

Studio di miscele per strati di usura ecocompatibili ad elevate prestazioni

Study of sustainable high performance bituminous mixtures

GIACOMO CUCINIELLO, PIETRO LEANDRI, MASSIMO LOSA
Dipartimento di Ingegneria Civile - Università di Pisa

Riassunto

L'impiego del fresato (RAP - Recycled Asphalt Pavement) nelle miscele bituminose richiede la valutazione di una serie di fattori connessi all'aumento della rigidità e della fragilità delle miscele. In questo studio sono state valutate le modifiche delle proprietà meccaniche di una miscela bituminosa di tipo SMA a seguito dell'inserimento di una significativa percentuale di fresato.

Lo studio è stato condotto in collaborazione con l'Università del Wisconsin-Madison, dove è stata eseguita la caratterizzazione del bitume presente nel fresato mediante reometro BBR. La caratterizzazione delle miscele bituminose è stata eseguita nel Laboratorio Sperimentale Stradale del Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università di Pisa.

Summary

The importance in the utilization of RAP in bituminous mixtures highlights the need to evaluate the effects that RAP binder produces in terms of stiffness and brittleness increase. The research is focused on the evaluation of the mechanical properties of a bituminous mixture (SMA type) containing a significant percentage of RAP.

The experience has been conducted in collaboration with the University of Madison-Wisconsin where RAP binder has been characterized at low temperatures by BBR. The bituminous mixture characterization has been carried out in the laboratory of the Civil Engineering Department at the University of Pisa. Specifically, behavior during compaction, indirect tension resistance, water sensitivity, stiffness modulus (IT-CY) and fatigue resistance were determined.

1. Premessa

Al manto di usura, oltre ad adeguate caratteristiche meccaniche, vengono oggi richieste elevate *performance* funzionali. Esso deve garantire elevati livelli di aderenza, la protezione degli strati sottostanti dagli agenti atmosferici, la limitazione del rumore da rotolamento e un accettabile comfort di marcia.

Le specifiche sopra citate sono divenute sempre più restrittive nel tempo e tale richiesta funzionale, difficilmente raggiungibile con i manti di usura tradizionali, ha condotto alla ricerca di nuove tipologie di tappeti con caratteristiche sempre più evolute per soddisfare i

requisiti prestazionali richiesti. Tra queste nuove tipologie di manti si annoverano gli *Splittmastix Asphalt* che verranno trattati in questo studio.

I manti di usura tipo *Splittmastix Asphalt* (SMA) presentano caratteristiche tali da migliorare l'aderenza, impermeabilizzare la struttura sottostante ed attenuare il rumore di rotolamento prodotto dagli pneumatici.

La realizzazione di questo tipo di miscela non può prescindere dall'impiego di materiali di prima categoria il cui costo è solo in parte monetizzabile, considerato che si tratta di risorse non rinnovabili. La comunità scientifica internazionale evidenzia l'importanza di riuscire a reimpiagare, negli interventi di manutenzio-

ne come nelle nuove realizzazioni, il materiale di risulta dalla fresatura di pavimentazioni esistenti. In tale ottica, l'impiego del fresato nel confezionamento di miscele bituminose caratterizzate da elevate caratteristiche prestazionali rappresenta il compendio ideale tra tecnologia ed eco-sostenibilità.

Gli obiettivi della sperimentazione si fondano sui concetti sopra riportati. Essa si propone di fornire un quadro razionale per lo studio delle miscele bituminose prodotte con l'impiego di significative quantità di fresato; in tal senso, essa prima definisce una base teorica per valutare la quantità di fresato che può essere inserita in una miscela senza penalizzarne il comportamento alle basse temperature e, successivamente, valuta l'effetto dell'inserimento del fresato sulle prestazioni della miscela.

2. L'impiego del fresato nelle miscele bituminose

La principale problematica legata all'impiego del fresato in miscele di nuova realizzazione è l'elevato stato di ossidazione in cui si trova il bitume in esso contenuto [1], [2]. Tale stato ossidativo è causato dal duplice invecchiamento che il legante subisce in opera: il primo per effetto della stesa (*Short Term Aging*), il secondo prodotto dall'azione ossidante degli agenti atmosferici (*Long Term Aging*). L'ossidazione produce una riduzione della matrice oleosa con conseguente modifica della lavorabilità e viscosità rispetto alle condizioni originarie. Il bitume contenuto nel fresato si presenta come un legante rigido che a basse temperature può presentare problemi di *Thermal Cracking* (Fig. 1), mentre alle temperature di produzione e stesa del conglomerato può presentare problemi di lavorabilità.

