



B  Luciano & C. snc
BOCCHER

LA TRADIZIONE È LA NOSTRA FORZA, L'INNOVAZIONE IL NOSTRO FUTURO

LA NUOVA SFIDA DELLA DITTA BOCCHER LUCIANO & C. SNC

**FACCIAMO
ANCORA
TANTA
STRADA
INSIEME**

COS'È IL RICICLAGGIO A FREDDO?

È un conglomerato bituminoso ottenuto da prodotti derivanti da riciclaggio di demolizioni edili o da riciclaggio di sottoprodotti industriali (fresato, aggregati riciclati, aggregati industriali) anziché da prodotti derivanti da estrazione da cava e consiste in un conglomerato ottenuto dalla miscelazione di aggregato/fresato, cemento, bitume ed acqua.

Il termine "a freddo" (da non confondere con il cosiddetto "asfalto a freddo" adottato per il conglomerato lavorabile a temperatura ambiente per piccole riparazioni stradali) deriva dal fatto che, a differenza di quanto avviene nella produzione di conglomerato bituminoso "a caldo", l'aggregato non viene portato a temperature superiori ai 150 °C come avviene in quest'ultimo caso ma viene lasciato a temperatura ambiente riscaldando eventualmente solo alcuni additivi (emulsione bituminosa, bitume espanso) per poter effettuare la necessaria movimentazione ed additivazione dell'impasto.

IL RICICLAGGIO A FREDDO

Il riciclaggio a freddo oggi in Italia ed anche in Trentino è poco noto. Può essere eseguito in impianti fissi o siti mediante l'utilizzo di appositi macchinari per fresare, impastare, stendere e compattare il prodotto.



**UNA NUOVA
 TECNICA
 DI RICICLAGGIO
 A FREDDO
 NELL'OTTICA
 DI QUANTO
 PREVISTO DAL
 PROTOCOLLO
 DI KYOTO**

UTILIZZO

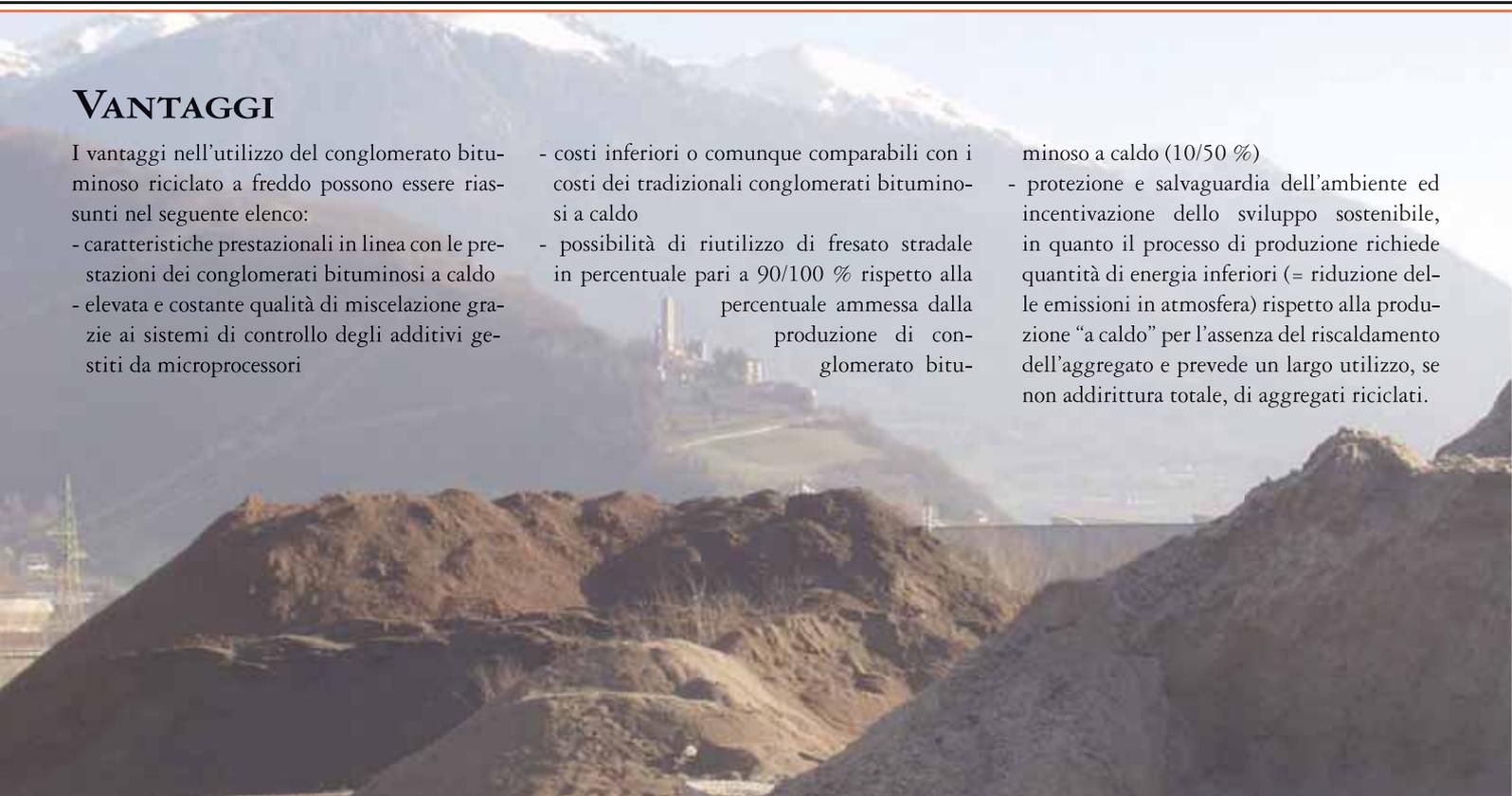
Il conglomerato bituminoso riciclato a freddo può essere utilizzato per la realizzazione di consolidamenti di strati di sottofondo stradale, strati di base, bynder e strati di usura in strade di carattere urbano ed extraurbano.



VANTAGGI

I vantaggi nell'utilizzo del conglomerato bituminoso riciclato a freddo possono essere riassunti nel seguente elenco:

- caratteristiche prestazionali in linea con le prestazioni dei conglomerati bituminosi a caldo
- elevata e costante qualità di miscelazione grazie ai sistemi di controllo degli additivi gestiti da microprocessori
- costi inferiori o comunque comparabili con i costi dei tradizionali conglomerati bituminosi a caldo
- possibilità di riutilizzo di freato stradale in percentuale pari a 90/100 % rispetto alla percentuale ammessa dalla produzione di conglomerato bituminoso a caldo (10/50 %)
- protezione e salvaguardia dell'ambiente ed incentivazione dello sviluppo sostenibile, in quanto il processo di produzione richiede quantità di energia inferiori (= riduzione delle emissioni in atmosfera) rispetto alla produzione "a caldo" per l'assenza del riscaldamento dell'aggregato e prevede un largo utilizzo, se non addirittura totale, di aggregati riciclati.



LE POSSIBILI MISCELE

Materiali :



SUDDIVISIONE
SECONDO TIPI DI
LEGANTE

 cemento	 acqua	
 emulsione	 acqua	
 Bitume schiumato	 acqua	
 cemento	 emulsione	 acqua
 cemento	 bitume schiumato	 acqua

R.F.



FACILITÀ DI APPLICAZIONE, FORTE STABILIZZAZIONE

Perché preferire il riciclaggio a freddo e l'utilizzo dell'emulsione bituminosa rispetto al metodo tradizionale?

