

Dal performance grade del legante alle prestazioni dei conglomerati bituminosi. I bitumi modificati al vaglio della norma SHRP

From binder performance grade to bituminous mixes performances. Modified bitumen at the SHRP assessment

ANTONIO MONTEPARA, FELICE GIULIANI
Università degli Studi di Parma

FABIO CAPANELLI
Valli Zabban S.p.A.

Riassunto

Il progetto di ricerca statunitense SHRP (Strategic Highway Research Program) ha segnato, ad oltre un ventennio dalla sua prima definizione concettuale, un profondo cambiamento culturale nel mondo del bitume, anche nel Vecchio Continente. Con l'introduzione del concetto di Performance Grade del bitume stradale, SHRP ha avuto il merito di sintetizzare la complessa risposta reologica del legante ed il rigoroso approccio di analisi, in due semplici quanto essenziali "numeri": i valori di temperatura che ne definiscono il campo di utilizzo su strada del bitume. Proprio i leganti dalle prestazioni superiori quali i bitumi modificati trovano il necessario riconoscimento qualitativo in un sistema di classificazione che ne evidenzia in modo chiaro e completo le notevoli prestazioni in opera, cosa che le tradizionali prove empiriche non consentono di fare.

Summary

The American research process SHRP (Strategic Highway Research Program) caused, after more than 20 years, a deep cultural change in the bitumen world, also in Europe.

With the introduction of the concept of road bitumen Performance Grade, SHRP summarized the complex rheological answer of the binder and also the rigorous analysis approach in two simple and essential "numbers": i.e. the two temperature values defining the field of application of bitumen.

Binders with higher performances, as modified bitumens, find their quality acknowledgment in a clear and complete classification system, pointing out the working performances as traditional empirical tests do not allow.

1. I leganti bituminosi analizzati

Sono stati oggetto di studio bitumi naturali e bitumi modificati con polimeri. I primi sono rappresentativi di bitumi tradizionalmente impiegati per le pavimentazioni stradali nelle prevalenti diverse condizioni climatiche nazionali (B 40/50 e B 50/70) mentre i bitumi modificati presentano un medio grado di modifica con polimeri termoplastici SBS (PMB 30/50-75 Drenoval HM e PMB 50/70-75 Drenoval Hard M) prodotti da bitume base di

media ed alta consistenza. I risultati delle prove convenzionali eseguite sui materiali oggetto di studio, tal quali e sottoposti ad invecchiamento primario artificiale (*Rolling Thin Film Oven Test*), sono sintetizzati in Tab. 1. Secondo una lettura dei dati di prove convenzionali la presenza di polimero nel bitume comporta un abbassamento della temperatura Fraass ed un significativo aumento del punto di rammollimento, consentendo prestazioni migliori al materiale che risulta potenzialmente meno suscettibile alle variazioni termiche. Gli »

Tab. 1 Risultati delle prove convenzionali sui bitumi analizzati

Prove convenzionali	B40/50	B50/70	PMB 30/50-75	PMB 50/70-75
Penetrazione a 25 °C dmm	44	66	35	57
Penetrazione a 15 °C dmm	12	18	14	20
Penetrazione a 5 °C dmm	4	5	4	8
Temp. Palla-anello °C	50,0	46,6	81,5	85,5
Viscosità a 60 °C Pa·s	316	178	213	1820
Viscosità a 135 °C mm ² /s	459			
Viscosità a 160 °C mm ² /s	142 ¹⁾	117 ¹⁾	806	942
Temperatura Fraass °C	-13	-15	-14	-20
Densità a 15 °C kg/m ³	1052	1043	4039	1034
Stabilità allo stoccaggio				
Pen. top/bott a 25 °C dmm			35/35	57/57
Temp. PA top/bott °C			90,0/89,0	90,5/90,0
Prove dopo RFTOT				
Variatione peso %	-0,23	-0,16	-0,07	-0,10
Penetrazione a 25 °C dmm	27	38	25	43
Penetrazione a 15 °C dmm	9	14	11	17
Temperatura PA °C	55,4	52,0	85,5	83,0
Viscosità a 60 °C Pa s	761	402	n.d.	n.d.
Viscosità a 135 °C mm ² /s	676	494	2950	4290
Temperatura Fraass °C	-12	-11	-16	-22

