUZIONE GRANULOMETRICA (GRAN)

Apertura setacci [mm]	Conglomerato bituminoso Us-10-BTQ				
	Distribuzione granulometrica da mix-design	Intervallo di accettazione SENZA penali	Intervallo di accettazione CON penali	Risultato controllo in corso d'opera	Scostamento rilevato
10	100	96 - 100	100 94-96	100	-
8	90	86 - 94	84 - 86 94 - 96	85,1	0,9 (86,0-85,1)
6,3	85	81 - 89	79 - 81 89 - 91	80,0	1,0 (81,0-80,0)
4	63	61 - 65	60-61 65 - 66	63,4	-
2	40	38 - 42	37 - 38 42 - 43	37,0	1,0 (38,0-37,0)
0,5	22	20 - 24	19 - 20 24 - 25	22,3	-
0,250	15	13 - 17	12 - 13 17 - 18	14,7	-
0,063	8	6 - 10	5 - 6 10 - 11	8,1	-

$$\text{Penale}_{\text{Gran}} [\%] = (\sum \Delta_{\text{Gran}})^2 \times 0,04 = (0,9+1,0+1,0)^2 \times 0,04 = (2,9)^2 \times 0,04 = 8,4 \times 0,04 = 0,3 \%$$

$$\text{Detrazione}_{\text{Gran}} = \text{Penale}_{\text{Gran}} [\%] \times \text{Prezzo unitario di aggiudicazione} \times \text{Quantità}$$

ESEMPIO CALCOLO DETRAZIONE E PENALE PER REQUISITO: CONTENUTO DI BITUME (BIT)

Contenuto di bitume da mix design = 5,0 % in massa

Contenuto di bitume da intervallo di accettazione SENZA penali = ± 0,25 % → 4,75 % ÷ 5,25 %

Contenuto di bitume da intervallo di accettazione CON penali = - 0,25 % → 4,50 % ÷ 4,75 %

Contenuto di bitume risultato da controllo in corso d'opera = 4,60 %

$$\text{Penale}_{\text{Bit}} [\%] = [\Delta_{\text{Bit}}] \times 50 = [\text{ass } (4,75 - 4,60)] \times 50 = 0,15 \times 50 = 7,5 \%$$

$$\text{Detrazione}_{\text{Bit}} = \text{Penale}_{\text{Bit}} [\%] \times \text{Prezzo unitario di aggiudicazione} \times \text{Quantità}$$

ESEMPIO CALCOLO DETRAZIONE E PENALE PER REQUISITO: SENSIBILITA' ALL'ACQUA (ITSR)

ITSR da mix design = 95%

ITSR da intervallo di accettazione SENZA penali = - 10 % → 85 %

ITSR da intervallo di accettazione CON penali = - 10 % → 75 %

ITSR da risultato controllo in corso d'opera = 78 %

$$\text{Penale}_{\text{ITSR}} [\%] = (\Delta_{\text{ITSR}})^2 \times 0,15 = (85 - 78)^2 \times 0,15 = (7)^2 \times 0,15 = 49 \times 0,15 = 7,4 \%$$

$$\text{Detrazione}_{\text{ITSR}} = \text{Penale}_{\text{ITSR}} [\%] \times \text{Prezzo unitario di aggiudicazione} \times \text{Quantità}$$

ESEMPIO CALCOLO DETRAZIONE E PENALE PER REQUISITO: RESISTENZA A TRAZIONE INDIRECTA (ITS)

ITS da mix design = 1000 kPa

ITS da intervallo di accettazione SENZA penali = $\pm 10\%$ \rightarrow 900 \div 1100 kPa

ITS da intervallo di accettazione CON penali = $\pm 10\%$ \rightarrow 800 \div 900 kPa oppure 1100 \div 1200 kPa