In tale studio, per limitare le problematiche legate all'utilizzo del fresato nel confezionamento delle miscele bituminose, è stato impiegato un bitume a viscosità controllata *Lowal* (bitume A), che conferisce alla miscela caratteristiche di alta lavorabilità a temperature inferiori a quelle impiegate per il confezionamento di conglomerati bituminosi di tipo tradizionale.

A tali bitumi, comunemente utilizzati per il confezionamento di conglomerati detti "a tiepido", si richiede



Fig. 1 *Thermal Cracking*

di conferire alla miscela buona lavorabilità cercando di contenere le temperature di stesa e confezionamento. In aggiunta a tali proprietà il legante deve riuscire a mitigare gli effetti di irrigidimento provocati dal bitume presente nel fresato in avanzato stato di ossidazione.

3. Descrizione della metodologia di indagine

Il confezionamento della miscela con fresato richiede una preliminare caratterizzazione, alle basse temperature, del bitume in esso contenuto, senza procedere all'estrazione del legante con l'impiego di solventi che inevitabilmente ne alterano le proprietà meccaniche. Questa fase della sperimentazione è stata svolta sotto la guida del prof. Hussain Bahia della University of Wisconsin - Madison [3], [4].

3.1 Estrazione e caratterizzazione del bitume presente nel fresato

La caratterizzazione del bitume presente nel fresato (RAP_{binder}) è avvenuta secondo la metodologia svilup-

pata dal Prof. Hussain U. Bahia e si basa sull'analisi reologica di una frazione di fresato (SRAP – *Selected Recycled Asphalt Pavement*) ottenuta per setacciatura. Lo SRAP è costituito dal passante allo staccio 0,30 mm e trattenuto allo staccio 0,15 mm (Fig. 2).



Fig. 2 *Selected Recycled Asphalt Pavement*

Lo SRAP viene sottoposto a prova di estrazione del bitume per ignizione al fine di valutare la percentuale di legante in esso contenuta. Il fresato impiegato nella sperimentazione è caratterizzato da una percentuale di bitume rispetto agli aggregati del 4,8%, mentre lo SRAP ha un contenuto di bitume pari al 10,9%. Tale diversità è da attribuire alla maggiore superficie specifica dello SRAP rispetto alla restante frazione del fresato. La caratterizzazione del RAP_{binder} alle basse temperature è avvenuta secondo le prescrizioni della normativa prestazionale americana Superpave, che classifica i leganti bituminosi in base ad un grado prestazionale o *Performance Grade* (PG) [5], [6], [7]. Il reometro impiegato per lo studio dei leganti alle basse temperature è il *Bending Beam Rheometer* (BBR).

Sono stati sottoposti a caratterizzazione con BBR tre materiali:

► **Fresh_{binder}**. Con Fresh_{binder} si intende un bitume di primo impiego. Il campione di legante prima di essere sottoposto a prova reologica viene invecchiato a breve termine mediante *Rolling Thin Film Oven Test* (RTFOT) e a lungo termine attraverso *Pressure Aging Vessel* (PAV). Nell'ambito di questa sperimentazione il Fresh_{binder} è il bitume A.

► **SRAP_{Mortar}**. Lo SRAP_{Mortar} è una malta formata da SRAP + Fresh_{binder} invecchiato mediante RTFOT. Nella sperimentazione lo SRAP_{Mortar} è composto da uno scheletro litico di materiale fine proveniente dallo SRAP più il 34,5% di legante bituminoso composto per il 76,3% da Fresh_{binder} invecchiato con RTFOT e per il 23,3% da bitume presente nel fresato. Prima della prova lo SRAP_{Mortar} viene invecchiato mediante PAV.

► **RRAP_{Mortar}**. Il RRAP_{Mortar} è una malta bituminosa formata da materiale litico derivante dallo SRAP dopo estrazione di bitume, denominato *Burned SRAP Aggregate*, e dal 34,5% di Fresh_{binder} invecchiato mediante RTFOT. Prima della prova il RRAP_{Mortar} viene invecchiato mediante PAV.