Per la sua facilità di applicazione, per la forte stabilizzazione, per il suo utilizzo a freddo durante tutto il ciclo, per la facile reperibilità e disponibilità sul mercato ma anche e soprattutto per il fatto che non esistono problemi di sicurezza, né tantomeno durante l'intero processo produttivo.



**TOTALE RECUPERO, A SEGUITO DI FRESATURA,
DEL CONGLOMERATO BITUMINOSO STRADALE.**

**UNA TECNOLOGIA
CHE PERMETTE
IL RIPRISTINO
DI TUTTE
LE PAVIMENTAZIONI
STRADALI.**





VALUTAZIONE DEL RUOLO DEL LEGANTE SULLA RESISTENZA A FATICA DI CONGLOMERATI BITUMINOSI RICICLATI A FREDDO CON EMULSIONE BITUMINOSA E CEMENTO.

*Convenzione di Ricerca fra
l' Università degli Studi di Parma - DICAtEA
e la Società Valli-Zabban di Sesto Fiorentino (FI)*



UNITÀ OPERATIVA DI RICERCA

Prof. Ing. Antonio Montepara (Responsabile Scientifico)

Prof. Ing. Felice Giuliani

Dr. Ing. Gabriele Tebaldi

Dr. Ing. Silvia Rastelli

VALUTAZIONE DEL RUOLO DEL LEGANTE SULLA RESISTENZA A FATICA DI CONGLOMERATI BITUMINOSI RICICLATI A FREDDO CON EMULSIONE BITUMINOSA E CEMENTO.

*Convenzione di Ricerca fra
l'Università degli Studi di Parma - DICAtEA
e la Società Valli-Zabban di Sesto Fiorentino (FI)*

OBIETTIVI DELLA RICERCA

Sebbene soggetto a specifico inquadramento normativo nell'ambito della tutela e della salvaguardia ambientale, il prodotto della demolizione di vecchie pavimentazioni stradali è oggi ritenuto un materiale da costruzione dalle enormi potenzialità. Quantità e qualità di fresato, materia prima-seconda nel processo demolizione e rifacimento di sovrastrutture stradali flessibili, consentono di spingere la ricerca verso il perfezionamento delle formulazioni di conglomerati bituminosi a caldo ed a freddo, in situ ed in impianto, con caratteristiche del tutto simili a miscele costituite da aggregati lapidei di primo impiego.

Specificatamente nell'ambito del cosiddetto riciclaggio a freddo delle pavimentazioni stradali, lo stato della pratica ha evidenziato alcune criticità operative e concettuali che risultano di estremo interesse scientifico, la cui risoluzione può costituire un valido aiuto per tutti i soggetti coinvolti nel processo decisionale di progettazione, realizzazione e controllo delle pavimentazioni stradali.

Nel comune convincimento della necessità di approfondire le problematiche di analisi delle prestazioni dei conglomerati bituminosi riciclati a freddo, si è convenuto intraprendere uno studio con la seguente finalità:

- Individuare una tipologia di emulsione bituminosa che potesse garantire il miglior compromesso fra resistenza a carichi statici e resistenza a sollecitazioni di tipo ciclico, ovvero resistenza alla fatica, sollecitazione, quest'ultima, critica per le sovrastrutture stradali in ambito autostradale.
- Comprendere il meccanismo di interazione emulsione-fresato-cemento il quale, non indipendente da fattori decisivi quali umidità, temperatura ed energia di compattazione, è fautore della prestazione finale in opera e del successo dell'intero processo di riciclaggio.
- Proporre, in mancanza riferimenti condivisi in ambito internazionale, una metodologia di laboratorio che possa simulare al meglio le condizioni di stesa e di maturazione in situ del conglomerato bituminoso riciclato a freddo.

1. ASPETTI GENERALI ED INQUADRAMENTO DELLA RICERCA

La tecnica del riciclaggio a freddo prevede che, nella realizzazione di strati di pavimentazione stradale, siano utilizzate miscele bituminose confezionate con fresato proveniente dalla demolizione di vecchie pavimentazioni ed emulsione bituminosa ad una temperatura di lavorazione e posa in opera prossima a quella ambientale, tipicamente estiva con esposizione diretta alla luce solare.

La miscela da comporre e compattare in opera presenta un contenuto significativo di liquidi derivanti dalla frazione acquosa dell'emulsione bituminosa, dall'acqua di raffreddamento delle frese nel processo di demolizione, dall'acqua eventualmente compresa nella boiaccia cementizia che costituisce elemento terzo nella formulazione finale degli impasti. L'acqua costituisce un fattore chiave in quanto elemento regolatore della lavorabilità, dei meccanismi di rottura dell'emulsione, del meccanismo di presa ed indurimento della frazione cementizia, nei tempi di apertura al traffico. La intrinseca impermeabilità all'acqua ed all'aria degli strati bituminosi condiziona i tragitti ed i tempi d'evacuazione dell'acqua dalla gli strati riciclati e, conseguentemente, condiziona i tempi di sviluppo di determinate resistenze meccaniche, ovvero i tempi di apertura parziale o definitiva al traffico.

Dunque acqua, tempo ed energia di compattazione sono fattori cruciali da considerare per l'analisi delle prestazioni dell'elemento legante fondamentale costituito bitume contenuto nell'emulsione, coadiuvato, soprattutto nelle prime settimane, dal cemento aggiunto (1+2 % rispetto al peso del fresato).

L'analisi delle prestazioni di un conglomerato riciclato a freddo scaturisce sovente dalla risultanza di prelievi di carote a tempi stabiliti. L'elemento discriminante per il giudizio della qualità dell'opera è generalmente la resistenza a trazione indiretta.

Ebbene, l'offerta di emulsioni bituminose per riciclaggio a freddo è diversificata e si basa sull'utilizzo di emulsioni prodotte da bitume tradizionale, di emulsioni prodotte da bitume tradizionale con aggiunta di lattice o di emulsioni prodotte da bitumi modificati con polimeri elastomeri. La resistenza trazione indiretta è di per sé in grado di evidenziare il contributo specifico di ciascun legante? Le condizioni di prelievo dei campioni, tempi, modi e ubicazione, sono importanti per la valutazione della effettiva resistenza degli impasti.

L'apertura al traffico in assenza degli strati superficiali della pavimentazione costituisce una ulteriore azione di compattazione delle miscele riciclate a freddo? Si è in grado di riprodurre ed interpretare in laboratorio questa condizione?

Si è proceduto pertanto all'allestimento di una indagine sperimentale sottoponendo a prova miscele bituminose riciclate a freddo impiegando tre diverse emulsioni e estendendo il tradizionale campo di indagine a prove di resistenza a fatica, fondamentali per quantificare la vita utile delle sovrastrutture stradali.

In particolare è stato svolto uno studio per valutare le prestazioni di conglomerati bituminosi riciclati a freddo tenendo conto della maturazione, tramite stagionatura in forno per 14 giorni a temperatura costante pari a 40°C. Si è inoltre valutato l'effetto della postcompattazione (che favorisce l'espulsione dell'acqua e un aumento dell'addensamento) analoga all'apertura al traffico della strada, realizzando in laboratorio una ulteriore compattazione sugli stessi campioni stagionati in forno per 14 giorni a 40°C. I materiali sono stati sottoposti a prove di trazione indiretta e di fatica. Lo studio è stato svolto per quattro differenti miscele caratterizzate dalla stessa curva granulometrica e dall'utilizzo di tre differenti emulsioni prodotte dalla Valli Zabban, di cui una impiegata in due dosaggi differenti.