ITS da risultato controllo in corso d'opera = 1190 kPa

$$\text{Penale}_{ITS} [\%] = [\Delta_{ITS}] \times 0,2 = [\text{ass } (1190 - 1100)] \times 0,2 = (8,1) \times 0,2 = 18,4 \%$$

$$\text{Detrazione}_{ITS} = \text{Penale}_{ITS} [\%] \times \text{Prezzo unitario di aggiudicazione} \times \text{Quantità}$$

ESEMPIO CALCOLO DETRAZIONE E PENALE PER REQUISITO: MODULO DI RIGIDEZZA PER CONGLOMERATO BITUMINOSO SCIOLTO (S_m)

S_m da mix design = 4000 MPa

S_m da intervallo di accettazione SENZA penali = $\pm 20\%$ \rightarrow 3200 \div 4800 MPa

S_m da intervallo di accettazione CON penali = $\pm 10\%$ \rightarrow 2800 \div 3200 MPa oppure 4800 \div 5200 MPa

S_m da risultato controllo in corso d'opera = 3000 MPa

$$\text{Penale}_{S_m} [\%] = [\Delta_{S_m}] \times 0,05 = [\text{ass } (3000 - 3200)] \times 0,05 = (200) \times 0,05 = 10,0 \%$$

$$\text{Detrazione}_{S_m} = \text{Penale}_{S_m} [\%] \times \text{Prezzo unitario di aggiudicazione} \times \text{Quantità}$$

ESEMPIO CALCOLO DETRAZIONE E PENALE PER REQUISITO: ORMAIAMENTO (RD)

%RD da mix design = 3%

%RD da intervallo di accettazione SENZA penali = + 5% \rightarrow 8%

ITSR da intervallo di accettazione CON penali = + 5% \rightarrow 13%

ITSR da risultato controllo in corso d'opera = 10%

$$\text{Penale}_{RD} [\%] = [\Delta_{RD}] = [\text{ass } (8 - 10)] = 2,0 \%$$

$$\text{Detrazione}_{RD} = \text{Penale}_{RD} [\%] \times \text{Prezzo unitario di aggiudicazione} \times \text{Quantità}$$

ESEMPIO CALCOLO DETRAZIONE E PENALE PER REQUISITO: SPESSORE SU CAROTE (S-CAR)

S da Progetto = 40 mm

S da intervallo di accettazione SENZA penali = - 10% \rightarrow 36 mm

S da intervallo di accettazione CON penali = - 5% \rightarrow 34 mm

S da risultato controllo in corso d'opera = 34 mm

$$\text{Penale}_{S-CAR} [\%] = [\Delta_{S-CAR}] \times 8 = [\text{ass } (34 - 36)] \times 8 = (2) \times 8 = 16,0 \%$$

$$\text{Detrazione}_{S-CAR} = \text{Penale}_{S-CAR} [\%] \times \text{Prezzo unitario di aggiudicazione} \times \text{Quantità}$$

S da Progetto = 60 mm

S da intervallo di accettazione SENZA penali = - 5 mm → 55 mm

S da intervallo di accettazione CON penali = - 3 mm → 52 mm

S da risultato controllo in corso d'opera = 54 mm

$$\text{Penale}_{S-CAR} [\%] = [\Delta_{S-CAR}] \times 8 = [\text{ass } (54 - 55)] \times 8 = (1) \times 8 = 8,0 \%$$

$$\text{Detrazione}_{S-CAR} = \text{Penale}_{S-CAR} [\%] \times \text{Prezzo unitario di aggiudicazione} \times \text{Quantità}$$

ESEMPIO CALCOLO DETRAZIONE E PENALE PER REQUISITO: CONTENUTO DEI VUOTI SU CAROTE (V-CAR)

V_{CAR} da intervallo di accettazione SENZA penali = $3 \div 7 \%$

V_{CAR} da intervallo di accettazione CON penali = $\pm 2 \%$ → $1 \div 3 \%$ oppure $7 \div 9 \%$

