

Articolo 8

**Formazione di strati in conglomerato bituminoso riciclato a freddo**

Il riciclaggio in sito a freddo 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 ed additivi.

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

8.1 – MATERIALI COSTITUENTI E LORO QUALIFICAZIONE

**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 rispondere alle caratteristiche indicate nella

**Tabella 8.1:**

<b>Tabella 8.1</b>			
<b>Emulsione bituminosa</b>			
<i>Parametro</i>	<i>Normativa</i>	<i>unità di misura</i>	<i>valori</i>
Contenuto di acqua	CNR 101/84	%	40+/-1%
Contenuto di legante	CNR 100/84	%	60+/-1%
Contenuto di bitume	CNR 100/84	%	> 59%
Contenuto flussante	CNR 100/84	%	0%
Demulsività	ASTM D244		0 - 40
Omogeneità	ASTM D244	%	< 0,2%
Viscosità Engler a 20 °C	CNR 102/84	°E	5 - 10
Sedimentazione a 5 g	CNR 124/88	%	< 10%
PH (grado di acidità)			2 – 4
Indice di rottura (*)	NF-T 66-017		> 140
<i>Residuo bituminoso</i>			
Penetrazione a 25 °C	CNR 24/71	Dmm	50-70
Punto di rammollimento	CNR 35/73	°C	> 60
Punto di rottura (Frass)	CNR43/74	°C	< -13
Ritorno elastico a 25 °C	EN 13398	%	≥ 50
(*) In alternativa all'indice di rottura si può eseguire la seguente prova: 50 gr di cemento 325 miscelati intimamente con 100 gr di acqua vengono introdotti in 100 gr di emulsione e mescolati dolcemente per 4 minuti. Durante questo tempo non si deve verificare nessuna coagulazione di bitume.			

Ai fini dell'accettazione, prima dell'inizio dei lavori, l'Impresa è tenuta a predisporre la qualificazione del prodotto tramite certificazione attestante i requisiti indicati. Tale certificazione sarà rilasciata dal produttore o da un Laboratorio riconosciuto dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti.

**Conglomerato riciclato**

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

Per lo strato di base può essere utilizzato conglomerato riciclato di qualsiasi provenienza; per il binder materiale proveniente da vecchi strati di collegamento ed usura.

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.

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.

*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 inerti nuovi.

Gli inerti di integrazione possono appartenere all'insieme degli aggregati grossi (trattenuti al crivello UNI n. 5) o degli aggregati fini (passante al crivello UNI n. 5).

Gli **aggregati grossi** potranno essere di provenienza o natura petrografica diversa purchè, per ogni tipologia, risultino soddisfatti i requisiti indicati nella **Tabella 8.2**

**Tabella 8.2**

<b>AGGREGATO GROSSO - Trattenuto al crivello UNI n. 5</b>				
Indicatori di qualità			Strato pavimentazione	
Parametro	Normativa	Unità di misura	Base	Binder
Los Angeles (*)	CNR 34/73	%	≤ 30	≤ 25
Micro Deval umida (*)	CNR 109/85	%	≤ 20	≤ 20
Quantità di frantumato	-	%	100	100
Dimensione max	CNR 23/71	mm	40	30
Sensibilità al gelo	CNR 80/80	%	≤ 30	≤ 30
Spogliamento	CNR 138/92	%	≤ 5	≤ 5
Passante allo 0.075	CNR 75/80	%	≤ 1	≤ 1
Indice appiattimento	CNR 95/84	%	≤ 30	≤ 25
Porosità	CNR 65/78	%		≤ 1,5

Gli **aggregati fini** devono possedere le caratteristiche riassunte nelle **Tablelle 8.3**.

**Tabella 8.3**

<b>AGGREGATO FINO - Passante al crivello UNI n. 5</b>				
Indicatori di qualità			Strato pavimentazione	
Parametro	Normativa	Unità di misura	Base	Binder
Equivalente in sabbia	CNR 27/72	%	≥ 50	≥ 60
Indice Plasticità	CNR-UNI 10014	%	N.P.	
Limite liquido	CNR-UNI 10014	%	≤ 25	
Passante allo 0.075	CNR 75/80	%		≤ 2
Quantità di frantumato	CNR 109/85	%		100

Ai fini dell'accettazione, prima dell'inizio dei lavori, l'Impresa è tenuta a predisporre la qualificazione degli aggregati tramite certificazione attestante i requisiti prescritti. Tale certificazione deve essere rilasciata da un Laboratorio accreditato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti.

*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.

Nel riciclaggio a freddo deve essere impiegato cemento Portland d'alto forno o pozzolanico (tipo I, III o IV) con classe di resistenza 325.

*Acqua*

Deve essere impiegata acqua pura ed esente da sostanze organiche.

