

Indagine sperimentale sull'influenza della modifica dei bitumi con cera sintetica e polimero SBS

Experimental survey on the influence of bitumen modification with synthetic wax and SBS polymer

STEFANO TATTOLO

Servizio Tecnologico Sperimentale STS Mobile Srl

Riassunto

La memoria espone le proprietà fondamentali di bitumi modificati con cera sintetica, polimeri e modifiche composte polimero-cera, mediante l'analisi delle loro caratteristiche empiriche e prestazionali. L'obiettivo è quello di evidenziare le specifiche prestazioni offerte dalle varie tipologie di modifica dei bitumi al fine di scegliere la soluzione tecnologica più in linea con le funzioni strutturali che i relativi conglomerati bituminosi devono assolvere all'interno di una sovrastruttura stradale in esercizio. I contenuti sperimentali sono parte integrante di un vasto programma di ricerca commissionato dalla Adriatica Bitumi.

Summary

The document (memo) shows the main features of bitumen modified with synthetic wax, polymers and mixed polymer-wax modifications, through the analysis of their empirical properties and performance.

The aim is to highlight the specific performances offered by the different types of the bitumen modifications in order to select the most suitable technological solution respect the structural functions which the relevant bituminous conglomerate should have within a working road paving.

The experimental contents are an integrative of an extensive research program committed by Adriatica Bitumi.

1. Introduzione

Con il fine di ridurre le emissioni nocive in atmosfera e i costi di produzione dei conglomerati bituminosi, il settore della ricerca in campo stradale ha da tempo intrapreso lo sviluppo di nuove tecnologie, con materiali capaci di abbassare le temperature operative sia in fase di miscelazione che di posa in opera, senza pregiudicarne le prestazioni meccaniche.

Tra le varie soluzioni risulta di grande interesse l'impiego di sostanze solubili nel bitume, come ad esempio la cera sintetica, costituita da idrocarburi alifatici con catena lunga. Svolgono la loro azione attraverso il meccanismo reversibile del proprio cambiamento di stato fisi-

co (fusione/cristallizzazione). Infatti hanno la proprietà di fondere a temperature appena superiori ad 80°C, più bassa del bitume, riducendo la viscosità del legante alle temperature di confezionamento e stesa dei conglomerati bituminosi. Ne consegue una maggiore capacità di rivestimento degli aggregati e maggiore lavorabilità della miscela. Viceversa, essendo caratterizzati da una più elevata temperatura di cristallizzazione, aumentano la viscosità del bitume alle basse temperature, ovvero a quelle di esercizio delle pavimentazioni stradali. In termini operativi e prestazionali questo duplice aspetto permette di ottenere prodotti altamente lavorabili a temperature di impasto, alla stregua di un bitume tradizionale, con una elevata stabilità termica in »

esercizio, tipica di bitumi modificati con polimeri, i quali richiedono di contro un deciso incremento delle temperature di miscelazione e posa in opera.

Di recente applicazione invece risulta l'impiego di polimeri elastomerici in combinazione con la cera sintetica, che permette di coniugare i vantaggi termici della cera con una ottimale resistenza a fatica delle miscele bituminose come si avrà modo di mostrare nella presente memoria.

2. Piano sperimentale

Il presente piano sperimentale è suddiviso in una parte introduttiva di caratterizzazione empirica dei bitumi oggetto di studio e una seconda parte di approfondimento prestazionale delle relative miscele bituminose. La caratterizzazione empirica ha messo a confronto quattro tipi di bitume così indicati:

- ▶ 70/100, bitume conforme alle specifiche tecniche della UNI EN 12591, impiegato come prodotto base di riferimento;
- ▶ H50, bitume modificato con cera sintetica;
- ▶ ELH, bitume modificato con cera sintetica e polimeri SBS;
- ▶ Classe 3, bitume modificato con polimeri SBS.

Su ciascun legante si sono eseguite prove per la determinazione della Penetrazione (UNI EN1426), del Punto di Rammollimento (UNI EN1427), della Viscosità (UNI EN 13702-2) a temperature superiori al Punto di Rammollimento.

La seconda fase del piano sperimentale ha previsto il confezionamento di 4 differenti miscele bituminose, con le medesime caratteristiche compositive, granulometria e dosaggio di bitume, utilizzando ciascuno dei 4 bitumi oggetto di indagine, dosati al 5,2% sul peso degli inerti. In tale modo si è permessa la valutazione dell'influenza del tipo di legante sulle caratteristiche meccaniche della miscela.

