

SITEBSi srl
**Rassegna
del bitume**

RIVISTA DEL SITEB-ASSOCIAZIONE ITALIANA BITUME ASFALTO STRADE

ESTRATTO DAL N° **34/00**

**Caratterizzazione prestazionale di strati di base
con conglomerato bituminoso ad "alto modulo complesso"**

Performance characteristics of high module asphalt mixes

*Fabio Capanelli
Valli Zabban , Sesto Fiorentino, FI*

*Antonio Montepara
Università di Parma, Dipartimento di Ingegneria Civile*

Caratterizzazione prestazionale di strati di base con conglomerato bituminoso ad "alto modulo complesso"

Performance characteristics of high module asphalt mixes

FABIO CAPANELLI

Valli Zabban SpA, Sesto Fiorentino FI

ANTONIO MONTEPARA

Dipartimento di Ingegneria civile, Università di Parma

Riassunto

La manutenzione delle pavimentazioni stradali rappresenta un gravoso problema nella gestione della rete viaria. Infatti, l'imprevedibile incremento del traffico stradale, in particolare la componente di traffico pesante, ha mandato in crisi le sovrastrutture stradali in tempi molto più brevi rispetto al periodo di "vita utile" previsto in fase di progetto.

Per gli interventi di ripristino strutturale di un tronco della Autostrada del Brennero A22, è stata sperimentata una nuova miscela in C.B. ad alto modulo complesso per strato di base. Il progetto della sovrastruttura è nato da una collaborazione fra la Società Autostrada del Brennero A22, la Società Valli Zabban e l'Università di Parma.

Tale soluzione ha conferito elevate caratteristiche prestazionali alla nuova sovrastruttura stradale, raggiungendo una resistenza a fatica di "progetto" confrontabile con quella di una pavimentazione semirigida, rispettando le quote di progetto iniziali.

Summary

The maintenance of road pavings submits a difficult problem to the management of the road network. The unforeseen increase of traffic, and particularly of its heavy component, jeopardizes the road facilities well in advance of the anticipated "useful life period".

For the structural restoration of a tract of the Brennero A22 highway, a novel mixture of high

module asphalt mix was tested as base layer

The project was jointly undertaken by Valli Zabban and the University of Parma.

This solution has conferred high performance to the new road superstructure.

1. Introduzione

Lo sviluppo sistematico della ricerca nel settore dei bitumi modificati ha consentito negli ultimi anni di proporre soluzioni efficaci per il dimensionamento e la durabilità delle pavimentazioni stradali; in particolare seguendo un'adeguata metodologia progettuale, supportata da una approfondita analisi di laboratorio, è possibile di realizzare miscele bituminose ad elevate prestazioni. Ad esempio, l'elevato incremento del volume di traffico pesante verificatosi nelle principali arterie stradali italiane ha richiesto pavimentazioni con una resistenza a fatica adeguata. La soluzione adottata da molte società autostradali è stata la trasformazione della sovrastruttura da flessibile a semirigida, mediante l'inserimento di uno strato in misto cementato. In questo caso, la realizzazione dello strato di base con "conglomerato ad alto modulo complesso" può rappresentare una valida alternativa. In tale contesto una sperimentazione avanzata è stata fatta dalla Società Autostrada del Brennero A22. Sul tratto autostradale in gestione negli ultimi anni è stato registrato un'imprevedibile aumento del traffico che ha messo in crisi la pavimentazione che, pur

supportando un numero di passaggi ben superiore a quello previsto in fase di progetto, vede avvicinarsi anzitempo la fine della vita utile. Per un adeguato intervento di riqualificazione la società ha deciso di sperimentare l'uso di conglomerati bituminosi innovativi. Al fine di progettare e realizzare una miscela per strato di base ad "alto modulo", con caratteristiche meccaniche comparabili a quelle di un misto cementato, è stata avviata una collaborazione tra Società Autostrada del Brennero A22, Valli Zabban SpA e Università degli studi di Parma. La ricerca ha riguardato: la scelta del tipo di legante, lo studio della curva granulometrica e la messa a punto di un'adeguata tecnica di mix design.