**Miscela**

La formulazione della miscela (granulometria del conglomerato da riciclare e degli inerti di integrazione, percentuale di emulsione bituminosa, di cemento e di acqua) deve essere ottenuta mediante uno specifico studio che preveda:

- a – prelievi di materiale sciolto in sito (fresato) per la determinazione dell'umidità (CNR UNI 10008/63), della curva granulometrica (CNR 23/71) ante e post-estrazione del bitume, della percentuale di bitume (CNR 38/73) e delle caratteristiche del bitume estratto: penetrazione e punto di rammollimento (CNR 24/71 , CNR 35/73). Per una corretta valutazione delle caratteristiche del conglomerato preesistente le determinazioni sopra riportate devono essere eseguite ogni 500 m della tratta interessata dai lavori ed eventualmente intensificate in caso di scarsa omogeneità del materiale da riciclare. Percentuale e caratteristiche del bitume contenuto nel conglomerato da riciclare possono essere determinati anche su carote estratte dalla pavimentazione;
- b – la definizione della curva granulometrica di progetto con eventuale previsione di aggiunta di inerti di integrazione; La miscela del conglomerato da riciclare e degli aggregati di primo impiego, da adottarsi per i diversi strati, deve avere una granulometria contenuta nei fusi riportati in **Tabella 8.4.**

<b>Tabella 8.4</b>		Base	Binder
Serie crivelli e setacci UNI			
Crivello	40	100	-
Crivello	25	80 – 100	100
Crivello	15	60 – 78	65 – 95
Crivello	10	48 – 64	50 – 70
Crivello	5	37 – 51	35 – 53
Setaccio	2	27 – 40	30 – 44
Setaccio	0,4	12 – 22	14 – 24
Setaccio	0.18	7 – 14	8 – 15
Setaccio	0.075	3 – 7	4 - 8

- c – la determinazione della massima densità della miscela di progetto.  
 Si preparano campioni di miscela essiccata (granulometria di progetto) del peso di 1200g (comprensivo di una percentuale di cemento pari a circa l'1%) con quantità crescenti di acqua dell'1.0% in peso; con il materiale di ogni campione si confezionano provini seguendo la metodologia Marshall (CNR 30/73); o Duriez (CNR 130/89); riportate in **Tabella 8.5** e si determina, mediante pesata idrostatica, la densità ottenuta per ogni provino; la costruzione della curva di densità consente di individuare la percentuale di acqua corrispondente alla massima densità;

<b>Tabella 8.5</b>	<b>MODALITÀ DI PROVA</b>	
	metodo Marshall	metodo Duriez
Altezza fustella	87.5 mm	275 mm
Diametro fustella	105 mm	120 mm
Peso del materiale	1200 gr	3500 gr
Compattazione	120 daN/cm <sup>2</sup> per 5 minuti	120 daN/cm <sup>2</sup> per 5 minuti
Maturazione	1 , 3 , 7 giorni in stufa a T = 25°C	7 , 14 giorni in stufa a T = 25°C
Rottura	Marshall a 25°C	a compressione a T = 25°C

- d – la determinazione della percentuale ottimale di emulsione e di cemento:  
 Si confezionano campioni di miscela essiccata (granulometria di progetto) del peso di 1200g con quantità crescenti di emulsione bituminosa e cemento facendo in modo che la percentuale di umidità dell'impasto non sia mai superiore a quella misurata sulla curva di massima densità.

Seguendo la metodologia Marshall indicata in **Tabella 8.5** si confezionano, per ogni livello di maturazione, e per ogni diversa percentuale di cemento e di emulsione:

- n°3 provini per la determinazione di densità e per centuale dei vuoti residui;
- n° 4 provini per la determinazione di stabilità, scorrimento e rigidità Marshall (CNR B.U. n°30/73);
- n° 12 provini per la determinazione della resistenza a trazione indiretta e dei parametri di deformabilità a 10 °C, 25°C e 40 °C da rilevare esclusivamente sull'ottimo di legante e di cemento.

In alternativa, con la metodologia Duriez (**Tabella 8.5**) si confezionano, per ogni livello di maturazione, e per ogni diversa percentuale di cemento e di emulsione:

- n°2 provini per la determinazione di densità e percentuale dei vuoti residui;
- N°4 provini per la determinazione della resistenza a compressione.
- N° 12 provini per la determinazione della resistenza a trazione indiretta e dei parametri di deformabilità a 10 °C, 25°C e 40 °C da rilevare esclusivamente sull'ottimale di legante e di cemento.
- N° 4 provini per la determinazione del rapporto Immersione/Compressione (rottura a compressione dopo 7 giorni di immersione in acqua).

## 8.2 – ACCETTAZIONE DELLE MISCELE

L'Impresa è tenuta a presentare alla Direzione Lavori, con congruo anticipo rispetto all'inizio delle lavorazioni 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 riciclato, 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.