2. MATERIALI

2.1 Emulsioni bituminose

I leganti impiegati nel confezionamento delle miscele di conglomerato riciclato a freddo sono emulsioni bituminose sovrastabilizzate specifiche per il riciclaggio a freddo del fresato stradale, in accordo con le prescrizioni del Capitolato Speciale d'Appalto A.N.A.S. del 2004: "Manutenzione e costruzione delle pavimentazioni – Norme tecniche d'appalto prestazionali".

In particolare sono state impiegate tre differenti emulsioni Rigeval prodotti dalla Valli Zabban, le cui caratteristiche chimico-fisiche sono sintetizzate in tabella 1:

- RIGEVAL MC – Emulsione di bitume distillato;
- RIGEVAL CM – Emulsione di bitume modificato SBS;
- RIGEVAL LX – Emulsione di bitume distillato + lattice.

2.2 Fresato

L'aggregato riciclato impiegato per il confezionamento delle miscele di prova proviene da cumulo di materiale stoccato dopo la fresatura di strati legati a bitume di pavimentazione autostradale (tabella 2), a sua volta prevagliato e pervenuto in laboratorio in sacchi con materiale di pezzatura 0/8 mm (tabella 3) e 8/30 mm (tabella 4).

Il materiale è stato assortito secondo la curva rappresentata Figura 1, rientrante nel fuso di capitolato ANAS. Le analisi granulometriche sono state condotte rappresentando la cosiddetta "curva nera" unitamente alla cosiddetta "curva bianca", rispettivamente relative alla distribuzione granulometrica del fresato tal quale e del residuo dell'estrazione del bitume residuo nello stesso fresato. Le caratteristiche del bitume estratto dal fresato sono riportate in tabella 5.

Tabella 1. Caratteristiche chimico-fisiche delle emulsioni.

			RIGEVAL MC Bitume distillato	RIGEVAL CM Bitume modificato con SBS	RIGEVAL LX Bitume distillato con lattice
Caratteristiche					
Grado di acidità	EN12850	[pH]	3.04	3.08	2.66
Omogeneità 630 micron	pr. int.	[%]	Assente	assente	assente
Legante	EN1431	[%]	60.4	60.02	60.5
Demulsività	ASTMD244	[%]	0	0	0
IREC	EN13075	[gr]	188	182	164
Viscosità Brookfield a 25°C	ASTM4401	[mPas]	88	74	66
Caratteristiche residuo					
Penetrazione	EN1426	[dmm]	54	52	52
Punto di rammollimento	EN1427	[°C]	48.6	70.9	60.4
Viscosità dinamica 100°C	EN13302	[Pas]	4.7	16	9.0
Viscosità dinamica 135°C	EN13302	[Pas]	0.50	1.38	0.87
Viscosità dinamica 160°C	EN13302	[Pas]	0.18	0.44	0.29
Viscosità dinamica 180°C	EN13302	[Pas]	0.09	0.22	0.15
Fraass	EN12593	[°C]	12	19	15
R.E. a 25°C	pr. int.	[%]	2	77	13
Analisi Laboratorio Centrale Valli-Zabban - Bologna, 30 Gennaio 2006					

Tabella 2. Analisi granulometrica del fresato (pezzatura 0-8mm).

Crivelli e Setacci UNI			Passante	Passante
		Ø mm	% nero	% bianco
Crivello	40	40	100,0	100,0
Crivello	30	30	100,0	100,0
Crivello	25	25	100,0	100,0
Crivello	20	20	100,0	100,0
Crivello	15	15	100,0	100,0
Crivello	10	10	99,7	99,8
Crivello	5	5	63,7	73,9
Setaccio	2	2	28,4	48,6
Setaccio	0,42	0,42	1,1	18,3
Setaccio	0,18	0,18	0,3	11,9
Setaccio	0,075	0,075	0,2	8,7

Campione **Fresato 0/8 mm**

Luogo di prelievo **Impianto Pavimental Zola Predona - cumulo di stoccaggio fresatura a tutto spessore**

Data prelievo **31-01-06**

Bitume sul peso degli inerti (UNI EN12697-1 B.1.5) 5,11 %

Analisi Granulometrica (UNI EN12697-2)

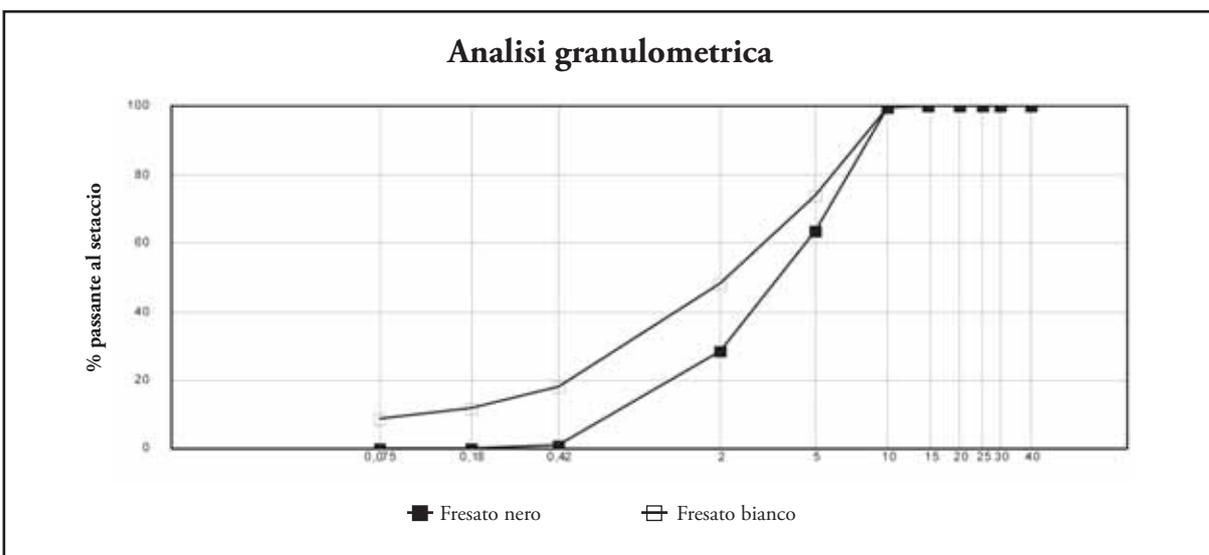


Tabella 3. Analisi granulometrica del fresato (pezzatura 8-30mm).

