

Articolo

MISCELE STABILIZZATE CON CEMENTO E BITUME SCHIUMATO (O EMULSIONE)

Le miscele stabilizzate con bitume schiumato e cemento sono costituite da aggregati vergini ovvero da materiali di riciclo della vecchia pavimentazione con quantità variabili di conglomerato bituminoso fresato che possono arrivare fino al 75%, da cemento e da bitume schiumato. In alternativa al bitume schiumato il legante bituminoso può essere inserito nella stessa miscela sotto forma di emulsione bituminosa.

Queste miscele trovano impiego sia nella costruzione che negli interventi di manutenzione di pavimentazioni stradali ed aeroportuali.

A) MATERIALI COSTITUENTI E LORO QUALIFICAZIONE

1) Inerti

Sono in generale costituiti da materiali di riciclo di pavimentazioni stradali esistenti: conglomerato bituminoso fresato, misto cementato, misto granulare (fondazione stradale), tout venant eventualmente integrati con inerti vergini (di primo impiego). Non è escluso l'impiego di soli aggregati vergini. Nel caso in cui i materiali della vecchia pavimentazione abbiano inglobate sostanze plastiche (limi, argille) queste devono essere eliminate (sostituite con materiali idonei) ovvero preventivamente trattate con calce.

Qualora la granulometria degli inerti di riciclo si discosti dal fuso indicato nella **Tabella A.1** tabella A1 la Direzione Lavori potrà ordinare l'integrazione mediante l'aggiunta di aggregati vergini di dimensioni e caratteristiche tali da riportare la curva granulometrica nel fuso richiesto.

Tabella A.1

Serie setacci ISO		Passanti
	mm	%
Setaccio	80	100
Setaccio	63	95-100
Setaccio	40	85-100
Setaccio	22.5	70-95
Setaccio	10	50-75
Setaccio	4	30-42
Setaccio	2	20-35
Setaccio	0.5	10-18
Setaccio	0.063	4-8

Gli aggregati nuovi sono costituiti da elementi ottenuti dalla lavorazione di materiali naturali (rocce, aggregati naturali tondeggianti, aggregati naturali a spigoli vivi).

Gli aggregati impiegati dovranno essere qualificati in conformità alla direttiva 89/106/CEE sui prodotti da costruzione. Ciascuna fornitura dovrà essere accompagnata dalla marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA della norma europea armonizzata UNI EN 13043.

La designazione dell'aggregato grosso dovrà essere effettuata mediante le dimensioni degli stacci appartenenti al gruppo di base più gruppo 2 della UNI EN 13043.

L'aggregato grosso potrà essere di provenienza o natura petrografica diversa purché, per ogni tipologia, risultino soddisfatti i requisiti indicati nelle **Tabella A.2**.

Tabella A.2

AGGREGATO GROSSO			
Parametro	Metodo di prova	Valori richiesti	Categoria UNI EN 13043
Resistenza alla frammentazione (Los Angeles)	UNI EN 1097-2	≤25%	LA ₂₅
Percentuale di particelle frantumate	UNI EN 933-5	100%	C _{100/0}
Dimensione Max	UNI EN 933-1	40mm	-
Passante allo 0.063	UNI EN 933-1	≤1%	f ₁
Resistenza al gelo e disgelo	UNI EN 1367-1	≤1%	F ₁

Il possesso dei requisiti elencati nella **Tabella A.2** sarà verificato dalla Direzione Lavori in base ai valori riportati sugli attestati di conformità CE degli aggregati, relativi all'anno in corso. Gli attestati dovranno essere consegnati alla Direzione Lavori almeno 15 giorni prima dell'inizio dei lavori.

Il sistema di attestazione della conformità è quello specificato all'art. 7, comma 1, lettera B, procedura 3, del DPR n. 246/93 (Sistema 4: autodichiarazione del produttore).

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

Per i requisiti non dichiarati nell'attestato di conformità CE la Direzione Lavori richiederà la qualifica del materiale da effettuarsi presso uno dei laboratori di cui all'art. 59 del DPR n. 280/2001. Per i requisiti contenuti nella UNI EN 13043 la qualifica prevedrà sia le prove iniziali di tipo (ITT) che il controllo della produzione di fabbrica (FPC), come specificato dalla stessa UNI EN 13043.