## 8.3 – CONFEZIONE POSA IN OPERA DELLE MISCELE

Il riciclaggio a freddo deve essere realizzato mediante un "treno" di riciclaggio costituito da: macchina fresatrice, impianto di vagliatura e miscelazione semovente, vibrofinitrice e rulli.

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.

La posa in opera dei conglomerati riciclati a freddo viene effettuata con macchine vibrofinitrici in perfetto stato di efficienza e dotate di automatismi di autolivellamento.

Le vibrofinitrici devono comunque lasciare uno strato finito perfettamente sagomato, esente da difetti dovuti a segregazione degli elementi litoidi più grossi.

La miscela appena stesa deve essere immediatamente compattata mediante un rullo statico metallico da 50t e da un rullo gommato da 35t. In alternativa in luogo del rullo da 50t potrà essere impiegato un rullo metallico vibrante che permetta comunque di ottenere compattazioni superiori alle 50t in dinamico (onda lunga).

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.

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.

#### 8.4 – 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 sono indicati nella **Tabella 8.6**.

Ogni prelievo deve essere costituito da due campioni; un campione viene utilizzato per i controlli presso un Laboratorio riconosciuto dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, l'altro resta a disposizione per eventuali accertamenti e/o verifiche tecniche successive.

Sui materiali costituenti devono essere verificate le caratteristiche di accettabilità.

Sulla miscela vengono determinate: la percentuale di emulsione (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).

Dopo 15 giorni dalla stesa la Direzione Lavori preleva delle carote per il controllo delle caratteristiche del conglomerato e la verifica degli spessori.

Sulle carote vengono determinati il peso di volume, la percentuale dei vuoti residui, la deformabilità viscoplastica con prove a carico costante (CNR 106/85) ed il modulo complesso E (Norma prEN 12697-26)

Per valori del modulo complesso E inferiori a quelli di progetto, con una tolleranza del 10%, verrà applicata una detrazione dello 0,4% del prezzo di elenco per ogni punto percentuale di carenza, oltre la tolleranza, del modulo dinamico a compressione.

Lo spessore dello strato verrà determinato, per ogni tratto omogeneo di stesa, facendo la media delle misure (quattro per ogni carota) rilevate dalle carote estratte dalla pavimentazione, scartando i valori con spessore in eccesso, rispetto a quello di progetto, di oltre il 5%.

Per valori dei vuoti, determinati sulle carote, superiori a quelli previsti (ottenuti dalla miscela di progetto proposta dall'Impresa) verrà applicata una detrazione del 2,5% del prezzo di elenco per ogni 0,5% di vuoti in più, fino al valore massimo accettabile (per i vuoti in opera) del 12%.

Valori dei vuoti superiori al 12% comporteranno la rimozione dello strato e la successiva ricostruzione a spese dell'Impresa. Per spessori medi inferiori a quelli di progetto verrà applicata, per tutto il tratto omogeneo, una detrazione del 2,5% del prezzo di elenco per ogni mm di materiale mancante. Carenze superiori al 20% dello spessore di progetto comporteranno la rimozione dello strato e la successiva ricostruzione a spese dell'Impresa.

**Tabella 8.6**

<b>TUTTE LE STRADE</b>				
<b>Controllo dei materiali e verifica prestazionale</b>				
<b>STRATO</b>	<b>TIPO DI CAMPIONE</b>	<b>UBICAZIONE PRELIEVO</b>	<b>FREQUENZA PROVE</b>	<b>REQUISITI RICHIESTI</b>
Base Binder	Emulsione Bituminosa	Autobotte	Settimanale oppure ogni 2500 m <sup>3</sup> di stesa	Riferimento Tabella 8.1
Base Binder	Aggregati di integrazione	Autocarro	Settimanale oppure ogni 2500 m <sup>3</sup> di stesa	Riferimento Tabella 8.2 e Tabella 8.3
Base Binder	Conglomerato da riciclare	Dietro finitrice	Giornaliera	Caratteristiche risultanti dallo studio della miscela
Base Binder	Conglomerato riciclato sfuso	Vibrofinitrice	Giornaliera	Caratteristiche risultanti dallo studio della miscela
Base Binder	Carote x spessori	Pavimentazione	Ogni 200 m di fascia di stesa	Spessore previsto in progetto
Base Binder	Carote x densità in sito	Pavimentazione	Ogni 1000 m di fascia di stesa	98% del valore risultante dallo studio della miscela
Base Binder	Carote x deformabilità a carico costante	Pavimentazione	Ogni 1000 m di fascia di stesa	90% del valore previsto in progetto
Base Binder	Carote x modulo	Pavimentazione	Ogni 1000 m di fascia di stesa	90% del valore previsto in progetto