Sfruttando il principio di sovrapposizione Tempo - Temperatura valido per i leganti bituminosi è possibile effettuare la prova BBR ad una temperatura 10 °C superiore rispetto a quella di classificazione Superpave e per un tempo di carico di 60 secondi anziché 2 ore, ottenendo stessi valori di rigidità in tempi di esecuzione più brevi. Per ognuno dei suddetti materiali sono state condotte due prove per determinare i parametri di rigidità, una a -6 °C e l'altra -12 °C. Durante la prova il reometro restituisce, a fissati intervalli di tempo, la rigidità flessionale del campione alla temperatura di prova. I valori rilevati vengono interpolati su un piano bi-logaritmico con una parabola del secondo ordine, che esprime l'andamento della rigidità in funzione del tempo. Oltre ai valori di rigidità, agli stessi intervalli di tempo fissati, il reometro calcola il coefficiente angolare della retta tangente alla parabola, denominato *m-value*, che esprime la riduzione della rigidità nel tempo.

La normativa Superpave impone che il materiale assuma, al tempo di carico $t = 60$ sec, un valore di rigidità minore o uguale a 300 MPa e un valore di *m-value* maggiore o uguale a 0,3.

La temperatura a cui si verifica tale condizione è quella impiegata per classificare il legante.

Dai risultati ottenuti riportati nei grafici (Figg. 3-4) il Fresh_{binder} (bitume A) possiede un PG alle basse temperature pari a -16 °C. Dai dati di rigidità ottenuti sulle due malte si evince che il legante formato da 23,3% di bitume proveniente dal fresato e 76,7% di Fresh_{binder} (Bitume A) è caratterizzato da un valore minimo di PG pari a -10 °C.