2. L'intervento manutentivo

Il tratto autostradale interessato al risanamento profondo e destinato a campo prove è stato la corsia di marcia della carreggiata sud dell'Autostrada del Brennero A22, tra i caselli di Mantova sud e Pegognaga, compreso fra il km 274+156 ed il km 275+870. Il risanamento profondo ha riguardato tutta la pavimentazione con l'inserimento di uno strato di geotessile al di sopra della fondazione in misto granulare (35 cm) e ricostruendo la serie degli strati

legati. La sovrastruttura è stata realizzata con: 5 cm di usura, 5 cm di binder, 18 cm di base con C.B. ad "alto modulo". La scelta dei materiali da impiegare e del mix design è stata il risultato di una specifica indagine sperimentale condotta nel Laboratorio Valli Zabban di Bologna e nel Laboratorio Prove Materiali e Strutture del Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università di Parma.

3. L'indagine sperimentale

La ricerca è stata basata sul corretto mix-design dello strato di base ad alto modulo verificando in laboratorio la capacità di addensamento raggiunta dai diversi impasti e le corrispondenti caratteristiche meccaniche. I conglomerati bituminosi studiati sono stati posti in opera nel campo prova allestito dalla Società Autostrada del Brennero A22, al fine di valutare il loro comportamento in esercizio.

Lo studio è stato condotto con la seguente procedura:

- mix design di miscele con bitume ad alto modulo;
- caratterizzazione volumetrica e meccanica delle miscele;
- valutazione del comportamento a fatica delle miscele;
- stesa sperimentale e controlli.

