

## Articolo .....

## CONGLOMERATI BITUMINOSI RICICLATI A FREDDO PER LA FORMAZIONE DI STRATI DI BASE

Il conglomerato bituminoso riciclato a freddo, direttamente in sito o in impianto (fisso o mobile) viene realizzato mediante idonee attrezzature che consentano di impastare, stendere e compattare la miscela costituita dal conglomerato bituminoso preesistente, eventuali inerti di integrazione, emulsione di bitume modificato, acqua, cemento ed eventuali additivi.

Il conglomerato bituminoso preesistente, denominato “materiale da riciclare”, proviene dalla frantumazione con macchine fresatrici, direttamente dalla sua primitiva posizione.

### A) MATERIALI COSTITUENTI E LORO QUALIFICAZIONE

#### 1) Legante

Il legante finale deve essere costituito dal bitume presente nel conglomerato riciclato integrato con quello proveniente dall'emulsione bituminosa formulata con bitume modificato.

L'emulsione per il riciclaggio a freddo deve essere un'emulsione cationica a rottura lenta con il 60% di bitume residuo (designazione secondo UNI EN 13808:2005: C 60 BPO 6) rispondente alle specifiche indicate nella Tabella A.1 .

**Tabella A.1**

<b>EMULSIONE DI BITUME MODIFICATO</b>			
<i>Parametro</i>	<i>Normativa</i>	<i>valori</i>	<i>Classe UNI EN 13808</i>
Polarità	UNI EN 1430	Positiva	2
Contenuto di acqua	UNI EN 1428	40+/-1%	-
Contenuto di bitume	UNI EN 1428	60+/-1%	5
Contenuto di legante (bitume+flussante)	UNI EN 1431	> 59%	5
Contenuto flussante	UNI EN 1431	0%	-
Sedimentazione a 7gg	UNI EN 12847	≤10%	3
PH (grado di acidità)	UNI EN 12850	2 - 4	-
Indice di rottura	UNI EN 12850	170 - 230	6
<i>Residuo bituminoso (per evaporazione)</i>			
Penetrazione a 25 °C	UNI EN1426	50-70 dmm	-
Punto di rammollimento	UNI EN1427	> 60°C	-
Punto di rottura (Frass)	UNI EN 12593	< -13°C	-
Ritorno elastico a 25 °C	UNI EN 13398	≥ 50%	4

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.

#### 2) Conglomerato di recupero (UNI EN 13108)

Per conglomerato di recupero (riciclato) deve intendersi il conglomerato proveniente dalla demolizione (anche parziale) della pavimentazione preesistente con idonee macchine fresatrici.

Prima del suo reimpiego il conglomerato riciclato deve essere vagliato per eliminare eventuali elementi (grumi, placche, ecc.) di dimensioni superiori al Dmax previsto per la miscela (40 mm per gli strati di base; 25 mm per il binder).

Nel caso sia previsto l'impiego di conglomerato di recupero di provenienza esterna al cantiere, esso deve essere preventivamente qualificato in conformità alla norma UNI EN 13108-8.

La percentuale di conglomerato riciclato che si intende impiegare va obbligatoriamente dichiarata nello studio preliminare della miscela che l'Impresa è tenuta a presentare alla D.L. prima dell'inizio dei lavori.

### 3) Inerti di integrazione

Qualora la composizione granulometrica del materiale fresato non consenta la realizzazione della curva di progetto e/o il bitume nel conglomerato da riciclare sia maggiore del 5%, la miscela deve essere integrata con aggregati nuovi, grossi e fini, 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**.

AGGREGATO GROSSO			
Parametro	Metodo di prova	Valori richiesti	Categoria UNI EN 13043
Resistenza alla frammentazione (Los Angeles)	UNI EN 1097-2	≤30%	LA <sub>30</sub>
Percentuale di particelle frantumate	UNI EN 933-5	100%	C <sub>1000</sub>
Dimensione Max	UNI EN 933-1	30mm	-
Passante allo 0.063	UNI EN 933-1	≤1%	f <sub>1</sub>
Resistenza al gelo e disgelo	UNI EN 1367-1	≤1%	F <sub>1</sub>
Spogliamento	UNI EN 12697-12	≤30%	-
Coefficiente di appiattimento	UNI EN 933-3	≤30%	FI <sub>30</sub>
Assorbimento d'acqua	UNI EN 1097-6	≤1,5%	WA <sub>24</sub> 2

La designazione dell'aggregato fine dovrà essere effettuata secondo la norma UNI EN 13043. Per motivi di congruenza con le pezzature fini attualmente prodotte in Italia, è permesso l'impiego come aggregato fine anche di aggregati in frazione unica con dimensione massima D=4mm.

L'aggregato fine potrà essere di provenienza o natura petrografica diversa purché, per ogni tipologia, risultino soddisfatti i requisiti indicati nella **Tabella A.3**.