¹⁾ Valori calcolati

effetti dell'invecchiamento dovuti alla miscelazione e posa in opera del materiale, simulato con la prova RTFO, si evidenziano soprattutto per i valori di penetrazione a 25 °C e non comportano per il bitume modificato alcuna sostanziale variazione delle caratteristiche originali rispetto alle temperature di esercizio più estreme. I bitumi modificati Drenoval HM e Drenoval Hard M sono risultati particolarmente stabili allo stoccaggio, indice di una buona compatibilità tra bitume base e polimero.

2. Le prove reologiche sui bitumi

Per l'esecuzione di prove reologiche alle medie ed alte temperature, il Dynamic Shear Rheometer DSR (Fig. 1) è lo strumento più di altri in grado di determinare i parametri viscoelastici del bitume, controllando perfettamente la cinematica del flusso del legante, sottoposto a condizioni di carico e di temperatura esattamente determinate.

Il campione di bitume, in forma semisolido e liquido può essere testato in tutte le temperature di impiego, dalla fase di confezionamento del conglomerato, fino alle temperature proprie della pavimentazione stradale in esercizio.

Nelle applicazioni in campo dinamico con controllo degli sforzi applicati, vengono eseguite prove di modulo complesso a taglio (G^*) del bitume e dell'Angolo di Fase (δ) funzionali a determinare la resistenza del legante ai fenomeni di fatica ed allo sviluppo di deformazioni plastiche.

La componente elastica del modulo complesso ($G^* \cos \delta$) e la componente viscosa ($G^* \sin \delta$) sono infatti strettamente correlati con la suscettibilità delle miscele bituminose ad ammaloramenti per fessurazione da fatica e per ormaimento.

Il Bending Beam Rheometer BBR (Fig. 2) permette invece di quantificare la rigidità e le proprietà di flusso del bitume alle basse temperature. In particolare è possibile determinare il Modulo

di Rigidità del materiale in funzione del tempo $S(t)$ secondo uno schema di carico di un travetto di bitume semplicemente appoggiato sottoposto ad una forza concentrata (1 N) in mezz'ora, sulla base del protocollo di una tipica prova di creep.

Sia il modulo di rigidità $S(t)$ che la velocità con la quale lo stesso modulo evolve nel tempo (m -value), concorrono nella individuazione della temperatura al di sotto della quale la pavimentazione stradale si espone a rischi di fessurazione termica.



Fig. 1 Il Dynamic Shear Rheometer



Fig. 2 Il Bending Beam Rheometer ed i casseri per il confezionamento dei provini di bitume

Le raccomandazioni del progetto SHRP indicano in 300 MPa il valore massimo della rigidità e 0,30 il valore minimo di *m-value* alla temperatura limite inferiore. Sulla base dei diversi risultati delle prove reologiche ed in conformità alla normativa SHRP è possibile attribuire ai bitumi di prova un grado di prestazione, espresso come range di temperatura di impiego in opera, cosiddetto *Performance Grade* (PG, AASHTO MP1) all'interno del quale è possibile ritenere le pavimentazioni stradali esenti da ammaloramenti (ormaiamento e fessurazione termica) attribuiti specificamente alla sola componente legante.

Per ognuno dei bitumi in esame è stato determinato il relativo PG, sinteticamente riportato in Tab. 2. I risultati evidenziano che l'aggiunta di polimero amplifica il campo di applicazione del bitume di base, come nel caso del Drenoval Hard M, estendendo la temperatura da -22 °C fino a +82 °C. Il criterio di resistenza alla fatica posto da SHRP è tale per cui $G^* \sin \delta > 5000$ kPa nel caso di bitume preventivamente invecchiato a lungo termine mediante *Pressure Ageing Vessel* (PAV).