Crivelli e Setacci UNI		Passante	Passante
	Ø mm	% nero	% bianco
Crivello	40	100,0	100,0
Crivello	30	100,0	100,0
Crivello	25	95,7	99,0
Crivello	20	82,9	96,4
Crivello	15	64,1	93,6
Crivello	10	30,3	63,4
Crivello	5	4,7	32,8
Setaccio	2	1,5	22,0
Setaccio	0,42	0,5	11,3
Setaccio	0,18	0,1	7,2
Setaccio	0,075	0,0	4,9

Campione **Fresato 8/30 mm**

Luogo di prelievo **Impianto Pavimental Zola Predona - cumulo di stoccaggio fresatura a tutto spessore**

Data prelievo **31-01-06**

Bitume sul peso degli inerti (UNI EN12697-1 B.1.5) 3.88 %

Analisi Granulometrica (UNI EN12697-2)

Analisi granulometrica

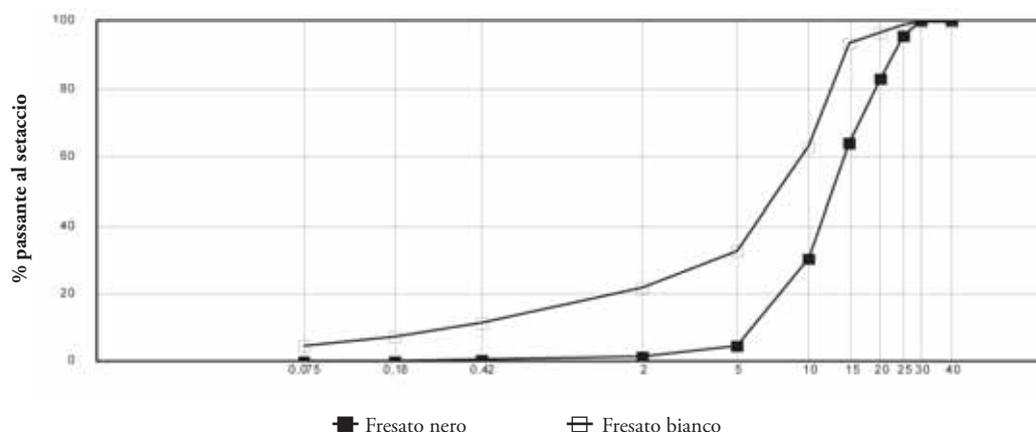


Tabella 4: Risultati dell'analisi del bitume estratto dal fresato.

Prove	Saggio n. 1	Saggio n. 2
Penetrazione @ 25°C (dmm)	14	10
Punto di rammollimento (°C)	80.0	74.2
Viscosità @ 60°C (Pa•s)	18200	24300
Viscosità @ 100°C (Pa•s)	43	50
Viscosità @135°C (Pa•s)	2.01	2.71
Viscosità @160°C (Pa•s)	0.50	0.75
Viscosità @180°C (Pa•s)	0.22 0.38	
Punto di rottura Fraass (°C)	-1	-1
Contenuto di insolubili n-eptano	27.1%	30.3%

2.3 Cemento e filler

Il cemento impiegato nelle miscele è cemento pozzolanico di classe di resistenza 325 conforme alle prescrizioni del Capitolato Speciale d'Appalto A.N.A.S. 2004: "Manutenzione e costruzione delle pavimentazioni – Norme tecniche d'appalto prestazionali". Il filler d'integrazione è costituito da polvere di carbonato di calcio passante interamente al setaccio 200 della serie ASTM. L'aggiunta di filler all'impasto è stata fatta allo scopo di correggere la parte fine della curva granulometrica del fresato tal quale e renderla così idonea per le caratteristiche di addensamento richieste al conglomerato.

3. PROGETTO DELLE MISCELE

Sono state confezionate 4 differenti miscele, tutte costituite esclusivamente da fresato, caratterizzate dalla stessa curva granulometrica "nera" e ciascuna legata con le seguenti emulsioni bituminose:

- RIGEVAL MC: 4.0% sul peso di fresato asciutto;
- RIGEVAL LX: 4.0% sul peso di fresato asciutto;
- RIGEVAL CM: 4.0% sul peso di fresato asciutto;
- RIGEVAL CM: 4.6% sul peso di fresato asciutto.

La curva granulometrica dell'aggregato, costituita interamente da fresato ed integrata da filler e cemento, è riportata in tabella 5. Tenendo conto della percentuale di acqua aggiunta nella fase di preparazione delle miscele (1,5% sul peso di fresato) e dell'emulsione (% rispetto al peso di fresato), la composizione dei quattro impasti è sintetizzata in tabella 6.

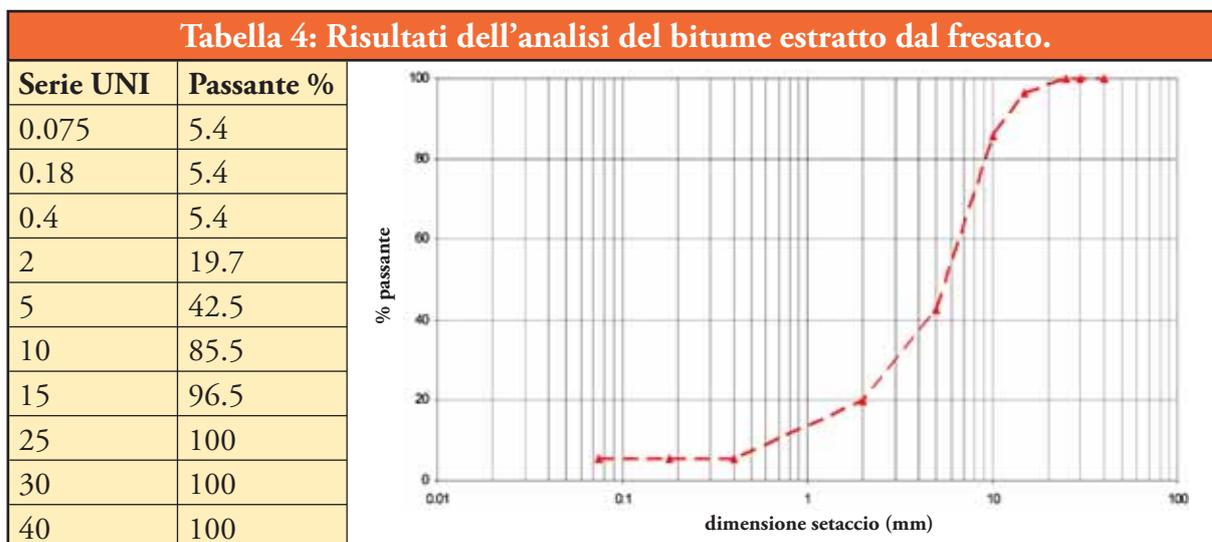


Tabella 4: Risultati dell'analisi del bitume estratto dal fresato.

Ingrediente	Tipo emulsione	Impasto 1	Impasto 2	Impasto 3	Impasto 4
Fresato 0/8 mm Pavimental		50	50	50	50
Fresato 8/30 mm Pavimental		45	45	45	45
Filler		3	3	3	3
Acqua		1,5	1,5	1,5	1,5
Cemento 325		2	2	2	2
Emulsione RIGEVAL CM	PmB		4	4,6	
Emulsione RIGEVAL MC	Bitume	4			
Emulsione RIGEVAL LX	Lattice	4			

3.1 Sequenza di preparazione delle miscele

La preparazione del conglomerato riciclato a freddo avviene miscelando dapprima il cemento con l'1.0% d'acqua al fine di realizzare una boiaccia. Successivamente l'emulsione bituminosa e la boiaccia, preventivamente miscelate insieme, vengono aggiunte al fresato, nel quale sono stati premiscelati il filler ed il restante 0.5% d'acqua.

3.2 Compattazione e stagionatura dei campioni

I campioni delle quattro differenti miscele, nel quantitativo iniziale di 4500 grammi di conglomerato, vengono compattati per mezzo della pressa a taglio giratoria imponendo una pressione di 600 kPa, angolo di rotazione di 1.25° e un numero di giri pari a 180, con velocità di rotazione pari a 30 giri al minuto. I campioni hanno diametro pari a 150 mm e altezze comprese tra 110 mm e 118 mm, in accordo con il Capitolato Speciale d'Appalto A.N.A.S 2004.