AGGREGATO FINE			
Parametro	Norma di prova	Valori richiesti	Categoria UNI EN 13043
Equivalente in sabbia	UNI EN 933-8	≥60%	-
Quantità di frantumato		100%	-
Passante allo 0.063	UNI EN 933-1	≤2%	f <sub>2</sub>
Indice di plasticità	UNI CEN ISO/TS 17892-12	n.p.	-
Limite Liquido	UNI CEN ISO/TS 17892-12	≤25%	-

Il possesso dei requisiti elencati nelle tabelle A2 ed A3 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.

**4) Cemento**

E' da considerarsi un additivo catalizzatore di processo, importante per regolare i tempi di rottura dell'emulsione che divengono più o meno critici in relazione al tipo di applicazione.

I cementi 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.

**6) Aggregati**

La granulometria della miscela finale di aggregati deve essere compresa nel fuso indicato nella **Tabella A.4**.

<b>Tabella A.4</b>		
<b>Serie setacci ISO</b>		<b>Passanti</b>
	<b>mm</b>	<b>%</b>
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

Il fresato può essere corretto granulometricamente mediante granulazione e/o vagliatura ovvero mediante l'aggiunta di inerti di dimensioni e caratteristiche tali da riportare la curva granulometrica nel fuso richiesto.

**B) STUDIO DELLA MISCELA**

Le percentuali ottimali di cemento, acqua ed emulsione bituminosa sono stabilite mediante uno specifico studio in laboratorio.

Per una corretta valutazione del conglomerato di recupero (riciclato), al fine di stabilire la necessità di integrazione degli inerti, devono essere eseguite analisi granulometriche (UNI EN 933-1) su campioni prelevati dal sito di stoccaggio o dimettente dalla pavimentazione fresata. Percentuale e caratteristiche del bitume contenuto nel conglomerato da riciclare possono essere determinati anche su carote estratte dalla pavimentazione

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

- Angolo di rotazione :  $1.25^\circ \pm 0.02^\circ$
- 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

<b>Tabella B.1</b>									
% 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	2,5
Umidità %	4,0	5,0	6,0	4,5	5,5	6,5	5,0	6,0	7,0
Provini N°	6	6	6	6	6	6	6	6	6

Ferme restando le percentuali di cemento le altre percentuali possono variare in funzione della natura e della granulometria del materiale da riciclare.

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/mm<sup>2</sup>):  $\geq 0,35$
- Coefficiente di trazione indiretta CTI (N/mm<sup>2</sup>):  $\geq 60$

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**

<b>Tabella B.2</b>			
Temperatura [°C]	5	20	40
Rise-time [ms]	124±4	124±4	124±4
Modulo di rigidezza [MPa]	≥5000	≥4000	≥3000

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 il conglomerato di recupero, di +/- 5 per gli aggregati di integrazione. Per la percentuale 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 +/- 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

Il conglomerato bituminoso riciclato a freddo può essere realizzato mediante un "treno" di riciclaggio costituito da: fresa, macchina stabilizzatrice (pulvimixer tale da frantumare i grumi del conglomerato fresato e miscelare omogeneamente cemento ed emulsione), autobotte per l'emulsione bituminosa, autobotte per l'acqua, livellatrice e almeno n 2 rulli.

Subito dopo la miscelazione si deve procedere al livellamento del conglomerato 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 riciclaggio a freddo 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 dei conglomerati bituminosi riciclati a freddo e della loro posa in opera 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 con pressa giratoria vengono eseguite prove di resistenza a trazione indiretta, modulo complesso e fatica per trazione indiretta mediante Nottingham Asphalt Tester (NAT).

Dopo 30 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 deformabilità viscoplastica con prove a carico costante (CNR 106/85) ed il modulo complesso (UNI EN 12697-26)

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:

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

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

Per carenze nella **quantità di emulsione** (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 emulsione bituminosa (arrotondata allo 0,1%) dal valore previsto nello studio della miscela, ovvero dal quantitativo minimo (in mancanza dello studio della miscela) pari al 3,5% (percentuale riferita al peso del conglomerato fresato + il peso degli inerti di integrazione + il peso del cemento).

Per valori dei **vuoti**, determinati sulle carote, superiori al 10% verrà applicata, per tutto il tratto omogeneo, una detrazione percentuale al prezzo di elenco del riciclaggio a freddo pari a:

$$\% \text{ di detrazione} = v + 0,5 v^2$$

dove v è la media degli scostamenti (eccedenze) dei valori ottenuti dalle carote rispetto al valore limite del 10%. Per i tratti stradali con pendenza superiore al 6% il valore limite (accettabile senza detrazione) per la percentuale dei vuoti residui (sulle carote) è innalzato al 12%.

Dopo 90 giorni dalla realizzazione, nel 95% dei punti esaminati, il **modulo elastico E** determinato con Falling Weight Deflectometer non deve essere inferiore a 4000 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:

$$\% \text{ di detrazione} = (s/250)^2$$

dove  $s$  è lo scostamento tra il valore richiesto (4000 MPa) e la media dei risultati ottenuti. Nel calcolo della media i valori superiori a 4000 MPa devono essere assunti pari a 4000 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.

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.