



**STUDIO SPERIMENTALE
SUL COMPORTAMENTO A FATICA
DEI CONGLOMERATI BITUMINOSI OTTENUTI
CON LE TECNICHE DEL RICICLAGGIO
A FREDDO E A CALDO**

Eugenio Olmi

Valli Zabban S.p.A.

Via Danubio 10, 50011 Sesto Fiorentino (FI)

Tel.: +39 055 308646 – Fax: +39 055 300300

E-mail: eolmi@vallizabban.it

Gabriele Tebaldi

Dipartimento di Ingegneria Civile - Università degli Studi di Parma

Parco Area delle Scienze 181/A, 43100 Parma

Tel: +39 0521.905906 - Fax: +39.0521.905924

E-mail: gtebaldi@unipr.it

STUDIO SPERIMENTALE SUL COMPORTAMENTO A FATICA DEI CONGLOMERATI BITUMINOSI OTTENUTI CON LE TECNICHE DEL RICICLAGGIO A FREDDO E A CALDO

EUGENIO OLMI - Valli Zabban S.p.A.

GABRIELE TEBALDI – Dipartimento di Ingegneria Civile– Università di Parma

SOMMARIO

La difficoltà nel reperire materiale inerte, congiuntamente all'aumento dei costi relativi allo smaltimento dei materiali in discarica, ha indirizzato gli operatori del settore stradale verso il riutilizzo del materiale di risulta della demolizione delle pavimentazioni, ricorrendo alle tecniche cosiddette del riciclaggio a freddo e del riciclaggio a caldo; in entrambi i casi, come per i conglomerati bituminosi tradizionali, la qualità della miscela dipende dell'accuratezza del mix design; in particolare, è importante procedere ad una corretta caratterizzazione prestazionale del conglomerato che si realizza in modo da poter valutare correttamente, non solo la composizione della miscela, ma anche se la tecnica impiegata fornisce un risultato adeguato alle condizioni che si prevede si verificheranno in esercizio.

Questo lavoro, che fa parte di un più generale progetto di ricerca sull'impiego di materiali di riciclo nelle costruzioni stradali, affronta il problema della valutazione in laboratorio del comportamento a fatica dei conglomerati riciclati. L'indagine sperimentale è stata effettuata utilizzando il metodo dell'Indirect Tensile Fatigue Test (ITFT), recentemente proposta dal gruppo di ricerca del prof. Brown dell'Università di Nottingham e, per quanto riguarda i materiali, sono stati utilizzati conglomerati diversi, ottenuti col riciclaggio a freddo con emulsione modificata e cemento e col riciclaggio a caldo; infine per poter ottenere risultati più facilmente riconducibili alle prestazioni dei materiali posti in opera, i campioni utilizzati per le prove di laboratorio sono stati carotati direttamente da due diverse stese sperimentali.

Abstract

Because of the difficulties in finding aggregates, and the increasing costs in disposing waste material, many street-workers are likely to recycle the waste material of pavement demolition, using the co-called techniques of cold and hot recycling. In both cases and as it happens for bituminous mixes, the quality of the material depends on the accuracy of the mix design. In particular, it is important to find the right performance characteristics for the aggregate to be done, in order to evaluate correctly the mix composition and whether the technique used leads to a result proper to the supposed working conditions of the road.

This work is part of a more general research project about the usage of waste materials in road constructions. In particular, it faces the problem of evaluating in laboratory the fatigue behavior of recycled aggregates. The experimental survey provided the method of the Indirect Tensile Fatigue Test (ITFT), which has recently been proposed by the research team of Prof. Brown in the University of Nottingham. As far as the materials

are concerned, different aggregates were used, obtained cold-recycling with a modified emulsion and cement, and hot-recycling. Moreover, in order to have results the closest as possible to the performance of materials used in real constructions, the sample used for the laboratory tests, were cores extracted directly from two experimental embankments.