I campioni di conglomerato bituminoso sono stati compattati con una pressa giratoria (UNI EN 12697-31) con fustella

da diametro 150 mm, applicando un'energia di compattazione mediante 100 giri, verificando che non ci fosse evidente scostamento tra le densità registrate su ciascun campione. Successivamente, su provini opportunamente rettificati, sono state eseguite misure di Modulo di Rigidezza in configurazione di trazione indiretta (UNI-EN 12697-26) a diverse temperature (10°C, 20°C e 40°C) per verificare la Suscettività Termica delle miscele.

La sperimentazione si è conclusa con l'esecuzione di prove di fatica (BS DD ABF-97) a 20°C per verificare la resistenza a carichi ciclici.

3. Caratterizzazione dei bitumi

La Fig. 2 riporta le risultanze sperimentali delle prove di caratterizzazione dei leganti oggetto di studio.

I tre bitumi modificati, indipendentemente dal tipo di modifica, esibiscono penetrazioni più basse associate ad alti valori della temperatura di rammollimento, manifestando una maggiore stabilità termica rispetto al bitume 70/100, caratteristica successivamente documentata con prove prestazionali sui conglomerati bituminosi.

Il bitume H50 modificato con cera sintetica raggiunge la temperatura di rammollimento più elevata pari a

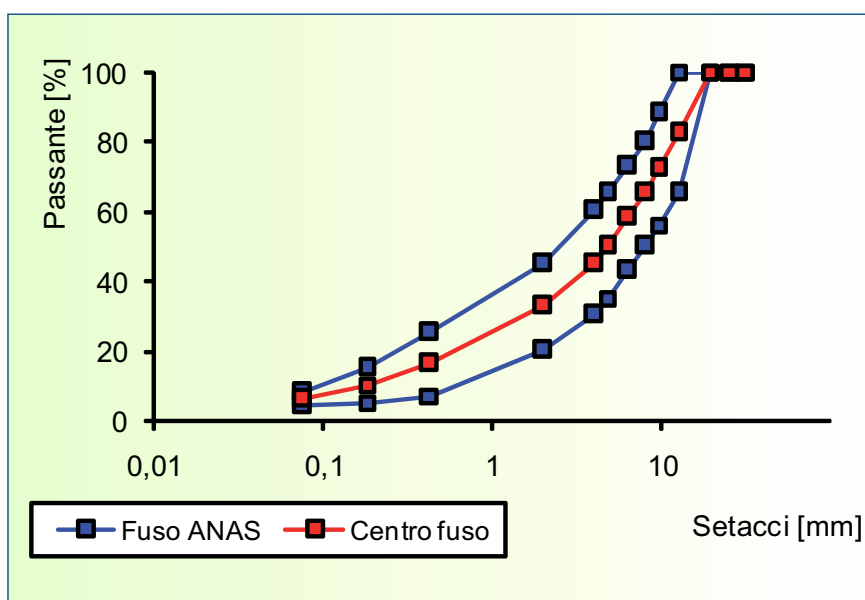


Fig. 1 Curva granulometrica impiegata per la produzione del conglomerato

85°C, quasi il doppio di quella del bitume 70/100, a chiara evidenza della minore suscettività termica registrata nell'ambito della sperimentazione.

La viscosità è definita come la misura dell'attrito interno fra strati adiacenti di fluido che si oppongono allo scorrimento dell'uno sull'altro.

Per fluidi newtoniani e non, la viscosità apparente η è definita come il rapporto tra lo sforzo di taglio τ (*shear stress*) e il gradiente di scorrimento (*shear rate*).

L'equazione è definita per fluidi a comportamento viscoso ideale, caratterizzato da un valore del coefficiente di viscosità η indipendente dallo sforzo di taglio τ e dal gradiente del flusso di scorrimento.

Molti liquidi, tra i quali il bitume, esibiscono un comportamento, newtoniano o non newtoniano, in dipendenza del gradiente di scorrimento o della temperatura, pertanto è necessario fare misurazioni comparative a parità di condizioni di prova.

Eseguendo prove di viscosità a diverse temperature (maggiori dei punti di Rammollimento) emerge la dipendenza della viscosità apparente η dalla temperatura, tanto che l'innalzamento da 80°C a 160°C può portare una riduzione di viscosità anche di tre ordini di grandezza (**Fig. 2**).

