

## Articolo 10

# 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 di riciclo, eventuali inerti di integrazione, emulsione di bitume modificato, acqua, cemento ed eventuali additivi.

Il conglomerato bituminoso di riciclo può provenire dalla frantumazione con macchina fresatrice, direttamente dalla sua primitiva posizione, oppure da siti di stoccaggio autorizzati di materiale proveniente dalla demolizione di pavimentazioni stradali.

### A) MATERIALI COSTITUENTI E LORO QUALIFICAZIONE

#### 1) Conglomerato bituminoso di recupero

Per conglomerato bituminoso di recupero (riciclato) deve intendersi il conglomerato proveniente dalla demolizione (anche parziale) di pavimentazioni stradali o aeroportuali. La demolizione può essere eseguita con macchine fresatrici o con macchine di altro tipo (escavatori, ecc.). In questo secondo caso il materiale di recupero deve essere sottoposto ad un processo di frantumazione – disgregazione per la riduzione dei blocchi e delle placche alle dimensioni adeguate al suo riutilizzo.

Il conglomerato bituminoso riciclato, nei casi in cui la miscelazione sia prevista in impianto (fisso o mobile) deve essere vagliato prima del suo reimpiego per eliminare eventuali elementi (grumi, placche, ecc.) di dimensioni superiori al  $D_{max}$  previsto per la miscela. Tale operazione non è necessaria quando è adottata la miscelazione in sito mediante pulvimixer.

Nel caso di impiego di conglomerato di recupero proveniente da fuori cantiere, questo deve essere qualificato preventivamente in conformità alla norma UNI EN 13108-8.

La granulometria del conglomerato di recupero deve essere eseguita per via umida sul materiale prelevato all'impianto, dopo la vagliatura, oppure dopo un passaggio di pulvimixer quando sia prevista la miscelazione in sito.

#### 2) Aggregati 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 devono essere qualificati in conformità al Regolamento (UE) N. 305/2011 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.

Le caratteristiche tecniche degli aggregati ed i metodi di attestazione devono essere conformi al Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 16 novembre 2009.

La designazione dell'aggregato grosso deve essere effettuata mediante le dimensioni degli stacci appartenenti al gruppo di base più gruppo 2 della UNI EN 13043. L'aggregato grosso può essere di provenienza o natura petrografica diversa purché, per ogni tipologia, risultino soddisfatti i requisiti indicati nella Tabella A.1.

**Tabella A.1**

AGGREGATO GROSSO					
Requisito	Norma	Simbolo	unità di misura	Valori richiesti	Categoria
Resistenza alla frammentazione (Los Angeles)	UNI EN 1097-2	LA	%	≤30	LA <sub>30</sub>
Percentuale di particelle frantumate	UNI EN 933-5	C	%	100	C <sub>100,0</sub>
Dimensione Max	UNI EN 933-1	D	mm	31,5	-
Passante allo 0.063	UNI EN 933-1	f	%	≤1	f <sub>1</sub>
Resistenza al gelo e disgelo	UNI EN 1367-1	F	%	≤1	F <sub>1</sub>
Indice di appiattimento	UNI EN 933-3	FI	%	≤30	FI <sub>30</sub>
Assorbimento d'acqua	UNI EN 1097-6	WA <sub>24</sub>	%	≤1,5	WA <sub>24,2</sub>

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

**Tabella A.2**

AGGREGATO FINE					
Requisito	Norma	Simbolo	unità di misura	Valori richiesti	Categoria
Equivalente in sabbia	UNI EN 933-8	ES	%	≥60	-
Massa di granuli provenienti da sabbie di frantumazione			%	100	-
Passante allo 0.063	UNI EN 933-1	f	%	≤2	f <sub>2</sub>
Indice di plasticità	UNI CEN ISO/TS 17892-12	IP		NP	-
Limite Liquido	UNI CEN ISO/TS 17892-12	LL	%	≤25	-

Il possesso dei requisiti elencati nelle tabelle A1 e A2 viene verificato dalla Direzione Lavori sulla base dei valori riportati nella documentazione di marcatura CE predisposta dal produttore degli aggregati. La documentazione, comprendente l'etichetta di marcatura CE e la Dichiarazione di Prestazione (DoP), deve essere consegnata alla Direzione Lavori almeno 15 giorni prima dell'inizio dei lavori.

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

Per i requisiti di accettazione eventualmente non riportati nella Dichiarazione di Prestazione la Direzione Lavori richiederà certificazione delle relative prove da effettuarsi presso uno dei laboratori di cui all'art. 59 del DPR n. 380/2001.

### 3) Legante

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

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: C60BP10) rispondente alle specifiche indicate nella Tabella A.3.