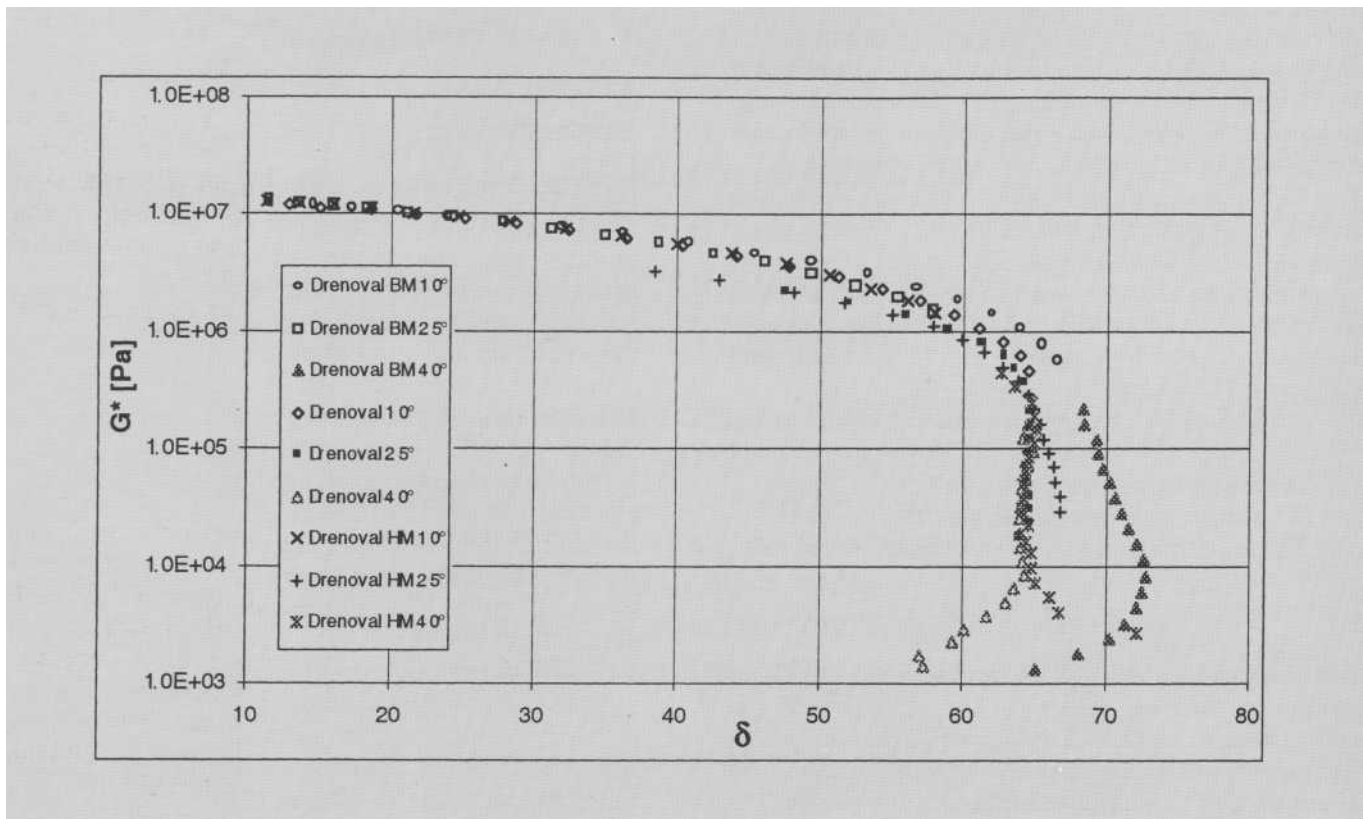


Fig. 1 - Caratteristiche prestazionali dei bitumi.

4. I materiali

4.1 I bitumi

Nella sperimentazione sono stati presi in esame tre miscele, due confezionate con bitumi modificati appositamente prodotti per l'impiego nello strato di base:

- Bitume per C.B. Chiusi - Drenoval BM
- Bitume ad C.B. Alto Modulo - Drenoval HM

Tabella 1: Caratteristiche dei bitumi

Bitume	Prima RTFOT	Dopo RTFOT
60/70		
Penetrazione a 25° C (dmm)	62	44
R&B (°C)	46,8	52,6
Viscosità a 60°C (Pa·s)	154	312
Punto di rottura Fraass (°C)	-13	n.d.
Drenoval BM		
Penetrazione a 25°C (dmm)	57	42
R&B (°C)	70,8	71,2
Viscosità a 60°C (Pa·s)	825	1206
Punto di rottura Fraass (°C)	-17	n.d.
Drenoval HM		
Penetrazione a 25°C (dmm)	34	27
R&B (°C)	73,6	75,4
Viscosità a 60°C (Pa·s)	1730	2480
Punto di rottura Fraass (°C)	-12	n.d.

Un terzo conglomerato, di riferimento, è stato confezionato con un bitume 60/70 naturale.

4.2 Composizione granulometrica

Gli aggregati lapidei adottati sono di natura porfidica e di ottima qualità ed il loro impiego ha permesso, tra l'altro, di risolvere il problema locale del riciclag-

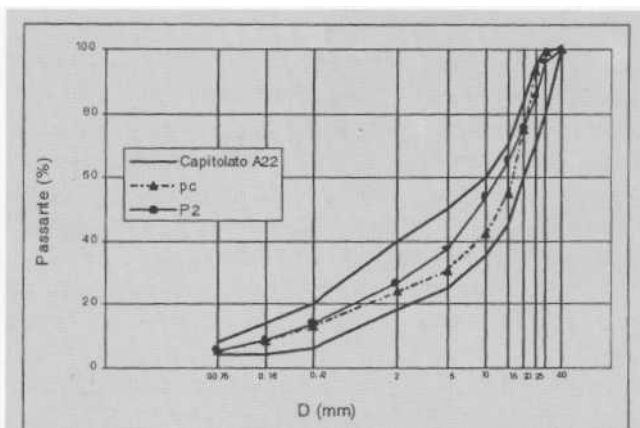


Fig. 2 - Fuso Capitolato A22 e curve granulometriche.

gio degli scarti della lavorazione del porfido.