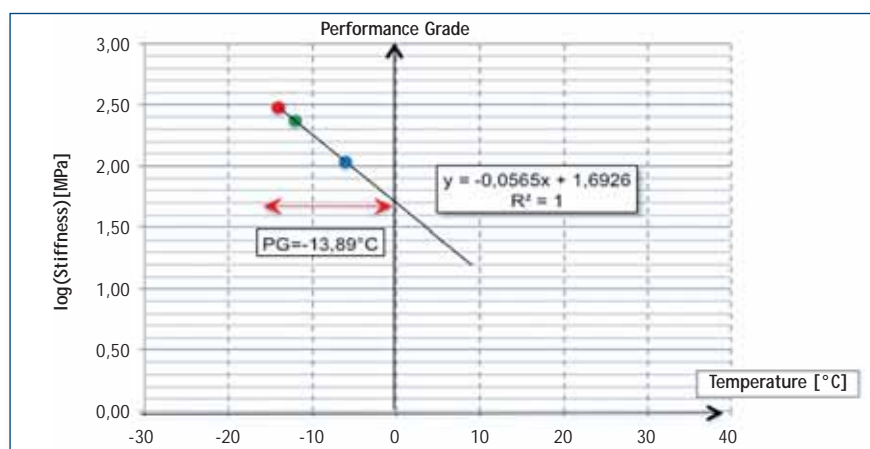


Fig. 3 Rigidezza $Fresh_{binder}$ in funzione della temperatura

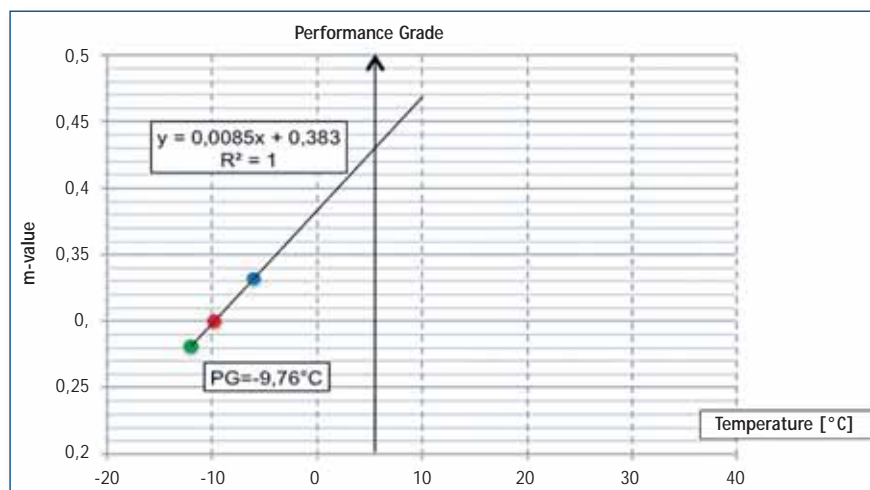


Fig. 4 Valori di m-value del $Fresh_{binder}$ in funzione della temperatura

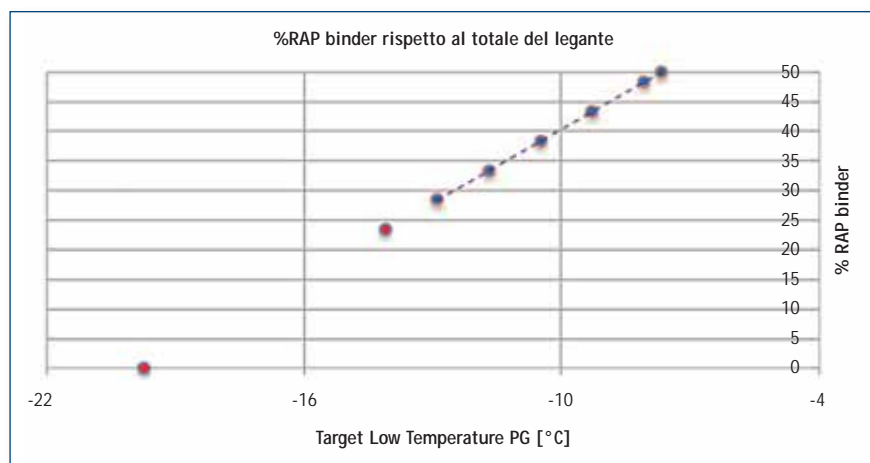


Fig. 5 Variazione PG

Si conclude dunque che un apporto del 23,3% di bitume proveniente dal fresa-to rispetto al legante totale, corrispon-dente al 36% di fresa-to nella miscela, provoca un peggioramento delle carat-teristiche meccaniche del legante alle basse temperature.

Dai dati di rigidezza ottenuti consideran-do il $Fresh_{binder}$ e lo $SRAP_{Mortar}$, nel quale è presente 76,7% di Bitume A + 23,3% di bitume proveniente dal fresa-to, è possi-bile ricavare una retta di interpolazione che esprime la variazione del PG in fun-zione della percentuale di RAP_{binder} (Fig. 5). Da tale legge si ricava la massima per-centuale di bitume proveniente dal fresa-to da poter inserire nella miscela las-ciando inalterato il PG. La percentuale di legante ottenuta è pari al 15,7% rispet-to al legante totale, corrispondente ad un 25,6% di fresa-to rispetto agli aggregati.

3.2 Le miscele

Sulla base della caratterizzazione del RAP_{binder} alle basse temperature, è sta-ta confezionata una miscela per usura GAP Graded tipo SMA contenente il 25,6% di fresa-to rispetto al peso degli aggregati. Per limitare la riduzione della lavorabilità della miscela prodotta dall'impiego del fresa-to è stato utiliz-zato un legante bituminoso modificato *Hard* con elastomero SBS a viscosità con-trollata (bitume A).

Oltre a questa sono state confezionate due miscele SMA di riferimen-to, realiz-zate interamente con materiale di primo impiego, una confezionata con bitume A, l'altra con bitume modificato *Hard* con SBS (Drenoval) comunemente impiegato nel confezionamento di miscele a curva discontinua (denominato bitume B).

Le tre miscele possiedono stesso assor-timento granulometrico e stessa per-centuale di legante (Tabb. 1-2 e Fig. 6).

Tab. 1 Composizione volumetrica delle miscele di riferimento

	Basalto [%]	Sabbia [%]	Filler [%]	Fresh _{binder} [%]
SMA 0/6 Bitume A	67	23	10	7,2
SMA 0/6 Bitume B	67	23	10	7,2

Tab. 2 Composizione volumetrica delle miscele con fresato

	Basalto [%]	Sabbia [%]	Filler [%]	RAP _{Aggregate} ⁽¹⁾ [%]	RAP _{binder} [%]	Fresh _{binder} [%]
SMA 0/6 Bitume A + RAP	54,8	12,6	7,9	24,7	1,2	6,0