V_{CAR} da risultato controllo in corso d'opera = 8,5 % (media aritmetica tra Carota 1 = 8,2%; Carota 2 = 8,8%)

$$\text{Penale}_{V-CAR} [\%] = [\Delta_{V-CAR}] \times 8 = [\text{ass } (8,5 - 7,0)] \times 10 = (1,5) \times 10 = 15,0 \%$$

$$\text{Detrazione}_{V-CAR} = \text{Penale}_{V-CAR} [\%] \times \text{Prezzo unitario di aggiudicazione} \times \text{Quantità}$$

ESEMPIO CALCOLO DETRAZIONE E PENALE PER REQUISITO: RESISTENZA A TRAZIONE INDIRECTA SU CAROTE (ITS-CAR)

ITS da mix design = 1000 kPa

ITS_{CAR} da intervallo di accettazione SENZA penali = come da mix design (su campioni compattati con pressa giratoria a 100 giri N2) $\pm 30 \%$ = 1000 kPa $\pm 30 \%$ → 700 ÷ 1300 kPa

ITS_{CAR} da intervallo di accettazione CON penali = $\pm 10 \%$ → 600 ÷ 700 kPa oppure 1300 ÷ 1400 kPa

ITS_{CAR} da risultato controllo in corso d'opera = 650 kPa (media aritmetica tra Carota 1 = 700 kPa; Carota 2 = 600 kPa)

$$\text{Penale}_{ITS-CAR} [\%] = [\Delta_{ITS-CAR}] \times 0,30 = [\text{ass } (650 - 700)] \times 0,30 = (7,1) \times 0,30 = 15,0 \%$$

$$\text{Detrazione}_{ITS-CAR} = \text{Penale}_{ITS-CAR} [\%] \times \text{Prezzo unitario di aggiudicazione} \times \text{Quantità}$$

ESEMPIO CALCOLO DETRAZIONE E PENALE PER REQUISITO: MODULO DI RIGIDEZZA SU CAROTE (Sm-CAR)

Sm da mix design = 1200 MPa

Sm da intervallo di accettazione SENZA penali = $\pm 30 \%$ → 840 ÷ 1560 MPa

Sm da intervallo di accettazione CON penali = $\pm 10\%$ $\rightarrow 720 \div 840$ MPa oppure $1560 \div 1680$ MPa

Sm da risultato controllo in corso d'opera = 750 MPa

$$\text{Penale}_{\text{Sm-CAR}} [\%] = [\Delta_{\text{Sm-CAR}}] \times 0,05 = [\text{ass } (750 - 840)] \times 0,05 = (90) \times 0,05 = 4,5 \%$$

$$\text{Detrazione}_{\text{Sm-CAR}} = \text{Penale}_{\text{Sm-CAR}} [\%] \times \text{Prezzo unitario di aggiudicazione} \times \text{Quantità}$$

ESEMPIO CALCOLO DETRAZIONE E PENALE PER REQUISITO: RESISTENZA ALLO SLITTAMENTO (PTV)

PTV da intervallo di accettazione SENZA penali ≥ 60

PTV da intervallo di accettazione CON penali compreso tra 45 (incluso) e 60 (escluso)

PTV da risultato controllo in corso d'opera = 50 (media aritmetica tra Punto di misura 1 = 45 e Punto di misura 2 = 55)

$$\text{Penale}_{\text{PTV}} [\%] = [\Delta_{\text{PTV}}] = [\text{ass } (50 - 60)] = 10,0 \%$$

$$\text{Detrazione}_{\text{PTV}} = \text{Penale}_{\text{PTV}} [\%] \times \text{Prezzo unitario di aggiudicazione} \times \text{Quantità}$$

ESEMPIO CALCOLO DETRAZIONE E PENALE PER REQUISITO: PROFONDITA' DELLA MACROTESSITURA (MTD)

MTD da intervallo di accettazione SENZA penali $\geq 0,50$ mm

MTD da intervallo di accettazione CON penali compreso tra 0,40 mm (incluso) e 0,50 mm (escluso)