La presenza di polimeri SBS (bitume ELH e Classe 3) comporta una elevata viscosità a qualsiasi temperatura rispetto ai bitumi non polimerici (70/100 e H50). Tuttavia il bitume ELH con modifica composta polimero-cera sintetica offre una viscosità sensibilmente inferiore al bitume Classe 3 grazie al contributo della cera. Confrontando il bitume 70/100 con l'H50 si osserva che i più bassi valori di viscosità sono stati ottenuti con il bitume H50 ad alte temperature. D'altra parte, al di sotto della temperatura di circa 125°C, alla quale si raggiungono valori coincidenti di viscosità tra i due leganti, avviene un'inversione di comportamento e l'H50 risulta il più rigido, così come confermato dalla precedenti prove di penetrazione e palla-anello.

Questo fenomeno è riconducibile al tipico comportamento della cera sintetica che cambia il proprio stato

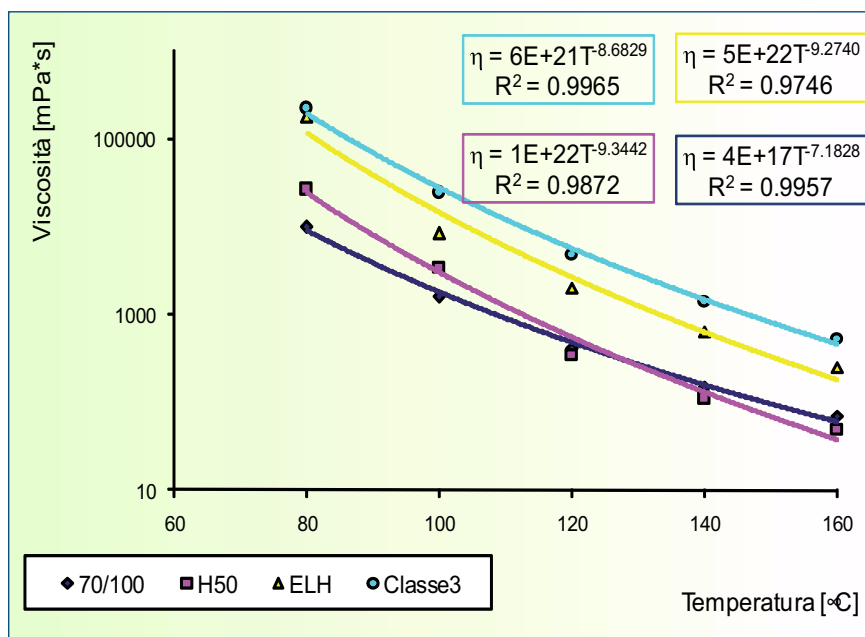


Fig. 2 Caratterizzazione dei bitumi

Bitume	Penetrazione [dmm]	RB [°C]
70/100	75	46
H50	42	85
ELH	50	69
Classe3	54	70

fisico all'interno del range di temperatura di prova influenzando l'intero fluido.

Ricavando le equazioni di dipendenza viscosità/temperatura attraverso regressioni con legge di potenza e considerando i valori minimi di viscosità per conglomerato bituminoso in fase di miscelazione e compattezza indicati nelle Specifica AAPA - Pavement Work Tips n. 13/98, è possibile risalire alle relative temperature minime di riferimento per conglomerati bituminosi confezionati con i bitumi oggetto di studio (**Fig. 3**).

Appare evidente come la modifica con polimeri richieda le temperature operative di miscelazione e compattezza più elevate (Classe 3), anche se con l'aggiunta di cera sintetica (ELH) è possibile ottenere una riduzione di circa 20°C.