(1) RAP Aggregate materiale litico presente nel RAP

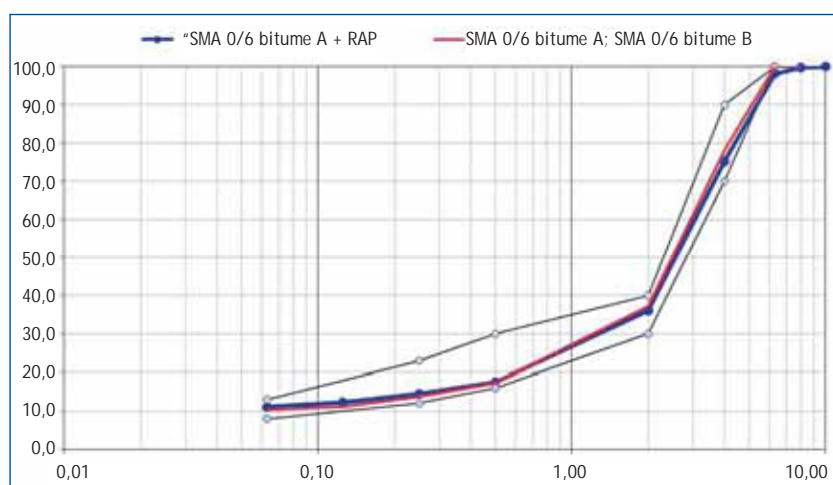


Fig. 6 Curve granulometriche delle miscele

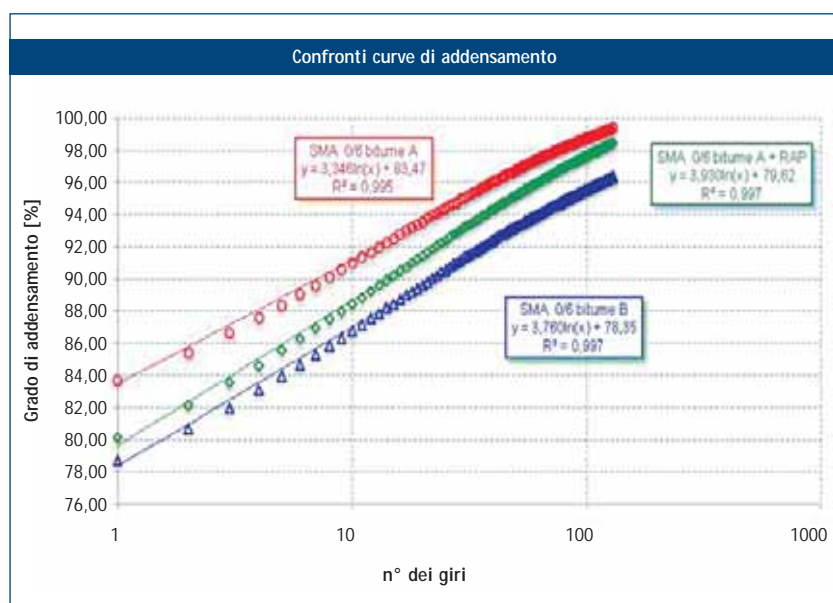


Fig. 7 Curve di addensamento delle miscele

3.3 Caratterizzazione delle miscele

Per lo studio delle miscele sono stati utilizzati provini confezionati con pressa giratoria. I provini sono stati sottoposti a prove di caratterizzazione meccanica per valutarne il comportamento alle temperature di lavorazione e di esercizio.

Le prove di caratterizzazione condotte sulle miscele sono le seguenti:

- ▶ Lavorabilità (valutazione delle caratteristiche di addensamento mediante pressa giratoria);
- ▶ Resistenza a trazione indiretta (UNI EN 12697-23);
- ▶ Sensibilità all'acqua (UNI EN 12697-12);
- ▶ Modulo Resiliente - Prova IT-CY (UNI EN 12697-26:2004, Annesso C);
- ▶ Resistenza a fatica (UNI EN 12697-24, Annesso E).

4. Risultati e confronti

4.1 Lavorabilità

La lavorabilità della miscela viene valutata attraverso l'analisi della curva di addensamento ottenuta con pressa giratoria (Fig. 7).