1. INTRODUZIONE

Il materiale di risulta delle pavimentazioni stradali, comunemente detto “fresato”, può essere riciclato nella produzione di nuovo conglomerato bituminoso facendo ricorso alle tecniche cosiddette “a caldo” e “a freddo”; in entrambi i casi si possono ottenere materiali di ottima qualità a patto di operare una corretta progettazione della miscela, come dovrebbe essere anche per i conglomerati tradizionali. Proprio in questa logica di corretta progettazione dei materiali si inserisce questa ricerca, nata da una collaborazione tra il Dipartimento di Ingegneria Civile dell’Università di Parma e la Valli-Zabban S.p.A. Il lavoro è consistito nel confezionare due conglomerati per strati di base, uno con la tecnica “a caldo” e l’altro con la tecnica a freddo, ipotizzando che dovessero essere impiegati per la realizzazione della pavimentazione di due strade provinciali; per questo motivo si è fatto ricorso ad un mix design basato sull’utilizzo di prove tradizionali (prove Marshall e a trazione indiretta) che per quanto possono risultare superate, risultano essere quelle la cui utilizzazione è compresa dalla maggior parte dei tecnici delle amministrazioni locali. Con i materiali così studiati sono state realizzate due diverse stese sperimentali da cui sono state prelevate delle carote poi impiegate per studiare il comportamento a fatica dei materiali ottenuti, ovvero si è voluto verificare il metodo di progetto utilizzato. L’obiettivo della ricerca è mostrare come un’avveduta progettazione, anche senza raggiungere i livelli ottenibili con una vera e propria progettazione prestazionale, è comunque in grado di fornire buoni risultati.

2. MATERIALI E MISCELE

2.1. Il “fresato”

crivelli e setacci	%in peso di passante	
	tal quale	spogliato del legante
crivello UNI 40 mm	100	100
crivello UNI 30 mm	97.65	100
crivello UNI 25 mm	95.08	100
crivello UNI 20 mm	93.53	99.38
crivello UNI 15 mm	88.92	-
crivello UNI 10 mm	78.54	95.05
crivello UNI 5 mm	51.67	71.62
setaccio UNI 2 mm	26.28	51.90
setaccio UNI 0.42 mm	4.84	19.24
setaccio UNI 0.18 mm	1.29	12.56
setaccio UNI 0.075 mm	0.30	7.40

Tabella 1 – Analisi granulometrica del fresato

Entrambi i conglomerati oggetto della ricerca sono stati confezionati in impianto utilizzando il medesimo inerte, proveniente dalla fresatura a tutto spessore di una pavimentazione, da cui si è preventivamente eliminato tutto il trattenuto al crivello 40/UNI2334, costituito essenzialmente da inerti di varie dimensioni aggregati dal bitume in piccoli blocchi; il materiale così ottenuto è stato caratterizzato determinando le caratteristiche del bitume e le granulometrie tal quale e spogliato del legante.

La matrice bituminosa del fresato aveva le seguenti caratteristiche:

penetrazione a 25°C	60 dmm
penetrazione a 25°C	6 dmm
punto di rammollimento	94.2°C
viscosità dinamica a 135°C	11.2 Pa·s
punto di rottura Fraaß	-1°C
insolubili in N-Eptano	34.9%

tali dati descrivono un materiale che ha subito un notevole decadimento, infatti risulta estremamente indurito (penetrazione a 25°C pari a 6 dmm) e notevolmente invecchiato (34.9% di asfalteni e viscosità a 135°C pari a 11.2 Pa·s).

2.2. Il bitume

Per compensare l'elevata rigidità e viscosità del bitume esausto contenuto nel fresato, si è scelto di utilizzare, tal quale o in emulsione, un bitume modificato che abbia marcate caratteristiche elastiche ed elevata coesione, in grado di garantire un livello minimo accettabile delle prestazioni del legante.