**Tabella A.3**

EMULSIONE DI BITUME MODIFICATO C60BP10					
Requisito	Norma	Simbolo	unità di misura	Valori richiesti	Classe
Contenuto di acqua	UNI EN 1428	W	%	40+/-1	-
Contenuto di bitume	UNI EN 1428	r	%	60+/-1	6
Contenuto flussante	UNI EN 1431	-	%	0	-
Sedimentazione a 7gg	UNI EN 12847	ST	%	≤10	3
pH (grado di acidità)	UNI EN 12850	pH		2 - 4	-
Miscelazione con cemento	UNI EN 12848		%	< 2	10
<i>Residuo bituminoso (per evaporazione)</i>					
Penetrazione a 25 °C	UNI EN1426	-	0,1 mm	50-70	3
Punto di rammollimento	UNI EN1427	-	°C	> 60	2
Punto di rottura (Fraass)	UNI EN 12593	-	°C	< -13	-
Ritorno elastico a 25 °C	UNI EN 13398	R <sub>E</sub>	%	≥ 50	5

Il possesso dei requisiti dell'emulsione bituminosa riportati in Tabella A.3 viene verificato dalla Direzione Lavori sulla base dei valori riportati nella documentazione di marcatura CE predisposta dal produttore. La documentazione, comprendente l'etichetta di marcatura CE e la Dichiarazione di Prestazione (DoP), deve essere consegnata alla Direzione Lavori almeno 15 giorni prima dell'inizio dei lavori.

#### 4) Cemento

I cementi impiegati dovranno essere qualificati in conformità al Regolamento prodotti da costruzione 305/2011/CPR con dichiarazione di prestazione (DoP). Ciascuna fornitura dovrà essere accompagnata dalla marcatura CE attestante la conformità all'appendice ZA della norma europea armonizzata UNI EN 13282-1.

#### 5) Acqua

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

#### 6) Miscela di aggregati

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

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	30-48
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 emulsione bituminosa (di bitume modificato con polimeri) cemento, acqua e dell'eventuale integrazione di aggregati sono stabilite mediante uno specifico studio in laboratorio.

Nel caso di riciclaggio del conglomerato bituminoso della pavimentazione esistente, per una corretta valutazione delle caratteristiche del materiale della tratta stradale interessata, devono essere eseguiti prelievi ogni 500 m, eventualmente intensificati in caso di disomogeneità.

Quando è prevista la miscelazione con pulvimixer i campioni degli aggregati per lo studio della miscela devono essere prelevati in cantiere, subito dopo un passaggio di pulvimixer senza la stesa dei leganti.

Prima di definire la giusta combinazione di leganti, deve essere determinato il contenuto ottimale di acqua sulla miscela granulare con il 2% in peso di cemento, secondo le indicazioni riportate nella Tabella B1.

I provini con diverso contenuto di acqua devono essere compattati con pressa giratoria (UNI EN 12697-31) nelle seguenti condizioni di prova:

Tipo di fustella:	NON drenata
Angolo di rotazione:	1.25° ± 0.02°
Velocità di rotazione:	30 rotazioni al minuto
Pressione verticale:	600 kPa
Dimensioni provino:	150 mm
n° giri:	100
Peso campione:	2800 g (comprensivi di cemento e acqua)

Nel caso in cui gli elementi più grossolani impediscano la produzione di provini geometricamente regolari deve essere eliminato il trattenuto al setaccio da 20 mm.

<b>Tabella B.1</b>						
Cemento [%]	2,0					
Acqua [%]	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0
Provini [n°]	3	3	3	3	3	3

Ogni provino deve essere pesato prima e dopo la compattazione al fine di determinare la percentuale di (eventuale) acqua espulsa.

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

Secondo la stessa procedura di compattazione e con il contenuto di acqua ottimo, devono essere confezionati provini con differenti quantità (percentuali riferite al peso degli inerti) di cemento ed emulsione bituminosa (di bitume modificato con polimeri), come indicato nella Tabella B.2.

<b>Tabella B.2</b>									
Acqua [%]	Contenuto ottimo								
Cemento [%]	1,5			2,0			2,5		
Emulsione bituminosa [%]	3,0	3,5	4,0	3,0	3,5	4,0	3,0	3,5	4,0
Provini [n°]	4	4	4	4	4	4	4	4	4

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

I provini così confezionati devono subire una maturazione a 40 °C per 72 ore e successivamente devono essere sottoposti a prova di resistenza a trazione indiretta (UNI EN 12697/23), dopo un condizionamento per 4 ore in camera climatica a 25 °C. Tali provini devono fornire resistenza a trazione indiretta ITS > 0,35 MPa.

Sui provini confezionati con le miscele che soddisfano i requisiti di resistenza a trazione indiretta, maturati per 72 ore a 40 °C, si deve determinare :

- modulo di rigidezza in configurazione di trazione indiretta (spostamento orizzontale imposto  $5 \pm 0,2 \mu\text{m}$ ) secondo la Norma UNI EN 12697/26;

La miscela ottima di progetto sarà quella che fornisce il modulo di rigidezza a 20 °C più piccolo tra quelli che risultano maggiori di 3,0 GPa e resistenza a trazione indiretta dopo imbibizione maggiore del 70% di quella ottenuta su provini non immersi in acqua.

Sulla miscela ottima si deve determinare la densità geometrica a 100 giri di pressa giratoria che costituisce il riferimento per il controllo della densità in sito.