Valori minimi limite di viscosità - AAPA Pavement Work Tips n.13/98	Valori minimi limite di temperatura				
	70/100	H50	ELH	Classe 3	
Viscosità in fase di miscelazione [mPa·s]	80	154	147	175	196
Viscosità in fase di compattazione [mPa·s]	250	131	130	155	172

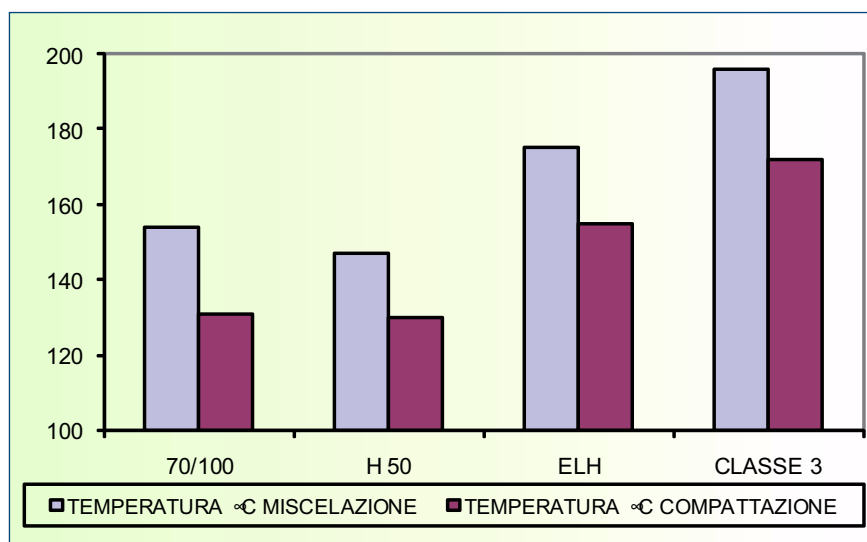


Fig. 3 Limiti minimi di viscosità e relative temperature di miscelazione e compattazione

Il bitume H50 presenta le migliori performance termiche di utilizzo con una riduzione massima di circa 50°C in fase di miscelazione e circa 40°C in fase di compattazione rispetto al bitume Classe 3, confermando una condizione di utilizzo vicina ad un bitume tradizionale 70/100 pur conservando la maggiore stabilità termica.

4. Caratterizzazione miscele bituminose

4.1 Modulo di rigidezza e suscettività termica

Il Modulo di Rigidezza indica la tendenza di un materiale a deformarsi sotto l'azione di un carico ed è definito in accordo con la teoria elastica, per prove in configurazione di trazione indiretta (UNI EN 12697-26), come segue:

$$S_m = \frac{L}{D \cdot t} (v + 0,27)$$

dove L è il valore massimo di carico, D è il valore massi-

mo di deformazione, t è lo spessore medio del provino e v è il coefficiente di Poisson.

La misura del Modulo di Rigidezza viene eseguita in modalità non distruttiva, sollecitando il provino nel proprio campo elastico, per cui i test ripetuti a diverse temperature (dopo almeno 4 ore di condizionamento alla temperatura di prova) sono stati eseguiti sempre lungo gli stessi diametri, al fine di ottenere dati direttamente confrontabili. Avendo utilizzato bitumi con differente Suscettività Termica, la sperimentazione si è rivolta alla valutazione dell'influenza del tipo di legante sulla dipendenza termica delle relative miscele, mediante la misura del Modulo di Rigidezza a diverse temperature (Fig. 4).

Per cui in fase di elaborazione si è rappresentata la variazione del Modulo di Rigidezza in funzione della temperatura di prova, con definizione della linea di tendenza secondo la funzione esponenziale del tipo:

$$M = a \times e^{-bT}$$

dove b, Suscettività Termica, rappresenta la pendenza della curva Modulo di Rigidezza-Temperatura su scala semilogaritmica naturale (velocità di variazione del Modulo di Rigidezza in funzione della temperatura). La miscela realizzata con bitume 70/100 è caratterizzata da una maggiore Suscettività Termica e da un minore Modulo di Rigidezza rispetto ai mix con bitume modificato, infatti il loro utilizzo aumenta le prestazioni delle miscele sia in termini di rigidezza che in termini di stabilità termica. In particolare la miscela con bitume H50 ha mostrato i più alti valori di Modulo di Rigidezza e la minore Suscettività Termica, a conferma dei parametri empirici e viscometrici già esposti e delle consolidate teorie reologiche sulle cere sintetiche.

Occorre inoltre notare che il contributo della cera sintetica influenza la rigidezza del materiale alle temperature di esercizio delle pavimentazioni stradali. Infatti le

miscele con i bitumi modificati H50 e ELH esibiscono i più elevati valori di Modulo di Rigidezza, con un valore più che raddoppiato a 20°C rispetto alla miscela con bitume 70/100. A 40°C, condizione paragonabile alla stagione estiva, esibiscono valori quattro volte superiori alla miscela con bitume 70/100 e il 40% superiore a quella con il bitume Classe 3.