Il bitume utilizzato nella lavorazione a caldo è un bitume modificato con polimeri termoplastici elastomeri SBS, con denominazione commerciale Drenoal, ed ha le seguenti caratteristiche:

penetrazione a 25°C	60 dmm
punto di rammollimento	80°C
viscosità dinamica a 160°C	0.6 Pa·s
punto di rottura Fraaß	-21°C
ritorno elastico a 25°C	92%
penetrazione a 25°C dopo RTFOT	42 dmm

Nella lavorazione a freddo è stata utilizzata un'emulsione cationica di bitume modificato SBS (sostanzialmente analogo al Drenoal) a lenta rottura, il cui nome commerciale è Rigeval CM, con le seguenti caratteristiche:

contenuto di bitume Pmb50-70/60	60%
demulsività	0%
omogeneità	0.1%
sedimentazione a 5 gg.	8%
viscosità Engler a 20°C	8.0°E
compatibilità col cemento	>20 min.

Il bitume impiegato, tal quale o in emulsione, è stato scelto in quanto ha caratteristiche di elasticità e coesione tali da garantire, in caso di decadimento delle prestazioni causate dal bitume esausto contenuto nel fresato, il mantenimento di un livello minimo accettabile.

2.3. Il riciclato a caldo

Come già anticipato, in funzione della curva bianca del fresato si è scelto per questo conglomerato una curva granulometrica 0/30, composta come descritto in Tabella 1, con

una percentuale di bitume complessiva (bitume esausto più bitume modificato aggiunto) pari al 5.47% sul peso degli inerti. In questo caso, essendo la miscela progettata seguendo il Metodo Marshall, il controllo delle caratteristiche meccaniche della miscela è stato effettuato con prove di trazione indiretta a 10, 25, e 40 C, inoltre vista l'alta percentuale di bitume che complessivamente viene ad essere impiegata, si è voluto effettuare una prova Marshall a 60 C, determinando stabilità e scorrimento, per verificare che il comportamento della miscela sia accettabile anche di fronte ad elevate temperature in fase d'esercizio.

crivelli e setacci	%in peso di passante
crivello UNI 40 mm	100
crivello UNI 30 mm	100
crivello UNI 25 mm	94.09
crivello UNI 20 mm	81.10
crivello UNI 15 mm	68.97
crivello UNI 10 mm	46.21
crivello UNI 5 mm	31.42
setaccio UNI 2 mm	24.48
setaccio UNI 0.42 mm	11.63
setaccio UNI 0.18 mm	7.65
setaccio UNI 0.075 mm	5.24

Tabella 2 – Granulometria del conglomerato con fresato riciclato a caldo

Prove Marshall a 60°C	
stabilità	18.60 kN
scorrimento	4.28 mm
Compressione diametrale a 10°C	
resistenza a trazione indiretta	3.32 N/mm ²
deformazione unitaria a compressione	0.0177
deformazione unitaria a trazione	0.0017
Compressione diametrale a 25°C	
resistenza a trazione indiretta	1.26 N/mm ²
deformazione unitaria a compressione	0.0225
deformazione unitaria a trazione	0.0031
Compressione diametrale a 25°C	
resistenza a trazione indiretta	0.45 N/mm ²
deformazione unitaria a compressione	0.0133
deformazione unitaria a trazione	0.0024

Tabella 3 – Caratteristiche meccaniche del conglomerato con fresato riciclato a caldo

I risultati delle prove in Tabella 3 mostrano un comportamento ampiamente soddisfacente della miscela progettata, tale da poter ipotizzare un corretto comportamento del materiale una volta posto in opera.

2.4. Il riciclato a freddo

Per questo conglomerato, viste le caratteristiche del fresato, è stata disegnata la curva granulometrica riportata in Tabella 4

Per definire il quantitativo di emulsione da impiegare nel confezionamento, si è studiata la variazione delle caratteristiche meccaniche del conglomerato al variare del contenuto di legante; si è valutato anche l'evoluzione nel tempo di tali caratteristiche, in modo da valutare anche l'effetto del cemento che è stato scelto per regolare la rottura dell'emulsione (1.5% sul peso del fresato di cemento pozzolanico R325); per tali scopi sono state quindi effettuate prove di stabilità Marshall a uno, tre e sette giorni, prove di trazione indiretta, alle temperature di 10°, 25° e 40°C, a sette e quattordici giorni ed infine una prova di stabilità dopo immersione a quattordici giorni.