MTD da risultato controllo in corso d'opera = 0,42 mm (media aritmetica tra Punto di misura 1 = 0,38 e Punto di misura 2 = 0,46)

$$\text{Penale} [\%] = [\Delta_{\text{MTD}}] \times 150 = [\text{ass } (0,50 - 0,42)] \times 150 = 8 \times 150 = 12 \%$$

$$\text{Detrazione}_{\text{MTD}} = \text{Penale}_{\text{MTD}} [\%] \times \text{Prezzo unitario di aggiudicazione} \times \text{Quantità}$$

2. Mano di attacco

La mano di attacco è applicata, prima della realizzazione di ognuno degli strati in conglomerato bituminoso di cui in Tabella 1.1, sopra lo strato di posa (anche di nuovo impianto) allo scopo di rendere solidali i due strati sovrapposti ed evitare possibili scorrimenti relativi tra gli stessi, assicurando l'adesione all'interfaccia.

Devono essere utilizzate emulsioni bituminose cationiche a rottura rapida conformi alla norma EN 13808 e alla norma italiana UNI/TR 11362.

Sono ammesse emulsioni bituminose cationiche a rottura rapida con legante costituito da bitume tal quale. Qualora necessario e su specifica richiesta della Direzione Lavori, è ammesso l'impiego di emulsioni bituminose cationiche a rottura rapida con legante costituito da bitume modificato con polimeri.

I requisiti delle emulsioni bituminose cationiche a rottura rapida sono riportati in Tabella 2.1.

Emulsione Bituminosa per mano di attacco				
Requisito	Norma	UM	Valori richiesti (Classe EN 13808)	
			Bitume Tal Quale	Bitume Modificato con Polimeri
Polarità	EN 1430	---	Positiva (classe 2)	Positiva (classe 2)
Contenuto di bitume	EN 1428	%	65 ± 2 (classe 8)	69 ± 2 (classe 9)
Sedimentazione a 7 giorni	EN 12847	%	≤ 10 (classe 3)	≤ 10 (classe 3)
Indice di rottura	EN 13075-1	---	70 ÷ 155 (classe 3)	70 ÷ 155 (classe 3)
Bitume residuo				
Penetrazione con ago (a 25°C)	EN 1426	0,1 mm	≤ 100 (classe 3)	≤ 100 (classe 3)
Punto di rammollimento	EN 1427	°C	≥ 43 (classe 6)	≥ 60 (classe 2)
Ritorno elastico (a 25°C)	EN 13398	%	---	≥ 50 (classe 3)

Tabella 2.1 Requisiti prestazionali delle emulsioni bituminose per mano di attacco

2.1 Fornitura e posa in opera della mano di attacco

La fornitura dell'emulsione bituminosa presso il cantiere deve essere accompagnata dal documento di trasporto e dalla marcatura CE, attestante la conformità alla norma europea armonizzata EN 13808. La verifica di conformità è effettuata dalla Direzione Lavori all'atto della consegna in cantiere.

La posa della mano di attacco è preceduta dalle operazioni di cui al precedente Paragrafo 1.4.2.1.

La posa della mano di attacco è effettuata mediante spruzzatura con autobotte dotata di barra posteriore con ugelli perfettamente funzionanti tali da lasciare un velo di emulsione omogeneo e garantire la copertura di tutta la superficie di applicazione.

Il dosaggio del quantitativo di emulsione bituminosa è diverso in funzione del piano di posa:

- per applicazione su conglomerato bituminoso di nuova costruzione (strato nuovo o di risagomatura), il dosaggio dell'emulsione bituminosa deve essere tale per cui il bitume residuo risulti almeno pari a 0,30 kg/m²;
- per applicazione su pavimentazione precedentemente rimossa (per esempio, mediante fresatura), il dosaggio deve essere tale per cui il bitume residuo risulti almeno pari a 0,45 kg/m²;
- per applicazione su pavimentazione esistente senza rimozione (per risagomatura, ragguglio, o altro), il dosaggio deve essere tale per cui il bitume residuo risulti almeno pari a 1,00 kg/m².