2) Bitume schiumato

Il legante deve essere costituito da bitume semisolido per applicazioni stradali ottenuto dai processi di raffinazione del petrolio greggio appartenente alla classe di penetrazione 70/100, definita dalla UNI EN 12591. Le specifiche per il bitume ed i relativi metodi di prova sono indicate nella **Tabella A.3**.

Tabella A.3

BITUME			
Parametro	Normativa	unità di misura	Valori richiesti
Penetrazione a 25°C	UNI EN1426	dmm	70 - 100
Punto di rammollimento	UNI EN1427	°C	43 - 51
Punto di rottura (Fraass)	UNI EN12593	°C	≤ -8
Viscosità dinamica a 160°C	UNI EN 13702-2	Pas	<0,20
Solubilità	UNI EN12592	%	≥ 99
Valori dopo RTFOT (163°C)	UNI EN12607-1		
Variazione di massa	UNI EN12607-1	%	≤ 0,5
Penetrazione residua a 25°C	UNI EN1426	%	≥ 46
Punto di rammollimento	UNI EN1427	°C	≥ 45
Incremento del punto di Rammollimento	UNI EN1427	°C	≤ 10

Le caratteristiche di espansione del bitume, determinate in un campo di temperatura (prima dell'espansione) variabile tra 170 e 190 °C e con percentuali di acqua compresa tra 1% e 4% in peso sul bitume, devono risultare:

- rapporto di espansione ≥ 20
- tempo di semitrasformazione (tempo in cui si dimezza l'espansione) ≥ 25 sec

Ai fini dell'accettazione, almeno 15 giorni prima dell'inizio della posa in opera, l'Impresa è tenuta a predisporre la qualificazione dell'emulsione tramite certificazione attestante i requisiti prescritti. Tale certificazione deve essere di norma rilasciata dal produttore o da un Laboratorio che opera per c/terzi.

3) Emulsione bituminosa

In alternativa al bitume schiumato il legante bituminoso può essere inserito sotto forma di emulsione bituminosa. Tale emulsione deve essere specifica per le stabilizzazioni con calce e/o cemento, cioè di bitume distillato, sovrastabilizzata, con le caratteristiche riportate nella **Tabella A.4**

Tabella A.4

EMULSIONE BITUMINOSA SOVRASTABILIZZATA			
Parametro	Normativa	unità di misura	Valori richiesti
Contenuto di acqua	UNI EN 1428	%	40±2
Contenuto di legante	UNI EN 1431	%	60±2
Omogeneità	UNI EN 1429	%	≤ 0,2
Sedimentazione a 7gg.	UNI EN 12847	%	≤ 10
pH (grado di acidità)	UNI EN 12850		2÷4
Cement mix	UNI EN 12848		<2
Caratteristiche bitume estratto			
Penetrazione a 25°C	UNI EN1426	dmm	35 - 56
Punto di rammollimento	UNI EN1427	°C	≥ 45
Punto di rottura (Fraass)	UNI EN112593	°C	≤ -8

Ai fini dell'accettazione, almeno 15 giorni prima dell'inizio della posa in opera, l'Impresa è tenuta a predisporre la qualificazione dell'emulsione tramite certificazione attestante i requisiti prescritti. Tale certificazione deve essere di norma rilasciata dal produttore o da un Laboratorio che opera per c/terzi.

4) Cemento

I cementi impiegati dovranno essere qualificati in conformità alla direttiva 89/106/CEE sui prodotti da costruzione. Ciascuna fornitura dovrà essere accompagnata dalla marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA della norma europea armonizzata UNI EN 197-1.

Saranno impiegati unicamente cementi della classe di resistenza 32.5N, dei seguenti tipi:

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

5) Acqua

Deve essere impiegata acqua pura ed esente da sostanze organiche.

B) STUDIO DELLA MISCELA

Le percentuali ottimali di cemento, acqua e bitume schiumato ovvero emulsione bituminosa e dell'eventuale integrazione di inerti sono stabilite mediante uno specifico studio in laboratorio.