crivelli e setacci	%in peso di passante
crivello UNI 40 mm	100
crivello UNI 30 mm	100
crivello UNI 25 mm	100
crivello UNI 20 mm	100
crivello UNI 15 mm	98.82
crivello UNI 10 mm	93.37
crivello UNI 5 mm	69.15
setaccio UNI 2 mm	50.08
setaccio UNI 0.42 mm	21.07
setaccio UNI 0.18 mm	11.67
setaccio UNI 0.075 mm	6.66

Tabella 4 – Granulometria del conglomerato con fresato riciclato a freddo

	quantitativo di emulsione		
	3,0 %	4,0 %	5,0 %
stabilità Marshall a 25°C			
a 1gg	21,10 kN	20,50 kN	22,40 kN
a 3gg	29,30 KN	27,90 kN	26,10 kN
a 7gg	29,30 kN	29,20 kN	26,10 kN
trazione indiretta			
7gg./10°C	1,09 N/mm ²	1,09 N/mm ²	1,17 N/mm ²
7gg./25°C	0,56 N/mm ²	0,58 N/mm ²	0,54 N/mm ²
7gg./40°C	0,22 N/mm ²	0,22 N/mm ²	0,23 N/mm ²
14gg./10°C	1,37 N/mm ²	1,29 N/mm ²	1,25. N/mm ²
14gg./25°C	0,66 N/mm ²	0,61 N/mm ²	0,60 N/mm ²
14gg./40°C	0,26 N/mm ²	0,26 N/mm ²	0,25 N/mm ²

Tabella 5 – Caratteristiche meccaniche del conglomerato con fresato riciclato a freddo al variare del quantitativo di emulsione

Alla luce dei risultati ottenuti, si è scelto di impiegare un dosaggio di emulsione pari al 3% sul peso del fresato, che equivale ad un contenuto totale di legante (bitume esausto più il legante modificato dell'emulsione) pari al 7.25% sul peso degli aggregati.

3. STUDIO DEL COMPORTAMENTO A FATICA CON L'ITFT

L'ITFT (Indirect Tensile Fatigue Test) è un test, messo a punto dai ricercatori dell'Università di Nottingham, per studiare il comportamento a fatica dei conglomerati bituminosi. La configurazione di prova è del tipo a trazione indiretta con carico applicato diametralmente ad un provino cilindrico, la legge di carico è di tipo impulsivo con un tempo di applicazione del carico di 120 ms. La particolarità di questa prova sta nel fatto che sono applicate tensioni elevate (500 e 600 kPa) su provini di piccole dimensioni (100 mm di diametro e 40 mm di spessore), il che permette di avere una rottura per fatica del materiale in tempi abbastanza brevi.

Per i campioni si è fatta la scelta di ricavarli da carote prelevate da stese sperimentali: se ne sono quindi realizzate due con i conglomerati con il fresato ed una con un conglomerato simile (con bitume Drenoval e con un'analogia curva granulometrica) ma senza fresato: questa terza miscela è stata confezionata per avere un riferimento nella valutazione delle prestazioni delle due contenenti fresato.