Nel caso di posa per strisciate affiancate deve essere garantita una sovrapposizione di almeno 10 cm.

Al fine di garantire l'efficienza della mano di attacco, l'Impresa è tenuta ad iniziare la lavorazione successiva solo a completa rottura dell'emulsione bituminosa (separazione e conseguente evaporazione dell'acqua dal bitume). Nel lasso di tempo tra posa dell'emulsione e inizio della lavorazione successiva è espressamente vietato il transito sul piano di posa.

L'impresa è tenuta a mettere in atto tutti gli accorgimenti necessari alla salvaguardia dell'integrità della mano di attacco.

2.2 Controlli

I controlli, effettuati mediante prove di laboratorio e in sito, sono finalizzati alle verifiche di cui in Tabella 2.2.

Campione	Ubicazione del controllo	Frequenza del controllo	Requisiti
Emulsione bituminosa	Cisterna	Inizio cantiere o a discrezione della Direzione Lavori	Tabella 2.1
	Cantiere	Giornaliera o ogni 5000 m ² di stesa o a discrezione della Direzione Lavori	Tabella 2.1 Dosaggio da Paragrafo 2.3

Tabella 2.2 Frequenza e requisiti dei controlli per la mano di attacco

2.3 Detrazioni e penali

La detrazione è calcolata come prodotto tra la penale (applicata in punti percentuali), il prezzo unitario di aggiudicazione lavori della mano di attacco e la superficie di riferimento. 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 non conformità alle prescrizioni di cui in Tabella 2.1 comporta il rifiuto del materiale.

In merito ai quantitativi di emulsione bituminosa, gli scostamenti ammessi (rispetto al limite minimo di bitume residuo di cui al precedente Paragrafo 2.2) per accettazione senza penali sono:

- per applicazione su conglomerato bituminoso di nuova costruzione, scostamento = - 0,05 kg/m²;
- per applicazione su pavimentazione precedentemente rimossa, scostamento = - 0,05 kg/m²;
- per applicazione su pavimentazione esistente, scostamento = - 0,10 kg/m².

I limiti di tolleranza per accettazione con penali (rispetto agli scostamenti senza penali) sono:

-
- per applicazione su conglomerato bituminoso di nuova costruzione, scostamento = - 0,03 kg/m²
 - per applicazione su pavimentazione precedentemente rimossa, scostamento = - 0,05 kg/m²
 - per applicazione su pavimentazione esistente, scostamento = - 0,05 kg/m².

La penale è calcolata secondo la seguente formula (e il relativo esempio):

$$\text{Penale [\%]} = \Delta_{EB} \times 100$$

Qualora il quantitativo di emulsione bituminosa risulti inferiore al limite minimo di tolleranza, se possibile e in relazione alle condizioni di cantiere, si procede con integrazione mediante nuova spruzzatura. Se ciò non è possibile, la Direzione Lavori può accettare un quantitativo di mano di attacco inferiore al limite minimo di tolleranza applicando una penale pari al 50%.

ESEMPIO CALCOLO DETRAZIONE E PENALE PER REQUISITO EMULSIONE BITUMINOSA (EB)

Applicazione su conglomerato bituminoso di nuova costruzione.

Dosaggio minimo bitume residuo = 0,30 kg/m²

Accettazione SENZA penali = - 0,05 kg/m² → 0,30 ÷ 0,25 kg/m²;

Accettazione CON penali = - 0,03 kg/m² → 0,22 ÷ 0,25 kg/m²;

Da risultato controllo in corso d'opera = 0,23 kg/m²

$$\text{Penale}_{EB} [\%] = \Delta_{EB} \times 100 = [\text{ass } (0,25 - 0,23)] \times 100 = (0,02) \times 500 = 15\%$$

$$\text{Detrazione}_{EB} = \text{Penale}_{EB} [\%] \times \text{Prezzo unitario di aggiudicazione} \times \text{Superficie}$$