Per una corretta valutazione delle caratteristiche del materiale esistente nel tronco stradale interessato dal trattamento devono essere eseguiti prelievi ogni 500 m, eventualmente intensificati in caso di disomogeneità.

Sui campioni prelevati devono essere eseguiti analisi granulometriche (UNI EN 933-1) ed indice di plasticità (UNI CEN ISO/TS 17892-12) per stabilire la necessità di trattamento con calce e l'integrazione degli inerti.

Per l'ottimizzazione della miscela (mix design) devono essere confezionati provini con differenti quantità (percentuali riferite al peso degli inerti) di bitume schiumato (o di emulsione bituminosa), cemento ed acqua, come indicato nelle **Tabella B.1a** e **Tabella B.1b** costipati con pressa giratoria (UNI EN 12697-31) nelle seguenti condizioni di prova:

Angolo di rotazione	: 1.25° ± 0.02°
Velocità di rotazione	: 30 rotazioni al minuto
Pressione verticale, kPa	: 600
Dimensioni provino, mm	: 150
n° giri	: 180
Peso campione	: 4500 g comprensivo di bitume, cemento e acqua

Tabella B.1a

% cemento	1,5			2,0			2,5		
% di bitume schiumato	3,5	3,5	3,5	3,0	3,0	3,0	2,5	2,5	2,5
Umidità %	4,5	5,5	6,5	5	6	7	5,5	6,5	7,5
Provini N°	4	4	4	4	4	4	4	4	4

Tabella B.1b

% cemento	1,5			2,0			2,5		
% di emulsione bituminosa	3,5	3,5	3,5	3,0	3,0	3,0	2,5	2,5	3,5
Umidità % oltre acqua dell'emulsione	4	5	6	4,5	5,5	6,5	5	6	7
Provini N°	4	4	4	4	4	4	4	4	4

Ferme restando le percentuali di cemento le altre percentuali possono variare in funzione della natura e della granulometria del materiale da trattare, in particolare della quantità di conglomerato bituminoso fresato presente nella miscela.

I provini così confezionati devono subire una maturazione a 40 °C per 72 ore e successivamente, dopo condizionamento per 4 ore in forno a 25 °C, devono essere sottoposti a prova di resistenza a trazione indiretta (UNI EN 13286-42),

I provini sottoposti a 72 ore di maturazione devono fornire:

- Resistenza a trazione indiretta R_t (N/mm²): $\geq 0,35$
- Coefficiente di trazione indiretta CTI (N/mm²): ≥ 60

Sui provini confezionati con la miscela ottimale, maturati per 72 ore a 40 °C, si devono determinare:

- modulo di rigidezza (UNI EN 12697-26 Annex C), valore medio di almeno 4 provini;
- perdita di resistenza dopo imbibizione a 25 °C, per 1 ora sottovuoto a 50 mm di mercurio, valore medio di almeno 4 provini;
- densità geometrica, di riferimento per il controllo in sito a 180 giri (valore medio di almeno 4 provini).

Per il modulo di rigidezza i risultati devono soddisfare i valori indicati in **Tabella B.2**

Tabella B.2

Temperatura [°C]	5	20	40
Rise-time [ms]	124±4	124±4	124±4
Modulo di rigidezza [MPa]	≥ 4000	≥ 3000	≥ 2000

La resistenza a trazione indiretta dopo imbibizione deve risultare almeno il 70% di quella ottenuta su provini non immersi in acqua.

L'Impresa è tenuta a presentare alla Direzione Lavori, almeno 15 giorni prima dell'inizio dei lavori e per ogni cantiere di produzione, la composizione delle miscele che intende adottare; ogni composizione proposta deve essere corredata da una completa documentazione degli studi effettuati.

Una volta accettata dalla Direzione Lavori la composizione granulometrica di progetto, non saranno ammesse variazioni delle singole percentuali dei trattenuti di ± 10 per gli inerti riciclati, di ± 5 per gli aggregati di integrazione. Per la percentuale di bitume schiumato ovvero di emulsione bituminosa (determinata per differenza tra la quantità di legante complessivo e la quantità di bitume contenuta nel fresato) non deve essere tollerato uno scostamento da quella di progetto di $\pm 0,25$.