I campioni sono stati pesati al momento dell'estrusione per valutare la perdita d'acqua durante la compattazione e successivamente posti in forno, subito dopo l'estrusione, a temperatura costante, pari a 40°C , per 14 giorni.

Una volta estratti dal forno sono stati nuovamente pesati per valutare la perdita di umidità per asciugatura/evaporazione e per idratazione del cemento (tabella 7)

Tabella 7. Pesì e altezze dei provini (per prova di trazione indiretta).

Denominazione campione	Peso iniziale (kg)	Peso all'estrusione (kg)	Peso dopo 14 gg (kg)	Altezza finale (mm)
MC1	4.50	4.49	4.38	115.0
MC2	4.50	4.49	4.37	115.0
MC3	4.50	4.48	4.37	116.2
CM1	4.50	4.48	4.35	114.2
CM2	4.50	4.48	4.35	113.6
CM3	4.50	4.49	4.36	114.2
LX1	4.50	4.41	4.28	109.7
LX2	4.50	4.42	4.28	110.1
LX3	4.50	4.44	4.29	110.8
CM-4.6 1	4.50	4.48	4.37	113.7
CM-4.6 2	4.50	4.47	4.37	113.5
CM-4.6 3	4.50	4.49	4.37	114.0

Una serie di campioni (da sottoporre a prove di fatica) è stata ricompattata dopo stagionatura in forno per 14 giorni a 40°C , imponendo una compattazione di ulteriori 80 giri della pressa giratoria, sempre con una pressione di 600 kPa, angolo di rotazione pari a 1.25° e velocità di rotazione di 30 giri al minuto. In tabella 8 sono riportati i pesi misurati e le altezze dopo i 180 giri e finali, dopo gli ulteriori 80 giri.

Sui campioni delle quattro diverse miscele sono state eseguite le seguenti prove:

- prove di trazione indiretta a 25°C dopo stagionatura in forno per 14 giorni alla temperatura di 40°C .
- prove di fatica a 25°C dopo stagionatura in forno per 14 giorni a 40°C e ulteriore compattazione del materiale con 80 giri di pressa giratoria.

Tabella 8. Pesì e altezze dei provini ricompattati (per prove di fatica).

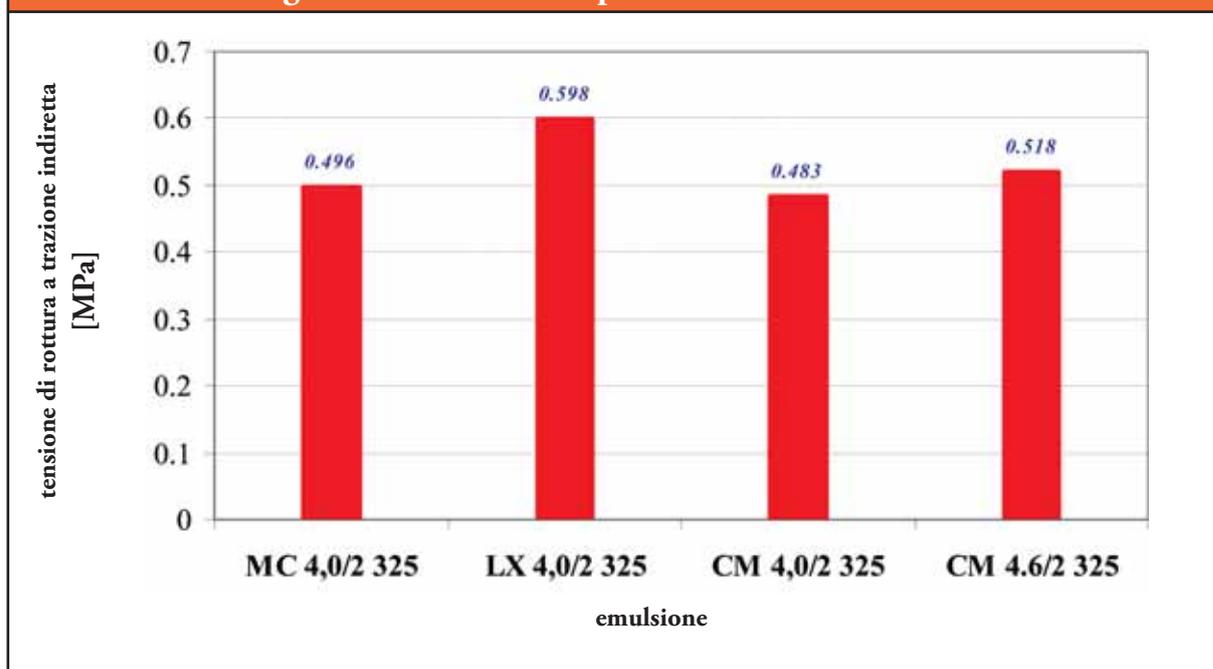
Denominazione campione	Peso iniziale	Peso all'estrusione	Peso dopo 14 gg	Altezza finale	Altezza dopo nuova compattazione
CM4	4.50	4.49	4.35	114.8	113.1
CM5	4.50	4.47	4.34	113.4	111.6
CM6	4.50	4.48	4.35	114.5	112.7
LX4	4.50	4.48	4.32	113.6	112.2
LX5	4.50	4.47	4.32	112.7	111.3
LX6	4.50	4.49	4.33	113.3	112.3
MC4	4.50	4.47	4.34	112.5	110.7
MC5	4.50	4.48	4.33	112.9	111.4
MC6	4.50	4.48	4.34	112.7	111.1
CM-4.6 4	4.50	4.49	4.41	117.9	115.6
CM-4.6 5	4.50	4.49	4.41	118.0	116.1
CM-4.6 6	4.50	4.49	4.41	118.5	115.6

4. RISULTATI DELLE PROVE DI TRAZIONE INDIRETTA

Le prove di trazione indiretta sono state eseguite alla temperatura di 25°C, dopo condizionamento di 4 ore in cella climatica, sui campioni stagionati in forno a 40°C per 14 giorni. Sul campione è stata eseguita la prova in controllo di spostamento applicando una velocità di avanzamento della linea di carico di 50 mm/min.

La miscela che presenta maggiore carico di rottura a trazione indiretta risulta essere quella confezionata con emulsione LX, mentre per l'emulsione CM un valore maggiore di carico di rottura è fornito dalla miscela confezionata con una percentuale più alta (4,6% anziché 4,0%). In particolare l'aumento dello 0,6% di emulsione nella miscela porta ad un corrispondente aumento del carico di rottura a trazione indiretta del 7,25%.

Figura 1. Risultati delle prove di trazione indiretta.



5. RISULTATI DELLE PROVE DI FATICA

Le prove di fatica sono state eseguite alla temperatura di 25°C, dopo condizionamento di 4 ore in cella climatica, sui campioni stagionati in forno a 40°C per 14 giorni e ricompattati con ulteriori 80 giri nella pressa giratoria.

Sul campione è stato applicato un carico pari al 50% del carico di rottura ottenuto dalle prove di trazione indiretta (tabella 9). La legge di carico è costituita dal citato carico, impulsivo, applicato con una frequenza di 1 Hz e con rest period costante pari al 10% del carico a rottura precedentemente determinato (Figura 2).

I numeri di cicli che portano a rottura per le diverse miscele è quantificato nel numero di cicli N^* in corrispondenza del quale le deformazioni ϵ evolvono con maggiore rapidità (punto di flesso della curva N/ϵ , tabella 10). I risultati delle prove di fatica sono riportati nelle figure 3, 4, 5, 6.

Tabella 9. Valori del carico applicato per le prove di fatica.