Confrontando le curve di addensamento delle due miscele di riferimento SMA con bitume A (curva rossa) e SMA con bitume B (curva blu) si nota che il bitume A, a parità di scheletro litico, conferisce alla miscela migliore lavorabilità. Infatti a parità di numero di giri la miscela con bitume A raggiunge un grado di ad-

densamento superiore rispetto a quella con bitume B. Inoltre la pendenza della curva, proporzionale alla resistenza che la miscela oppone all'azione di addensamento, risulta inferiore nella miscela con bitume A. Dalla curva verde, relativa allo SMA con RAP, si nota che l'impiego di un legante a viscosità controllata garantisce buona lavorabilità alla miscela nonostante il cospicuo quantitativo di fessato in essa presente. La miscela contenente RAP riesce infatti a raggiungere un grado di addensamento superiore a quella con bitume B e di poco inferiore a quella con bitume A.

4.2 Resistenza a trazione e sensibilità all'acqua

La prova di resistenza a trazione indiretta è stata eseguita secondo la norma UNI EN 12697-23 alla temperatura di 25 °C. I risultati ottenuti in termini di resistenza a trazione (ITS [N/mm²]) e di rigidità del mastice costituita da filler e bitume (CTI [N/mm²]) sono riportati in **Fig. 8-9**.

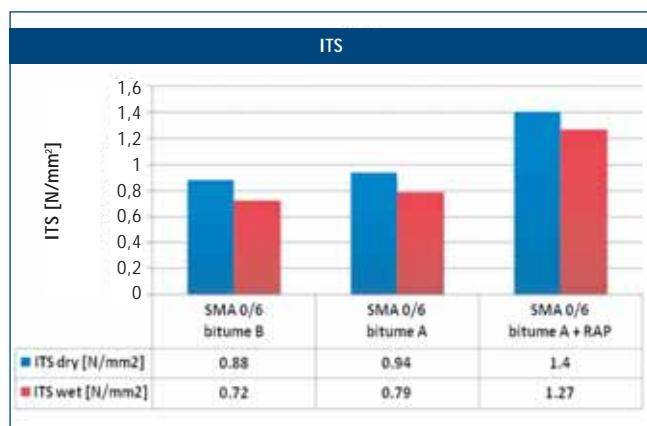


Fig. 8 Resistenza a trazione

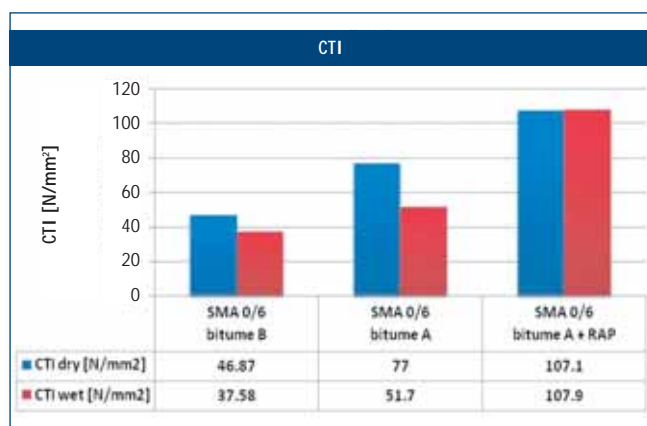


Fig. 9 Coefficiente di trazione indiretta

I risultati evidenziano chiaramente l'aumento sia di resistenza a trazione indiretta sia di rigidità prodotti dal legante presente nel fessato.

La prova effettuata su campioni condizionati in acqua consente di determinare la sensibilità all'acqua in termini di rapporto della resistenza a trazione (ITSR %) tra campioni condizionati in acqua e campioni condizionati in aria, secondo la norma UNI EN 12697-12 (**Tab. 3**).

Tab. 3 Sensibilità all'acqua delle miscele

	ITSR [%]
SMA 0/6 con bitume B	82
SMA 0/6 con bitume A	84
SMA 0/6 bitume A + RAP	90

Le due miscele con materiale vergine hanno sensibilità all'acqua pressoché uguale. La miscela con RAP possiede una sensibilità all'acqua minore dovuta al fatto che il materiale fessato è rivestito da una pellicola di bitume con spessore superiore rispetto a quella degli aggregati vergini e, risulta dunque più difficile per l'acqua interpersi tra pellicola di bitume e aggregato.

4.3 Determinazione modulo resiliente (Prova IT-CY)

Il modulo resiliente è stato determinato alla temperatura di 20 °C secondo la norma UNI EN 12697-26:2004, Annesso C. Se si confrontano le due miscele con materiale vergine si nota (**Fig. 10**) che, a parità di temperatura e frequenza della sollecitazione, quella con bitume A (barra rossa) è più rigida di quella con bitume B (barra blu).