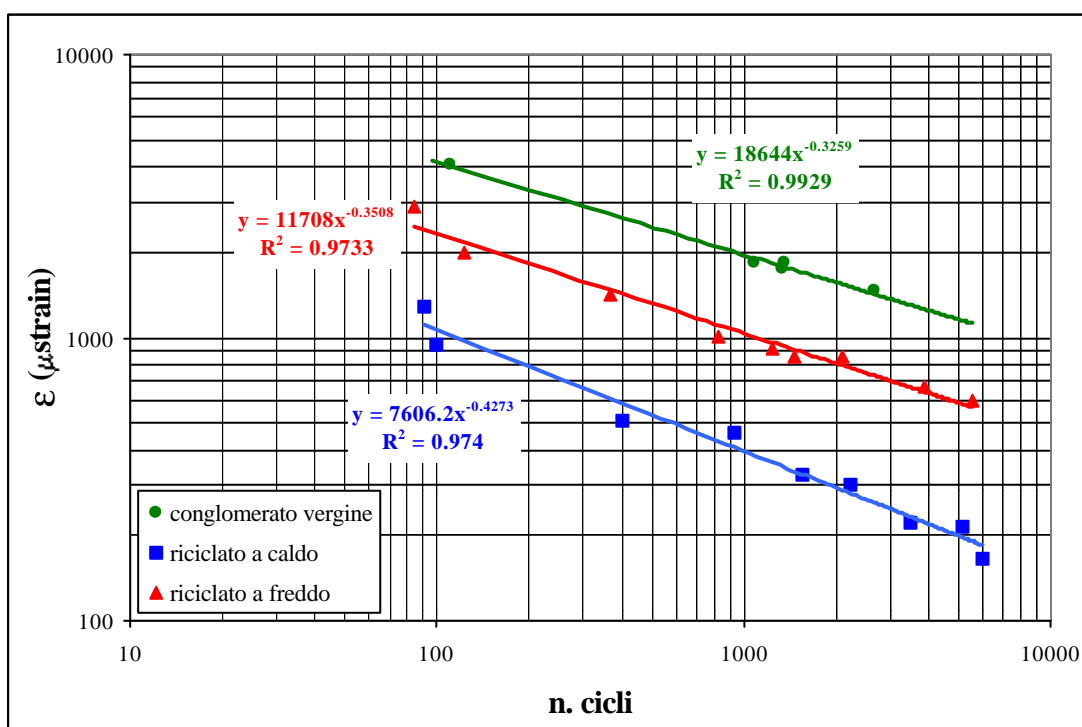


Figura 1 – Curve di fatica

Per i tre materiali sono state costruite le curve di fatica (Figura 1), da cui si evidenziano tre diversi comportamenti deformativi, cosa peraltro abbastanza prevedibile vista la sostanziale diversità esistente fra le tre miscele, quello che è invece interessante notare è il fatto che le tre rette sono sostanzialmente parallele tra loro (cosa che è ben evidenziata se si osservano i valori degli esponenti delle equazioni), particolare che evidenzia come i tre materiali manifestino un comportamento analogo in termini di resistenza alla fatica, ovvero se leggiamo i grafici valutando l'evoluzione del

comportamento dei materiali all'aumentare dei cicli di carico, notiamo come il decadimento delle prestazioni avvenga allo stesso modo.

Si può pertanto dichiarare che realizzando uno strato di base con uno dei tre materiali, con le opportune differenze di spessore dovute, si può ragionevolmente ipotizzare che la vita utile della pavimentazione, in termini di fatica sia la stessa.

4. CONCLUSIONI

Quest'indagine sperimentale è stata svolta in due fasi: nella prima sono state studiate in laboratorio le prestazioni delle singole miscele per definirne le composizioni, nella seconda fase sono state realizzate le stese sperimentali da cui si è prelevato il materiale per effettuare lo studio a fatica. La scelta di eseguire le prove di fatica sul materiale prelevato dalle stese sperimentali è stata fatta per valutare le prestazioni dei conglomerati contenenti fresato nelle esatte condizioni "post messa in opera".

Le due miscele hanno evidenziato caratteristiche meccaniche e di resistenza alla fatica tali da poter essere utilizzate in una qualsiasi strada provinciale; in particolare va rilevato come l'oculata scelta del legante ha permesso di ottenere per entrambi i conglomerati contenenti fresato un comportamento a fatica analogo ad un conglomerato vergine, quindi in grado di garantire, con un'adeguata scelta degli spessori della pavimentazione, un'adeguata durata della vita utile.

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] Rilem Report 17, "Bituminous Binder and Mixes", E & FN Spon 1998
- [2] Read J. M., Collop A. C., "Practical Fatigue Characterization of Bituminous Paving Mixtures", Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists Vol. 66 1996
- [3] ASTM STP1265, "Engineering Properties of Asphalt Mixtures and the Relationship to Their Performance", ASTM 1995
- [4] TRB Record 1436, "Asphalt Concrete Mix Materials, TRB 1994
- [5] TRB Record 1454, "Asphalt Concrete Mixture Design and Performance, TRB 1994