Campione	Carico (MPa)
Miscela 1	MC4,0 0.248
Miscela 2	LX 4,0 0.299
Miscela 3	CM 4,0 0.241
Miscela 4	CM 4,6 0.259

Figura 2. Modalità di carico della prova di fatica.

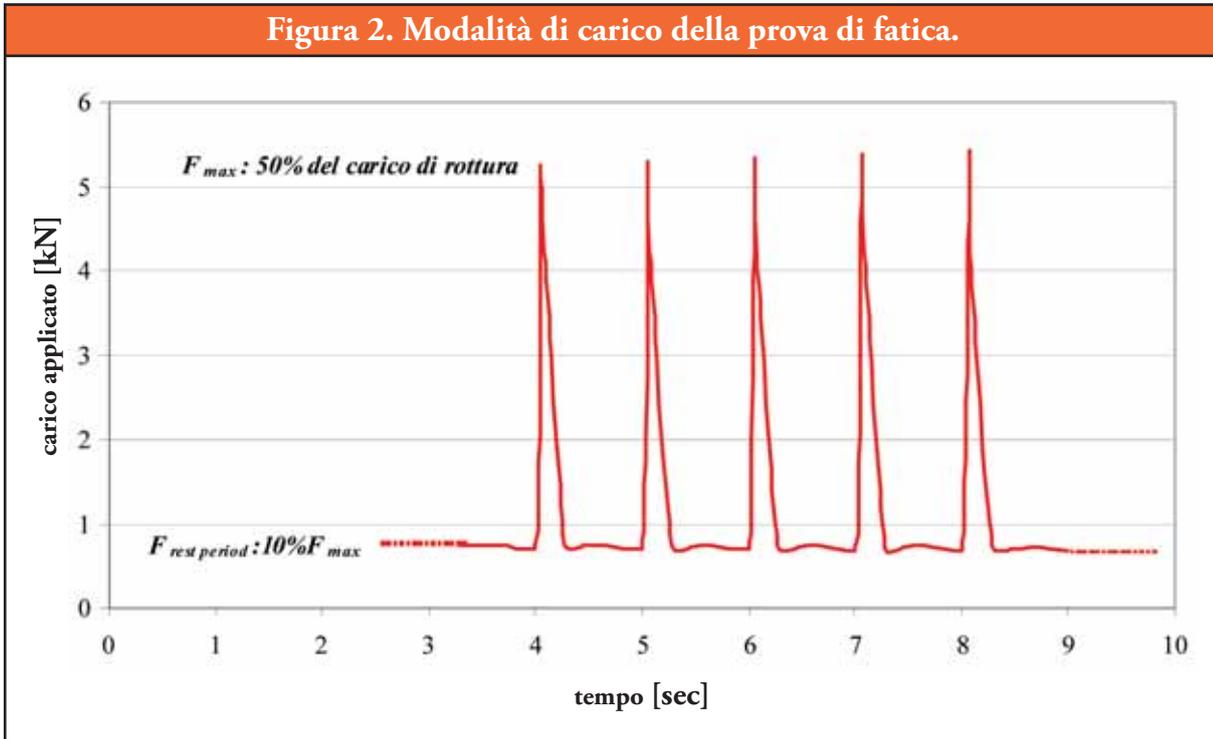


Figura 3. Risultato di una prova a fatica per la miscela con emulsione Rigeval MC al 4%.

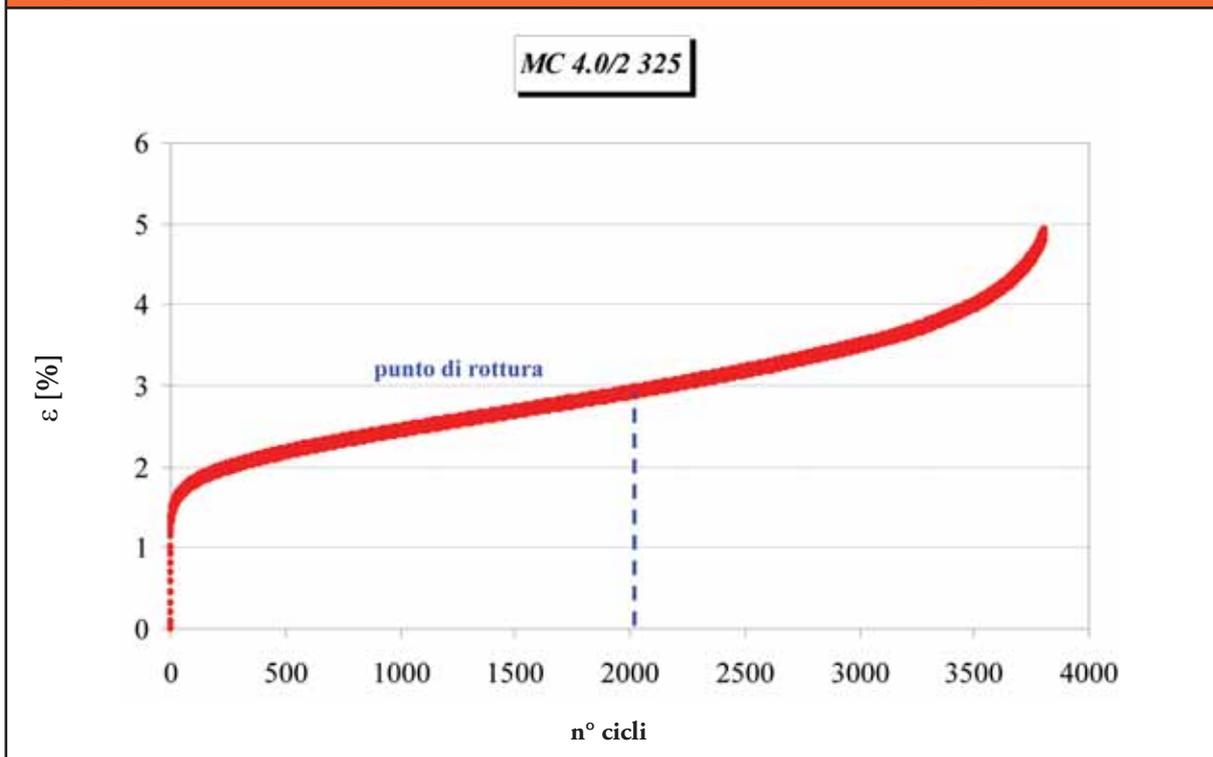


Figura 4. Risultato di una prova a fatica per la miscela con emulsione Rigeval LX al 4%.