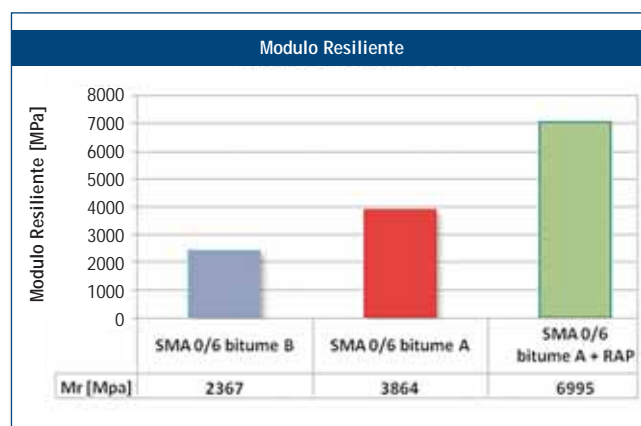


Fig. 10 Modulo resiliente

La miscela contenente fresato possiede un modulo resiliente pari al doppio di quella con solo bitume A; si deduce che il 15,7% di bitume proveniente dal fresato produce notevoli effetti di irrigidimento (barra verde). Le rette in **Fig. 11** sono ottenute per interpolazione dei residui delle deformazioni su ogni ciclo di carico.

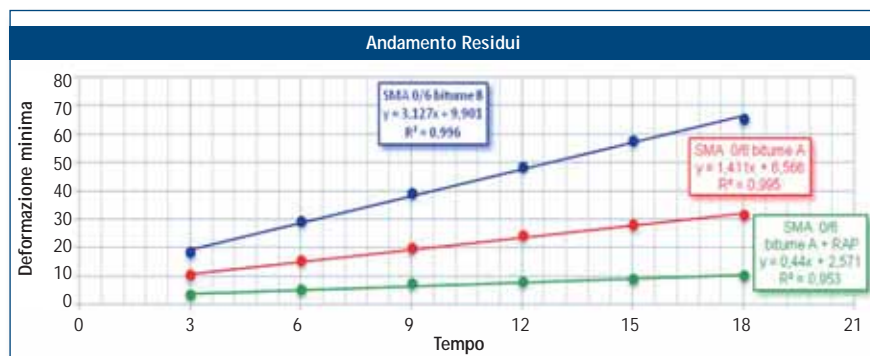


Fig. 11 Comportamento deformativo delle miscele

Il coefficiente angolare delle rette interpolanti indica la tendenza all'accumulo di deformazioni viscosse che il materiale presenta sotto carico. La miscela con bitume B (retta blu) è quella che ha maggior accumulo di deformazione; la miscela con fresato (retta verde) è quella invece con minor accumulo di deformazioni viscosse sul ciclo. Da ciò si può affermare che il bitume presente nel fresato, con l'aumento della rigidità della miscela ne riduce anche la sensibilità alle deformazioni viscosse.

4.4 Prova di resistenza a fatica

La prova di resistenza a fatica è stata eseguita a 20 °C secondo la norma UNI EN 12697-24, Annesso E. Le leggi di fatica sulle differenti miscele sono state utilizzate per poter valutare la loro durabilità (**Fig. 12**).

Dalle leggi di fatica si nota che mentre le due miscele di riferimento hanno, a parità di deformazione iniziale, durata confrontabile, la miscela con fresato ha una durata circa cinque volte inferiore. Come era prevedibile, se da una parte l'effetto del RAP_{binder} produce un aumento della rigidità e una riduzione della sensibilità alle deformazioni viscosse, dall'altra ne riduce la duttilità.

5. Conclusioni

In questa sperimentazione è stato illustrato un quadro razionale per lo studio delle miscele bituminose prodotte con l'impiego di significative quantità di fresato. Dopo aver determinato, su base teorico-sperimentale, la quantità di fresato che può essere inserita in una miscela senza penalizzare il comportamento alle basse temperature, è stato valutato l'effetto dell'inserimento del fresato sulle prestazioni della miscela.

In particolare, sulla base dei risultati della caratterizzazione di specifiche malte bituminose, è stata confezionata una miscela tipo SMA, con il 25,6% di fresato, senza peggiorare il comportamento della miscela nei confronti del "Thermal Cracking".