Sempre in Tab. 2 sono indicati i massimi valori di temperatura misurati e prescritti dal progetto statuni-

tense al fine di garantire specificatamente la resistenza a fatica. Si nota che il bitume B50/70 non soddisfa le prescrizioni SHRP per la resistenza a fatica della pellicola del legante, mentre nel caso dei bitumi modificati si osserva una ampia riserva di risorse.

3. I conglomerati bituminosi

I conglomerati bituminosi sono stati preparati con gli stessi bitumi dei quali è stato determinato il performance grade in accordo con la norma SHRP. La matrice litica è costituita da aggregati silicei distribuiti secondo la curva granulometrica di Tab. 3 con diametro nominale massimo di 16 mm. Le percentuali di legante presente nella miscela si collocano in un intorno del 5,4% del peso di bitume rispetto al peso degli aggregati lapidei.

Di tutte le miscele sono stati realizzati campioni di geometria cilindrica di conglomerato bituminoso confezionati mediante pressa a taglio giratoria, imponendo una pressione verticale costante di 600 kPa, un angolo di 21,8 mrad e una velocità di 30 giri al minu-

Tab. 2 Performance Grade e temperatura limite di esercizio per sollecitazioni di fatica

Bitume	Performance Grade	Temperatura misurata (sollecitazioni di fatica)	Massima temperatura (sollecitazioni di fatica) SHRP - Code
B40/50	70-16	29,8 °C	31 °C
B50/70	64-22	32,1 °C	25 °C
PMB 30/50-75 Drenoval HM	82-16	23,9 °C	37 °C
PMB 50/70-75 Drenoval Hard M	82-22	18,8 °C	34 °C

Tab. 3 Curva granulometrica degli aggregati lapidei

Setaccio (mm)	Passante (%)
16,0	100
11,2	80
8,0	67
5,6	56
4,0	47
2,0	33
1,0	23
0,5	16
0,25	11
0,125	8
0,063	6 (50% filler)

to, con una temperatura media di compattazione funzione del tipo di legante.

La compattazione è avvenuta con l'obiettivo di raggiungere il 4% dei vuoti residui controllando la percentuale del peso specifico massimo teorico della miscela pari a 2,44 g/cm³ (G_{mm}, ASTM D2041-94).

limento e la temperatura corrispondente alla rigidità limite della prova BBR sul solo legante, il che consente di considerare quest'ultimo valore un ottimo indicatore delle proprietà delle miscele alle basse temperature. Alle temperature più alte (0÷10 °C) le proprietà del bitume modificato sono assimilabili a quelli dei bitumi naturali, e ciò riafferma il contributo positivo del polimero alle condizioni di esercizio più estreme (Fig. 3 e Fig. 4). Le prove di creep dinamico forniscono indicazioni importanti sul comportamento della miscela alle alte temperature ed in particolare alla resistenza alle deformazioni permanenti di provini di conglomerato bituminoso di 60 mm di altezza sottoposti a continue sollecitazioni di tipo ciclico. Le prove sono state eseguite alla temperatura costante di +40 °C in corrispondenza

4. Le prove sui conglomerati bituminosi

Il comportamento dei conglomerati bituminosi è stato valutato procedendo con una serie di prove di trazione indiretta alle basse temperature (prEN 12697-23) ed una serie di prove di creep dinamico (prEN 12697-25/A).