4.2 Comportamento a fatica

Le pavimentazioni stradali sono soggette a continui carichi ripetuti che comportano un progressivo deterioramento fino al collasso della sovrastruttura. In particolare, le pavimentazioni flessibili sono soggette a continue inflessioni che causano tensioni di trazione alla base degli strati legati a bitume. Il ripetersi di tali sollecitazioni, seppur inferiori alla tensione di trazione limite di rottura, genera l'innesco della fessura che poi progressivamente propaga fino in superficie, dando luogo alla tipica fessurazione ramificata o a "pelle di cocodrillo".

Nella prova di fatica per trazione indiretta (BS DD ABF-97), un provino cilindrico è sottoposto a carichi dinamici di compressione lungo un piano verticale diametrale: il carico così applicato sviluppa sollecitazioni di trazione, perpendicolari alla direzione di carico, causando la rottura del provino sotto uno stato tensionale del tutto simile a quello indotto in esercizio.

Noto il Modulo di Rigidezza e definito il livello di carico della prova, è stato possibile ricavare la deformazione iniziale di trazione media lungo il diametro orizzontale (ϵ_t) tramite la seguente formula:

$$\epsilon_t = \frac{1000 \cdot \sigma_t \cdot (1 + 3 \cdot \nu)}{M}$$

dove σ_t è la tensione di trazione lungo il diametro orizzontale

espressa in kPa, ν è il coefficiente di Poisson e M è il Modulo di Rigidezza iniziale del provino stesso. Confezionando una serie di provini rappresentativi di ciascuna miscela e inducendo in ogni provino un diverso livello deformativo iniziale (ϵ_v), è possibile mettere in relazione la deformazione applicata e il relativo numero di cicli di carico a rottura (N). Tale relazione, »