Tali valori dovranno essere soddisfatti dall'esame delle miscele prelevate al momento della stesa, come pure dall'esame delle carote prelevate in sito.

C) CONFEZIONE POSA IN OPERA DELLE MISCELE

La stabilizzazione con cemento e bitume schiumato, ovvero emulsione bituminosa, può essere realizzata mediante un "treno" di riciclaggio costituito da: fresa, macchina stabilizzatrice (pulvimixer tale da

frantumare i grumi del conglomerato fresato e miscelare omogeneamente cemento, bitume o emulsione), autobotte per il legante bituminoso, autobotte per l'acqua, livellatrice e almeno n 2 rulli.

Subito dopo la miscelazione si deve procedere al livellamento della miscela ed alla compattazione mediante l'impiego di un rullo vibrante di peso > 18 ton con controllo di frequenza e di ampiezza di vibrazione e di un rullo gommato di carico statico > 25 ton.

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

In alternativa all'impianto di riciclaggio semovente, per la confezione delle miscele potrà essere utilizzato un impianto mobile da installare in cantiere. L'impianto deve comunque garantire uniformità di produzione ed essere in grado di realizzare le miscele rispondenti a quelle indicate nello studio presentato ai fini dell'accettazione. In questo caso la stesa viene effettuata con macchina vibrofinitrice cui segue la compattazione come nel caso del treno di riciclaggio.

Il trattamento di stabilizzazione deve essere sospeso con temperatura dell'aria inferiore ai 10°C e comunque quando le condizioni meteorologiche generali possono pregiudicare la perfetta riuscita del lavoro.

D) CONTROLLI

Il controllo della qualità degli strati stabilizzati con cemento e bitume schiumato o emulsione bituminosa e deve essere effettuato mediante prove di laboratorio sui materiali costituenti, sulla miscela, sulle carote estratte dalla pavimentazione e con prove in situ.

L'ubicazione dei prelievi e la frequenza delle prove saranno a discrezione della Direzione Lavori.

Sui materiali costituenti devono essere verificate le caratteristiche di accettabilità.

Sulla miscela vengono determinate: la percentuale di bitume (per differenza tra la quantità di legante complessivo e la quantità di bitume contenuta nel fresato), la percentuale d'acqua, la granulometria degli aggregati (riciclati e di integrazione). Su provini confezionati direttamente in cantiere con pressa giratoria vengono eseguite prove di resistenza a trazione indiretta (UNI EN 13286-42) e modulo di rigidità per trazione indiretta (UNI EN 12697-26, Annex C).

Dopo 90 giorni dal trattamento vengono eseguite prove per la determinazione del modulo elastico dinamico mediante macchina a massa battente (Falling Weight Deflectometer – FWD) ed il prelievo di carote per il controllo delle caratteristiche meccaniche della miscela e la verifica degli spessori.

Sulle carote vengono determinati il peso di volume e lo spessore. Potranno inoltre, a discrezione della Direzione Lavori, essere determinati la resistenza a trazione indiretta (UNI EN 13286-42) ed il modulo di rigidità (UNI EN 12697-26, Annex C)

Lo **spessore** dello strato verrà determinato facendo la media delle misure (quattro per ogni carota) rilevate dalle carote estratte dalla pavimentazione, assumendo per i valori con spessore in eccesso di oltre il 5%, rispetto a quello di progetto, valori corrispondenti allo spessore di progetto moltiplicato per 1,05.

Per spessori medi inferiori a quelli di progetto verrà applicata, per tutto il tratto omogeneo, una detrazione percentuale al prezzo di elenco del riciclaggio a freddo pari a:

$$\% \text{ di detrazione} = 0,1 s^2$$

dove s è lo scostamento in percentuale dal valore di progetto.

Per carenze nella **quantità di bitume** (determinata per differenza tra la quantità di legante complessivo e la quantità di bitume contenuta nel fresato) verrà applicata, per tutto il tratto omogeneo, una detrazione percentuale al prezzo di elenco pari a:

$$\% \text{ di detrazione} = 25 b^2$$

dove b è il valore dello scostamento della percentuale di bitume (arrotondata allo 0,1%) dal valore previsto nello studio della miscela, ovvero dal quantitativo minimo (in mancanza dello studio della miscela) pari al 3,0% (percentuale riferita al peso del conglomerato fresato + il peso degli inerti di integrazione + il peso del cemento).