L'allestimento di prova di trazione indiretta fornisce indicazioni utili sul comportamento alle basse temperature delle miscele: infatti, al diminuire della temperatura, la resistenza a trazione indiretta e la rigidità del conglomerato bituminoso aumentano e raggiungono il loro valore massimo quando nel legante inizia a prevalere un comportamento di tipo fragile. Le prove sono state eseguite in un intervallo di temperatura compreso fra -30 °C e +10 °C. Le prove mettono in evidenza che la temperatura di infragilimento delle miscele, assimilabile alla temperatura in corrispondenza della quale diminuisce la resistenza a trazione del conglomerato, è notevolmente più bassa nel caso dei bitumi modificati ed, in particolare, per il Drenoval Hard M (PMB 50/70-75), coerentemente con quanto evidenziato in termini di prestazioni alle basse temperature del solo legante. In generale è ottima la correlazione tra la temperatura di infragi-

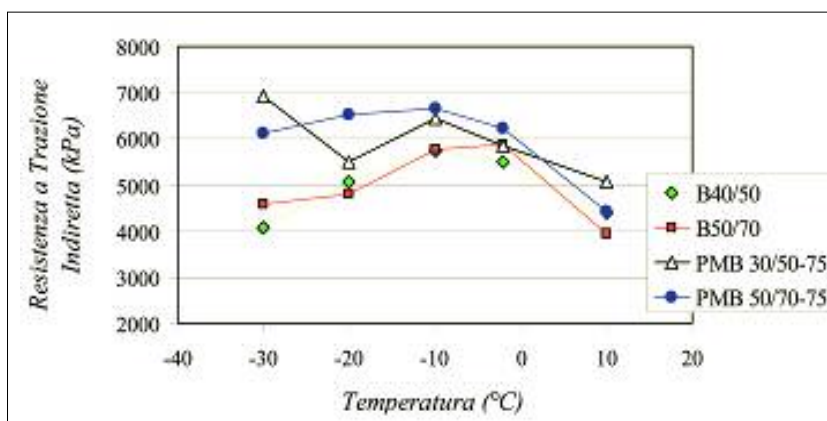


Fig. 3 Resistenza a trazione indiretta alle basse temperature dei conglomerati bituminosi

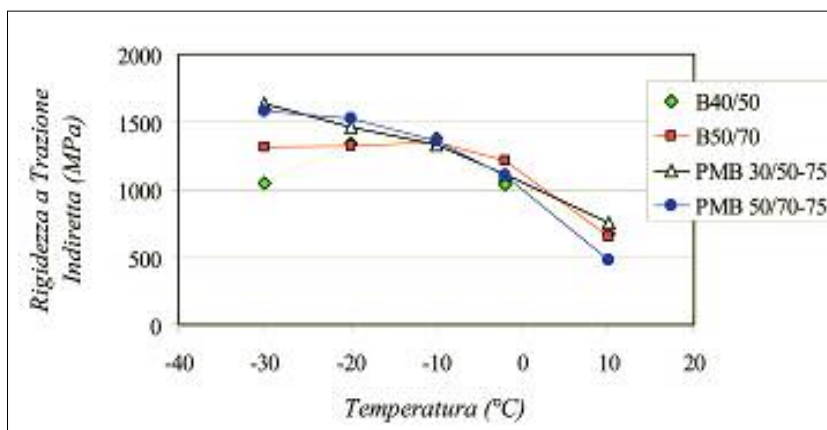


Fig. 4 Rigidità a trazione indiretta alle basse temperature dei conglomerati bituminosi

della quale si è calcolata la deformazione totale ed il tasso con il quale evolvono i fenomeni di creep. Le misure finali sono state eseguite tra 450 e 3600 cicli, cioè nella fase in cui il comportamento del materiale risulta prevalentemente viscoso, dopo una prima fase in cui prevale un comportamento di tipo elastico.

I risultati ottenuti hanno confermato quanto anticipato dalle risultanze in termini di prove reologiche sul solo bitume. Il bitume modificato evidenzia una sostanziale differenza di comportamento rispetto al bitume naturale, differenza non insensibile alla natura del bitume di base (Fig. 5 e Fig. 6) e che comporta una notevole resistenza alle deformazioni plastiche.