I risultati della caratterizzazione meccanica della miscela, confrontati con quelli di altre due miscele di riferimento, evidenziano che l'impiego di un bitume ad alta lavorabilità (bitume A), nella miscela con fresato, consente di mantenere buone caratteristiche di lavorabilità. Il fresato inoltre migliora le proprietà meccaniche quali modulo resiliente, resistenza a trazione indiretta, riduzione della sensibilità alle deformazioni viscosse e favorisce la diminuzione della sensibilità all'acqua. Di contro la presenza del fresato provoca una diminuzione della duttilità della miscela riducendone la resistenza a fatica. Alla luce di questi risultati, si ri-

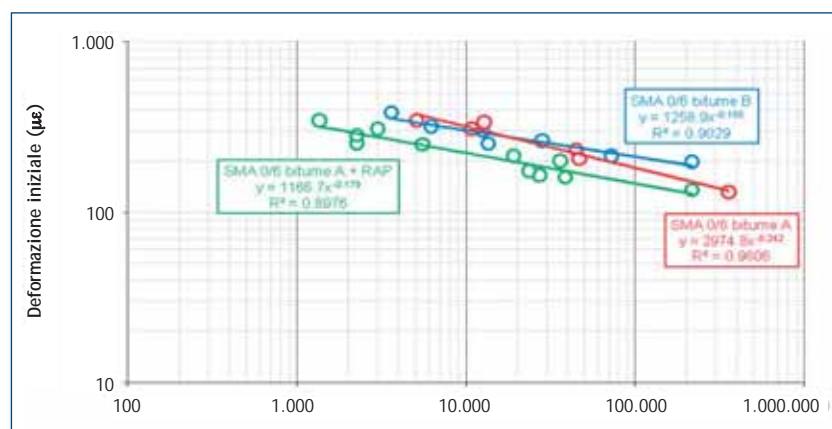


Fig. 12 Leggi di fatica delle miscele

tiene che gli sviluppi futuri della ricerca dovranno riguardare la caratterizzazione delle malte anche alle temperature di esercizio al fine di individuare le giu-

ste proporzioni tra quantità di fresato e legante vergine per perseguire un ulteriore contenimento della riduzione della resistenza a fatica. ■

Bibliografia

- ▶ **M. S. Sondag, B. A. Chadbourn, A. Drescher**, *Investigation of Recycled Asphalt Pavement Mixtures*, Report 2002-15. Minnesota Department of Transportation, Maplewood, Minn., 2002.
- ▶ **X. J. Li, M. O. Marasteanu, T. R. Clyne, and R. Olson**, *The Effect of RAP Type and Proportion on the Properties of Asphalt Mixtures and Binders*, Proc., 50th Annual Conference of the Canadian Technical Asphalt Association, Victoria, British Columbia, Canada, Nov. 2005.
- ▶ **Tao Ma, Hussain U. Bahia, Enad Mahmoud, Elie Y. Haji**, *Estimating Allowable RAP in Asphalt Mixes to Meet Target Low Temperature PG Requirements*, Association of Asphalt Paving Technologists, Annual Meeting and Technical Sessions, Sacramento CA, March 7-10, 2010.
- ▶ **Junan Shen, Serji Amirkhanian, Boming Tang**, *Effects of Rejuvenator on Performance-based Properties of Rejuvenated Asphalt and Binder Mixtures*, Construction and Buildings Materials, Vol.21, No.3, 2007, pp.958-964.
- ▶ **R. S. McDaniel, H. Soleymani, R. M. Anderson, P. Turner, R. Peterson**, *Recommended Use of Reclaimed Asphalt Pavement in the SuperPave™ Mixture Design Method*, NCHRP Final Report (9-12), TRB, National Research Council, Washington, D.C., 2000.
- ▶ **M. Stroup-Gardiner, C. Wagner**, *Use of Reclaimed Asphalt Pavement in Superpave Hot-Mix Asphalt Applications*, in Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No.1681, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 1999, pp. 1-9.
- ▶ **Harold N. Atkins**, *Highway Materials, Soils, and Concretes*, 1997, 3rd Edition, Chapter. 6, Section 6-1.

Dal prossimo numero daremo spazio alle domande, osservazioni e idee dei lettori nell'apposita rubrica

LETTERE
al diretto

Inviare le vostre richieste a siteb@ance.it