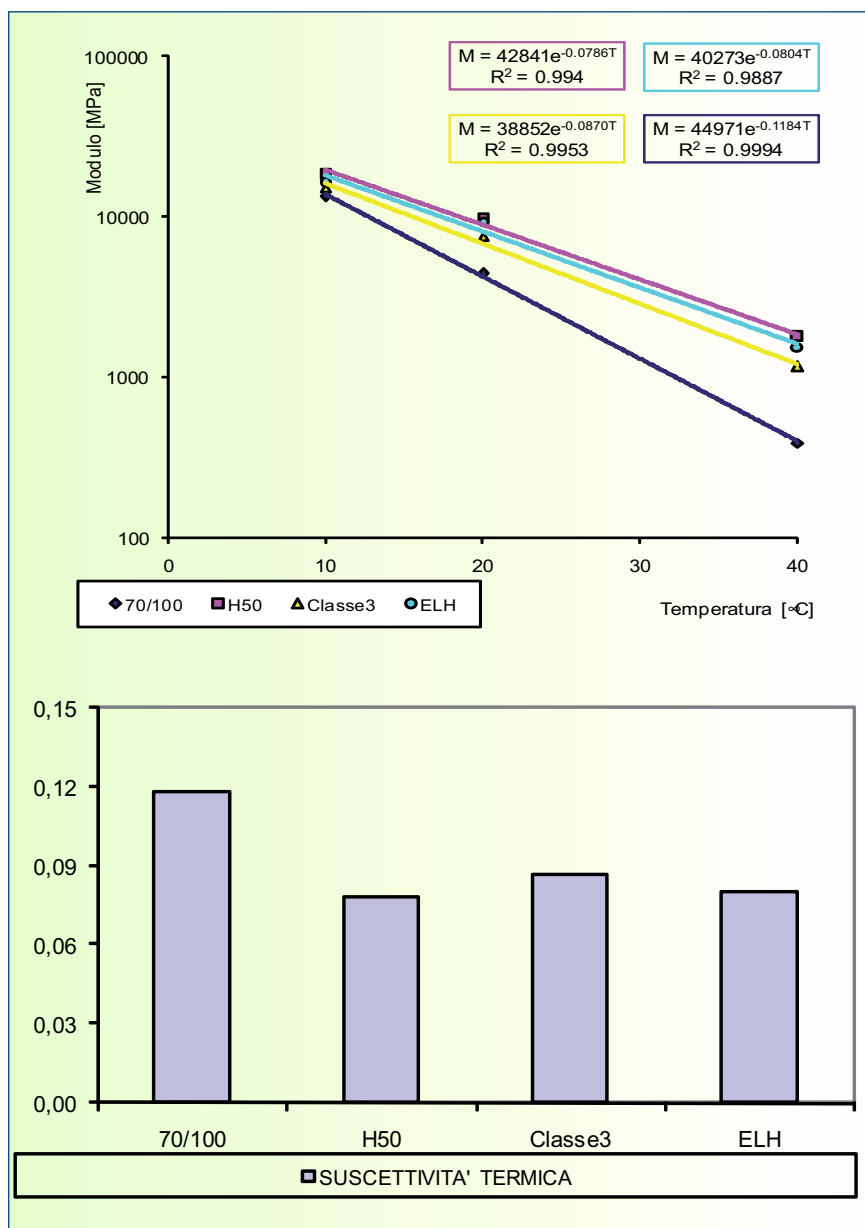


Fig. 4 Influenza della temperatura sul Modulo di Rigidezza – Suscettività termica

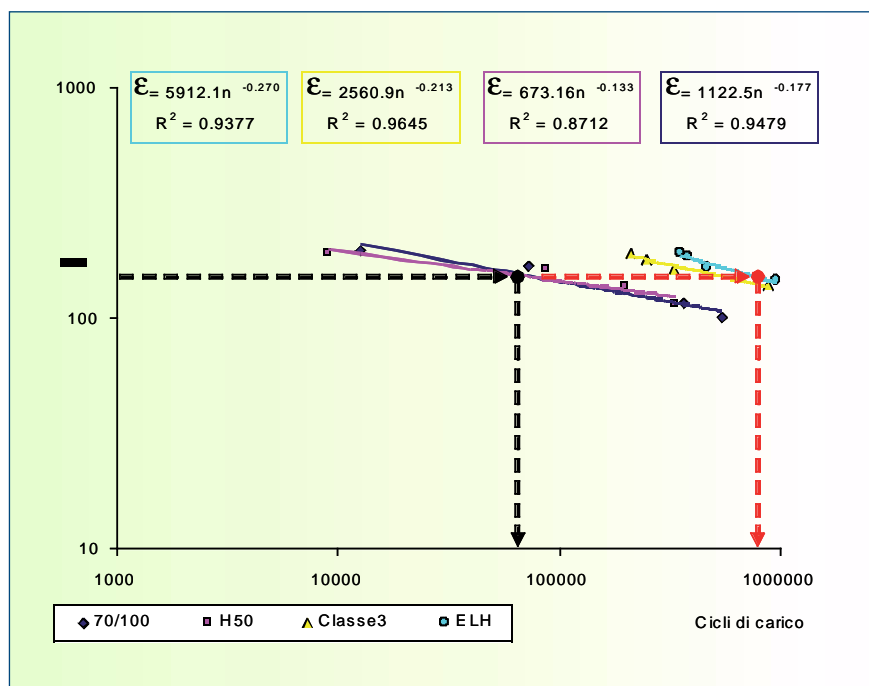


Fig. 5 Resistenza a Fatica

riportata nel tipico grafico bi-logaritmico et - N, definisce la curva di fatica caratteristica del materiale.

Le indagini di laboratorio sono state eseguite in modo da indurre lo stesso range di deformazioni et in tutte le miscele, affinché fosse possibile analizzare in modo diretto le differenti prestazioni a fatica dei conglomerati bituminosi tramite un confronto del numero di cicli N necessari per la rottura del campione.

La **Fig. 5** riporta i risultati delle prove eseguite a 20°C. Si sono individuati due livelli di Resistenza a Fatica in relazione alla presenza o meno di modifica con polimero. Infatti le miscele confezionate con bitume Classe 3 ed ELH esibiscono un maggior numero di cicli di carico N rispetto a quanto ottenuto con il 70/100 e H50. Il contributo di un legante polimerico sulla Resistenza a Fatica di una miscela bituminosa gioca un ruolo fondamentale incrementando notevolmente i cicli di carico che portano a rottura la miscela stessa: ad esempio ad un livello deformativo di circa 200 mstrain, mentre la miscela confezionata con bitume 70/100 resiste a fatica per circa 80.000 cicli di carico, quella confezionata con un legante modificato con polimeri va in crisi dopo ben 800.000 cicli di carico, offrendo quindi

delle prestazioni 10 volte superiori.