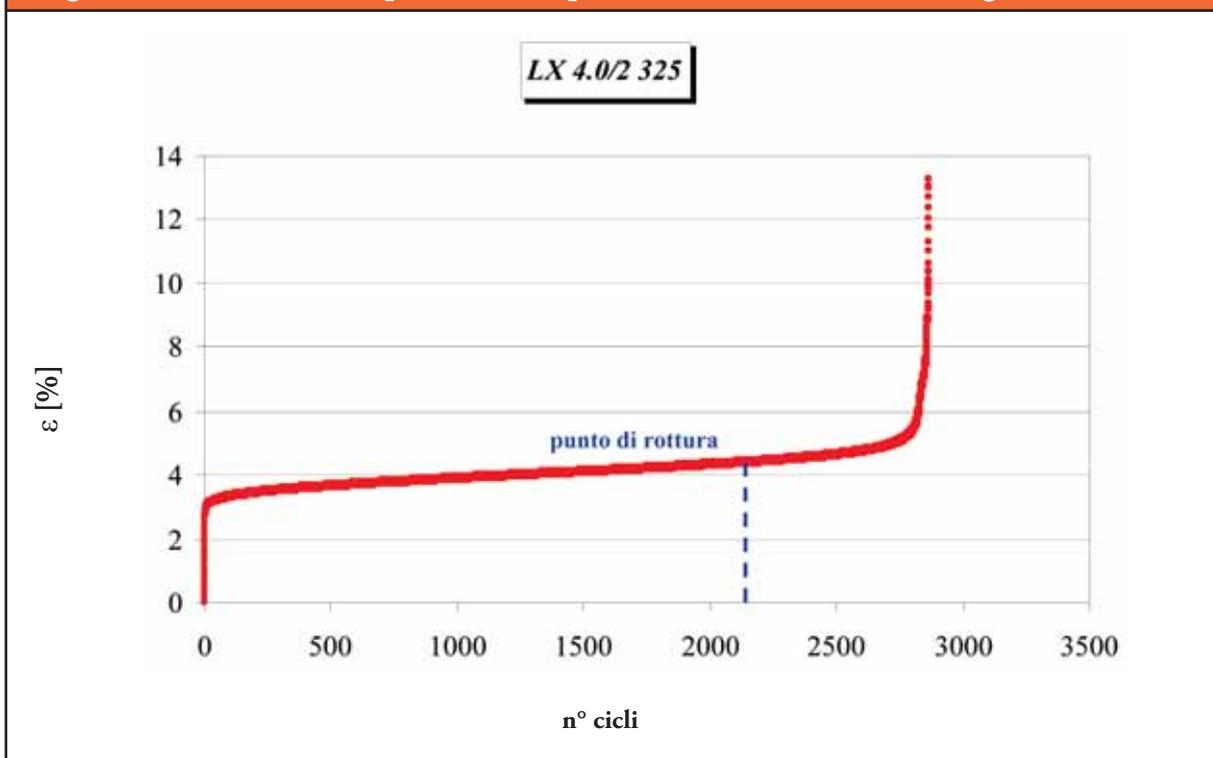


Figura 5. Risultato di una prova a fatica per la miscela con emulsione Rigeval CM al 4%.

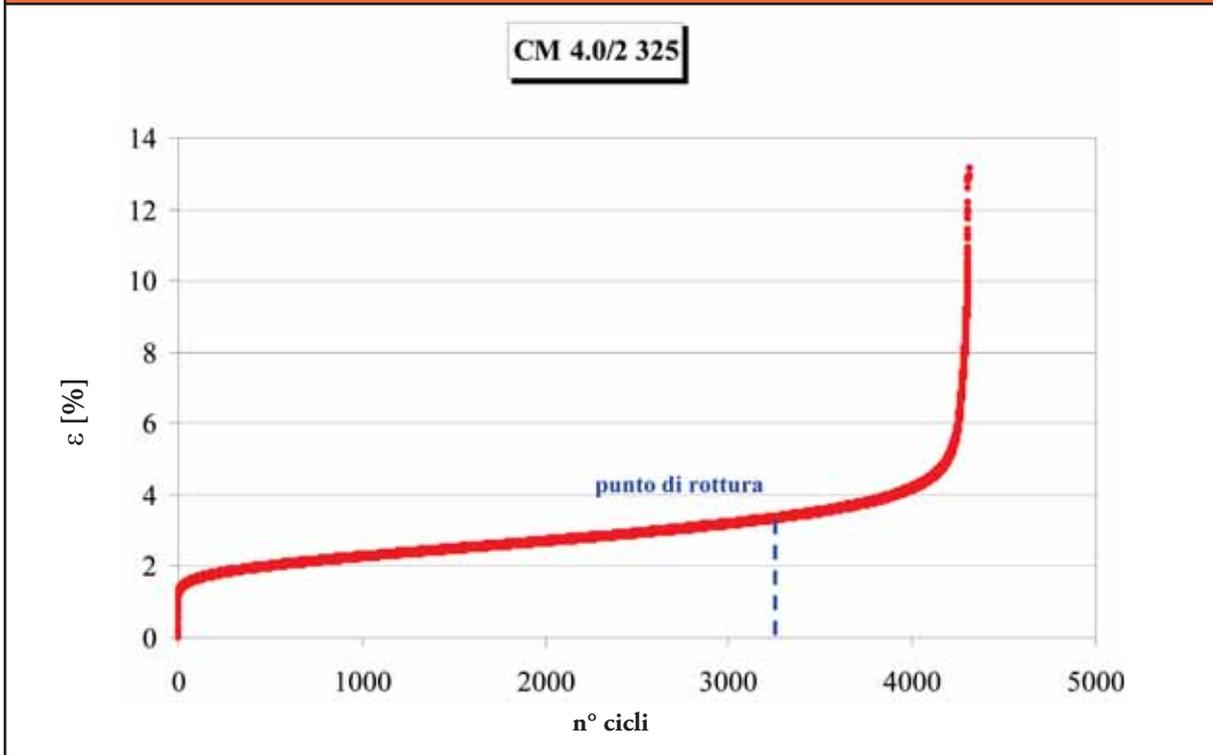


Figura 6. Risultato di una prova a fatica per la miscela con emulsione Rigeval CM al 4.6%.

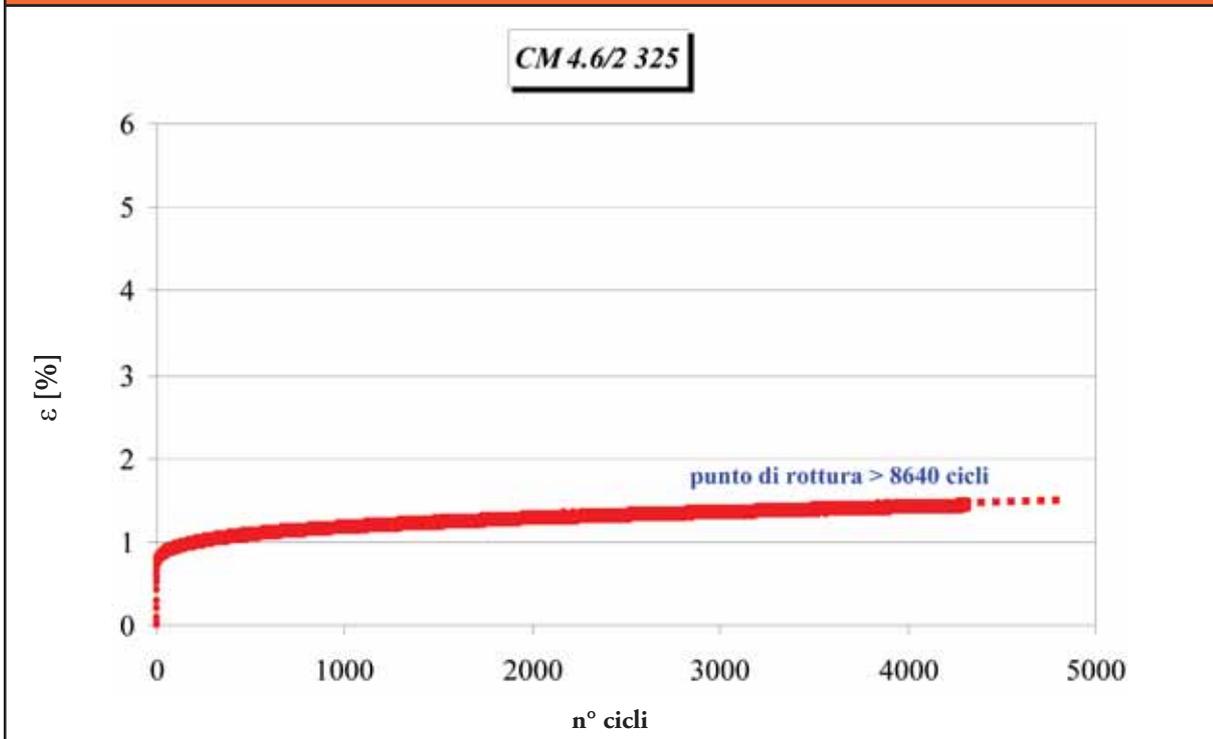


Tabella 10. Numero di cicli a rottura per fatica.	
Campione	N* (numero di cicli a rottura)
MC 4,0	2000
LX 4,0	2103
CM 4,0	3333
CM 4,6	> 8640