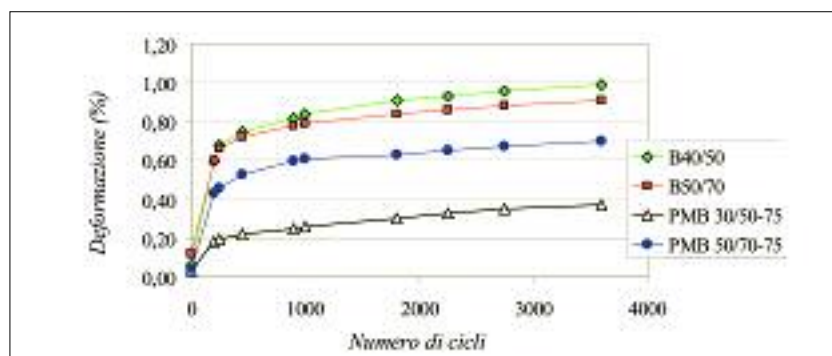


Fig. 5 Deformazioni delle miscele durante prove di creep dinamico

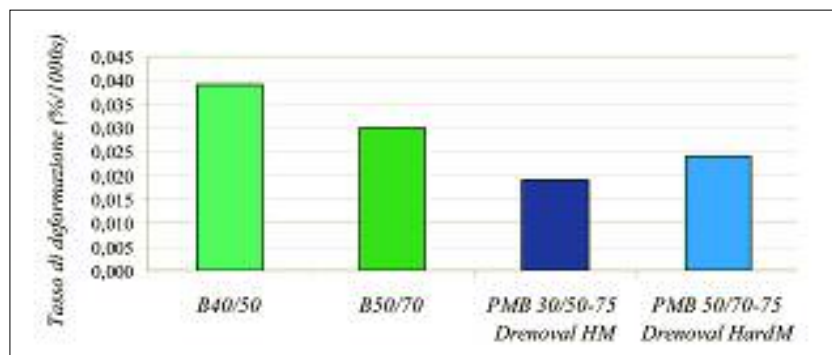


Fig. 6 Tasso di deformazione delle miscele sottoposte a creep dinamico

5. Conclusioni

L'esperienza condotta su bitumi modificati Valli-Zabban, dallo studio della reologia dei leganti alle prove sui conglomerati bituminosi, ha messo in evidenza che l'analisi preliminare di laboratorio è la chiave di lettura essenziale per la valutazione delle

prestazioni di una pavimentazione stradale. La scelta del bitume da impiegare in opera passa da un processo decisionale complesso e articolato ma che la filosofia della norma SHRP ha saputo sintetizzare in un indicatore di immediata comprensione, il Performance Grade.

Proprio il performance grade e tutti i parametri reologici che ne definiscono l'entità finale consentono di discriminare in modo scientificamente rigoroso fra le diverse qualità di bitume ed, in particolare fra bitume e bitume modificato.

6. Riferimenti bibliografici

- ▶ Anderson D.A. et Al., *Binder Characterization and Evaluation*, Volume 3, Physical Characterization, SHRP Report A-369, Strategic Highway Research Program, National Research Council, Washington DC, USA, 1994.
- ▶ Montepara A., Giuliani F., *Effect of low-temperatures on mechanical characteristics of bituminous mixtures*, First Southamerican Winter PROVIAL, World's End Winter Road Congress, Tierra del Fuego, Argentina, Agosto 2000.
- ▶ Montepara A., Giuliani F., *Comparison between ageing simulation tests of bitumen*, 2nd Eurasphalt & Eurobitume Congress, Barcellona, Spagna, Settembre 2000.
- ▶ Santagata E., Canestrari F., Giuliani F., *Influenza del filler sul comportamento reologico dei mastici alle basse temperature. Analisi comparativa con il bending beam rheometer*, Convegno Nazionale SIV "I materiali nella sovrastruttura stradale", Società Italiana Infrastrutture Viarie, Ancona, Italia, 14-16 Ottobre 1996.
- ▶ Montepara A., Giuliani F., Antunes I., D'Elia L. e P. Italia, *Evaluation of modified bitumen out of the linear viscoelastic approach*, 3th Eurasphalt & Eurobitume Congress, Vienna, Austria, 11-14 Maggio 2004. ■