La sola modifica con cera sintetica non comporta significative variazioni della Resistenza a Fatica del conglomerato bituminoso rispetto a quanto ottenuto con il bitume 70/100.

5. Conclusioni

L'impiego di modificanti per bitumi, quali cera sintetica e polimeri, hanno permesso la realizzazione di conglomerati bituminosi ad elevate prestazioni, con la possibilità di studiare opportune soluzioni in funzione delle caratteristiche richieste in esercizio.

Infatti a seconda che si operi una modifica con polimero SBS, con cera sintetica o con entrambi i modificanti, è possibile ottenere l'ottimizzazione di alcune performance.

La modifica con cera sintetica (bitume H50) permette di ottenere leganti con un elevato Punto di Rammollimento e contemporaneamente lavorabili quanto un bitume tradizionale 70/100. D'altra parte i relativi conglomerati bituminosi potranno essere prodotti a temperature più basse di circa 50°C, trasportati e posati in opera a temperature più basse di circa 40°C rispetto alle condizioni termiche necessarie all'utilizzo di conglomerati con bitumi modificati con polimero, o in alternativa potranno essere trasportati a distanze maggiori dall'impianto di produzione e posati in condizioni ambientali severe (sono state eseguite lavorazioni con temperatura del conglomerato bituminoso pari a 90°C, così come a temperatura ambientale pari a 0°C con ottimi risultati). I conglomerati bituminosi prodotti con bitume modificato H50 forniscono le migliori prestazioni rilevate in termini di Modulo di Rigidezza e di Suscettività Termica, con la stessa Resistenza a Fatica dei conglomerati con bitume 70/100.

La modifica con polimeri SBS (bitume Classe 3) permette di ottenere leganti con un elevato Punto di Rammollimento ma più viscosi di un bitume tradizionale 70/100. I relativi conglomerati bituminosi dovranno essere

prodotti, trasportati e posati in opera a temperature più alte di circa 40°C rispetto alle condizioni termiche tipiche di miscele con bitumi tradizionali 70/100. I conglomerati bituminosi prodotti con bitume modificato Classe 3 forniscono ottime prestazioni in termini di Modulo di Rigidezza e di Suscettività Termica, comunque minori rispetto a quanto rilevato con il bitume H50, con un incremento della Resistenza a Fatica pari a 10 volte quella offerta da conglomerati con bitume 70/100. La modifica con cera sintetica e polimeri SBS (bitume ELH), coniugando entrambi i contributi, permette di ottenere leganti con un elevato Punto di Rammollimento, meno lavorabili di un bitume tradizionale 70/100, ma se pur modificati con polimeri SBS riescono a garantire la temperatura di utilizzo mediamente più bassa di 20°C rispetto ai conglomerati con bitumi modificati con polimero. Le miscele prodotte con bitume modificato ELH forniscono prestazioni in termini di Modulo di Rigidezza e di Suscettività Termica confrontabili a quanto ottenuto con il bitume H50, maggiori rispetto alla miscela con bitume Classe 3, con un incremento della Resistenza a Fatica pari a 10 volte quella offerta da conglomerati con bitume 70/100.

Appare dunque evidente che la scelta della tipologia di modifica, a parità di parametri compositivi, sia strettamente correlata alla funzione strutturale che il conglomerato bituminoso deve assolvere.

Si opterà per un legante modificato con cera sintetica per la realizzazione di conglomerati bituminosi appartenenti agli strati più superficiali della pavimentazione, ovvero più soggetti alle alte temperature di esercizio e alle maggiori pressioni trasferite dai carichi. Viceversa si potrà ricorrere ad una modifica combinata polimero – cera sintetica per conglomerati bituminosi appartenenti agli strati più profondi, chiamati ad assolvere una funzione totalmente strutturale per la quale risulta fondamentale una maggiore resistenza a fatica.

Concludendo si considera comunque vantaggioso l'utilizzo di cera sintetica come agente modificante del bitume, non solo per i vantaggi prestazionali sopra esposti, ma anche perché permette un abbassamento delle temperature operative di produzione e posa in opera dei conglomerati bituminosi, con notevoli vantaggi in termini di risparmio energetico, salvaguardia ambientale, abbattimento dei fumi emessi in atmosfera, tutela dell'ambiente circostante e delle condizioni di lavoro degli operatori. ■