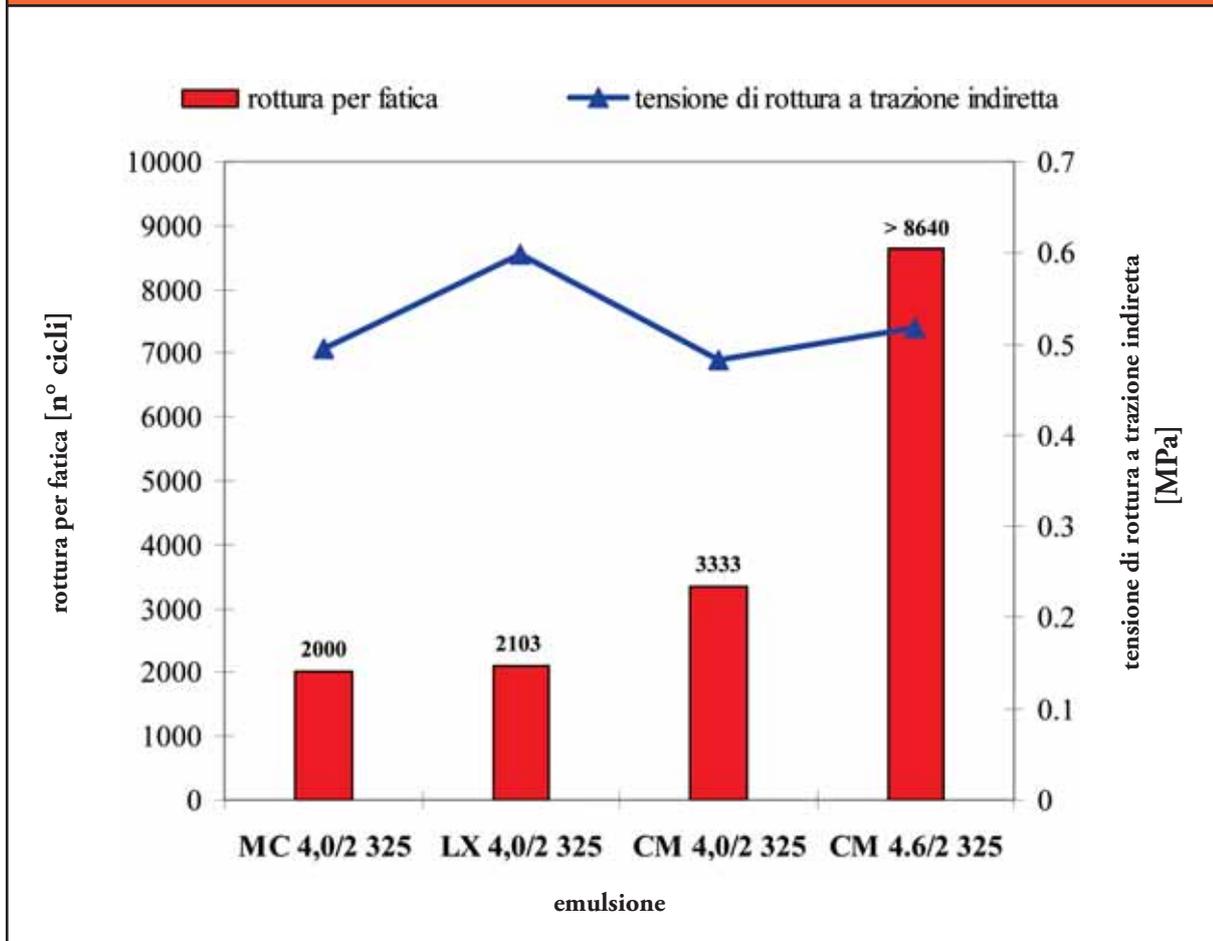
6. CONCLUSIONI

I risultati delle prove di trazione indiretta mostrano come le emulsioni bituminose impiegate nella sperimentazione risultino tutte in grado di conferire agli impasti la necessaria resistenza richiesta a sovrastrutture stradali chiamate ad assolvere ad importanti carichi veicolari. L'emulsione Rigeval LX, realizzata con bitume tradizionale e lattice, raggiunge valori di resistenza a trazione più elevati, circa 0.6 MPa. La differenziazione in termini di caratteristiche meccaniche, operata tramite la resistenza a trazione indiretta, non trova analogo riscontro nella caratterizzazione prestazionale operata tramite le prove a fatica; di maggiore interesse infatti è la quantificazione dell'apporto che l'emulsione sovrastabilizzata Rigeval CM conferisce a miscele riciclate a freddo in termini di resistenza a fatica (figura 7). È proprio attraverso l'analisi della risposta dei conglomerati alle sollecitazioni cicliche, prevalenti e critiche nell'esercizio autostradale, che si evidenzia il contributo del bitume modificato con polimeri elastomeri costituente l'emulsione CM.

Già con il dosaggio del 4.0% ed a maggior ragione con il dosaggio del 4.6%, l'emulsione Rigeval CM evidenzia una resistenza a fatica superiore alle emulsioni tradizionali, con dati che ne riconoscono come ingrediente essenziale per elevare le prestazioni in opera degli strati delle sovrastrutture riciclate a freddo in campo autostradale.

L'approccio definito nell'ambito della presente sperimentazione ha consentito di discriminare le prestazioni delle miscele proprio attraverso il contributo specifico delle emulsioni bituminose, controllando tutti gli altri fattori che svolgono in ogni caso un ruolo attivo nel processo del riciclaggio a freddo delle pavimentazioni stradali.

Figura 7. Quadro di sintesi dei risultati della sperimentazione. Confronto tra i valori di resistenza a trazione indiretta e resistenza a fatica delle diverse miscele in studio: miglior valore di resistenza a T.I LX 4,0/2 325, miglior valore di resistenza a fatica CM 4,6/2 325



L'accorgimento di aver sottoposto a nuova compattazione le miscele già in uno stato di avanzata maturazione, ha permesso di tener conto, nell'analisi finale anche dell'azione del traffico al quale gli strati riciclati a freddo sono sottoposti prima del completamento della sovrastruttura di progetto. Lo studio del riciclaggio a freddo passa dunque dall'analisi delle condizioni operative ed ambientali nel quale il riciclaggio stesso si compie, note le quali il progettista è in grado di scegliere materiali e formulazioni per concepire sovrastrutture stradali di elevate prestazioni.

Il Responsabile Scientifico della Convenzione di Ricerca
 Prof. Ing. Antonio Montepara



Università degli Studi Parma
Dipartimento di Ingegneria Civile, dell'Ambiente e Territorio e Architettura