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 aggregati 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 +/- 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 E 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), 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  $> 180$  kN con controllo di frequenza e di ampiezza di vibrazione e di un rullo gommato di carico statico  $> 240$  kN.

La compattazione deve essere 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  $10^{\circ}\text{C}$  e comunque quando le condizioni meteorologiche generali possono pregiudicare la perfetta riuscita del lavoro.

Ultimato il costipamento, compatibilmente con le attività di cantiere, lo strato deve essere fatto maturare per qualche giorno, favorendo l'evaporazione dell'acqua, prima di essere coperto. Quando invece è prevista pioggia lo strato deve essere immediatamente protetto. In entrambi i casi viene utilizzata emulsione sovra stabilizzata (tipo C60BP10), la stessa usata nella formazione della miscela, con un dosaggio di circa  $1,5$  kg/m<sup>2</sup>, e successivo spargimento di graniglia o sabbia.

## D) CONTROLLI

Il controllo della qualità degli strati stabilizzati con cemento ed 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 sono a discrezione della Direzione Lavori.

Sui materiali costituenti devono essere verificate le caratteristiche di accettabilità.

Sulla miscela vengono determinate: la percentuale d'acqua e 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 12697-23) e modulo di rigidezza per trazione indiretta (UNI EN 12697-26, Annesso 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 peso di volume e la verifica degli spessori.

Sulle carote possono inoltre, a discrezione della Direzione Lavori, essere determinati la resistenza a trazione indiretta (UNI EN 12697-23) ed il modulo di rigidezza (UNI EN 12697-26, Annesso C).

A compattazione ultimata la **densità** in situ ( $\gamma_{\text{situ}}$ ), nel 95% dei punti controllati (con prelievo di carote), non deve essere inferiore al 97% del valore di riferimento ( $\gamma_{\text{laboratorio}}$ ) misurato in laboratorio sulla miscela di progetto costipata con pressa giratoria a 100 giri e dichiarato prima dell'inizio dei lavori. Quando possibile il valore di riferimento deve essere costituito dall'addensamento ottenuto sulla miscela effettivamente utilizzata in quel punto, costipata direttamente in cantiere con pressa giratoria collocata su un laboratorio mobile. Il campione, costituito da circa 2800 g di miscela (comprensivi di cemento e acqua) deve essere costipato con 100 giri di pressa giratoria.

Le misure della densità sono effettuate secondo la norma (UNI EN 12697-6/procedura D).

Nella prova di **trazione indiretta** (UNI EN 12697-23) eseguita su carote prelevate dopo 90 giorni dalla realizzazione o su provini confezionati in cantiere con la pressa giratoria (180 giri), maturati in camera climatica per 72 ore a  $40^{\circ}\text{C}$  e successivamente, condizionati per 4 ore a  $25^{\circ}\text{C}$ , la Resistenza a Trazione Indiretta ITS non deve essere inferiore a  $0,35$  N/mm<sup>2</sup>.

Il **modulo di rigidezza** alla temperatura di  $20^{\circ}\text{C}$  determinato in configurazione di trazione indiretta (UNI EN 12697-26) con deformazione imposta di  $2$   $\mu\text{m}$  sulle carote prelevate dopo 90 giorni dalla realizzazione o provini confezionati in cantiere con la pressa giratoria (180 giri), maturati in camera climatica per 72 ore a  $40^{\circ}\text{C}$  o dopo 28 giorni di maturazione a  $20^{\circ}\text{C}$ , nel 95% dei campioni, non deve essere inferiore a  $3,0$  GPa.

Considerando lo stesso provino e gli stessi diametri di misura, il modulo di rigidezza alla temperature a 50°C deve essere minore del 75% del valore ottenuto a 20°C.

Il 15° percentile dei valori del **modulo elastico**, rilevati dopo 90 giorni dalla posa in opera mediante macchina a massa battente (Falling Weight Deflectometer – FWD), non deve essere inferiore a 3,0 GPa.

Per valori del modulo elastico (15 percentile) compresi tra 2,0 e 3,0 GPa viene applicata allo strato di base a freddo una detrazione pari a:

$$\% \text{ di detrazione} = 20s + 5s^2$$

dove s è la differenza tra 3 GPa ed il valore del 15 percentile del modulo elastico del tratto omogeneo (cui il valore si riferisce) espresso in GPa.

Valori del modulo elastico inferiori a 2,0 GPa comportano la demolizione ed il rifacimento dello strato di base a freddo a spese dell'Impresa, salvo il danno per il mancato esercizio dell'infrastruttura.

In alternativa la Direzione Lavori può indicare l'esecuzione di interventi compensativi della carenza rilevata che consentono di raggiungere la vita utile della pavimentazione prevista dal progetto.

Nel caso non vengano eseguite prove FWD l'accettazione della lavorazione o l'eventuale calcolo delle detrazioni viene eseguito con riferimento al modulo di rigidezza determinato sulle carote in configurazione di trazione indiretta (UNI EN 12697-26), applicando lo stesso criterio previsto per il modulo elastico.