A compattazione ultimata la **densità** in situ (γ_{situ}), nel 95% dei prelievi, non deve essere inferiore al 98% del valore di riferimento ($\gamma_{\text{laboratorio}}$) misurato in laboratorio sulla miscela di progetto costipata con pressa giratoria

a 180 giri e dichiarato prima dell'inizio dei lavori. Le misure della densità sono effettuate secondo la norma (DIN 18125-2 ovvero CNR 22/72). Per valori di densità inferiori a quello previsto verrà applicata, per tutto il tratto omogeneo a cui il valore si riferisce, una detrazione pari a:

$$\% \text{ di detrazione} = 2 (s - 2)^2$$

dove s è lo scostamento percentuale della densità in sito rispetto a quella di laboratorio valutato con:

$$s = 100 (\gamma_{\text{laboratorio}} - \gamma_{\text{situ}}) / \gamma_{\text{laboratorio}}$$

Valori della densità inferiori al 95% del valore di riferimento ($\gamma_{\text{laboratorio}}$) misurato in laboratorio sulla miscela di progetto comporteranno la rimozione dello strato e la successiva ricostruzione a spese dell'Impresa, salvo il danno per il mancato esercizio dell'infrastruttura.

Il **modulo di rigidità** alla temperatura di 20 °C determinato in configurazione di trazione indiretta (UNI EN 12697-26, Annex C) su provini confezionati in cantiere con la pressa giratoria, maturati in camera climatica per 72 ore a 40 °C, ovvero rilevato, dopo 90 giorni dal trattamento, con Falling Weight Deflectometer, e riferito alla temperatura di 20 °C, nel 95% dei campioni (ovvero dei punti analizzati) non deve essere inferiore a 3000 MPa .

Per valori di modulo E inferiori a quello previsto verrà applicata, per tutto il tratto omogeneo cui ci si riferisce, una detrazione pari a:

$$\% \text{ di detrazione} = (s / 200)^2$$

dove s è lo scostamento tra il valore richiesto (3000 MPa) e la media dei risultati ottenuti. Nel calcolo della media i valori superiori a 3300 MPa devono essere assunti pari a 3300 MPa.

Valori medi del modulo E (determinati con il criterio sopra indicato) inferiori a 1500 MPa comporteranno la rimozione dello strato stabilizzato (e di quelli eventualmente sovrastanti) e la successiva ricostruzione a spese dell'Impresa, salvo il danno per il mancato esercizio dell'infrastruttura.

Il **modulo di rigidità** determinato in configurazione di trazione indiretta (UNI EN 12697-26, Annex C) alla temperatura di 40 °C deve essere inferiore di oltre il 25% al valore del modulo determinato con lo stesso metodo, sugli stessi provini alla temperatura di 20 °C.

Per riduzioni del modulo di rigidità minori del 25% tra i valori determinati sugli stessi provini a 40 °C e quelli a 20 °C, verrà applicata, per tutto il tratto omogeneo cui ci si riferisce, una detrazione pari a:

$$\% \text{ di detrazione} = s + 0,25 s^2$$

dove s è la differenza tra la riduzione richiesta (minima) del 25% e quella effettivamente riscontrata, quando minore del 25%.

$$s = 100 \cdot [E(40^\circ\text{C}) - 0,75 E(20^\circ\text{C})] / E(20^\circ\text{C})$$

Differenze tra i valori del modulo a 40 °C e quelli a 20 °C inferiori al 15% comporteranno la rimozione dello strato stabilizzato (e di quelli eventualmente sovrastanti) e la successiva ricostruzione a spese dell'Impresa, salvo il danno per il mancato esercizio dell'infrastruttura.

Le penali precedentemente indicate sono cumulabili e non escludono ulteriori detrazioni per difetto dei materiali costituenti, della miscela utilizzata rispetto a quella proposta dall'Impresa e/o della sua posa in opera, sempre che le carenze riscontrate rientrino nei limiti di accettabilità e non pregiudichino la funzionalità dell'opera.