Dei tre conglomerati due sono stati realizzati con una composizione granulometrica tipica rientrante nel fuso previsto nel Capitolato "A22" per i C.B. dello

Tabella 2: Caratteristiche granulometriche delle miscele

	(mm)	% passante					
		Capitolato Autobrennero	p.c.	P1	P2	P3	
Setacci ASTM	0,075	4	8	5,18	5,63	5,27	5,37
	0,18	4	14	8,17	8,61	8,47	8,27
	0,42	6	20	12,77	13,32	13,87	13,51
	2	18	40	23,64	24,06	26,59	24,87
Crivelli UNI	5	25	50	30,57	29,92	37,55	31,96
	10	35	60	41,94	40,9	53,78	43,64
	15	45	70	54,85	56,79	64,94	59,88
	20	60	84	74,85	69,98	75,59	73,81
	25	70	95	93,28	88,53	84,99	90,03
	30	80	100	98,94	97,76	95,66	100
	40	100	100	100	100	100	100

strato di base (P1, P2), mentre per il terzo è stata utilizzata una curva granulometrica (P3) rientrante nel fuso, ma appositamente studiata per limitare eventuali problemi di lavorabilità dovuti alle caratteristiche del bitume. Come termine di confronto, è stato confezionato un quarto impasto con bitume naturale di classe di penetrazione 60/70 (PC.).

La composizione granulometrica delle miscele è riportata in tabella 2.

4.3 Le miscele bituminose

In relazione alle diverse curve granulometriche e principalmente alle diverse caratteristiche del legante sono state utilizzate percentuali di bitume sul peso degli aggregati variabili tra 4,13% e il 4,82%. La percentuale di bitume più elevata (4,82%) è stata usata per la miscela P2 per conferire, unitamente al tipo di legante, un'elevata resistenza meccanica al C.B. In opera, al termine della stesa dello strato di base, sono state prelevate cinque carote per ciascuna miscela di prova al fine di completare il raffronto in termini di prestazioni e di effettiva capacità di addensamento.

5. Le prove di laboratorio

Le prove di laboratorio hanno voluto preventivamente accertare l'idoneità all'impiego dei conglomerati bituminosi, confezionati secondo le prescrizioni dei Capitolati esistenti in termini di stabilità Marshall (CNR B.U. 30/1973) e di percentuale di vuoti residui.

Sono state, inoltre, effettuate prove di trazione diretta (ASTM D-4123). I risultati sono riportati nelle tabelle 3 e 4. Dopo la caratterizzazione classica per i C.B. si è condotta un'indagine sperimentale per valutare le caratteristiche prestazionali delle miscele in sito. Gli elevati valori di consistenza e di viscosità dei bitumi ad "alto modulo" impiegati, soprattutto in previsione del considerevole spessore di conglomerato per strato di base da porre in opera (18 cm), hanno suggerito un'indagine sulla capacità di addensamento delle miscele attraverso l'impiego della pressa a taglio giratoria (SHRP A-408).

Come è noto il numero dei giri per la compattazione è funzione del traffico e della temperatura di esercizio previsti. I dati del traffico attuale, nel tratto della A22 considerato, hanno portato a considerare un numero di passaggi di assi standard equivalenti (ESAL) superiore a 100 milioni per la vita utile della nuova pavimentazione.

Seguendo le indicazioni della norma SHRP, le condizioni di addensamento delle miscele nelle configurazioni di esercizio ed al termine della vita utile si sono ottenute imponendo un numero di giri della pressa giratoria rispettivamente pari a $N_{design} = 142$ e $N_{max} = 233$.

Tabella 3: Caratteristiche volumetriche delle miscele

Miscela	Tipo di Bitume	% Bitume	% Vuoti
PC	60/70	4,22	4,6
P1	Drenoval BM	4,13	5,1
P2	Drenoval HM	4,82	3,8
P3	Drenoval HM	4,19	5,1

Tabella 4: Caratteristiche meccaniche delle miscele

Miscela	Stabilità Marshall (kN)	Scorrimento (mm)	Traz. Indiretta (N/mm ²)
PC	16,61	4,21	1,33
P1	22,20	3,85	1,71
P2	24,65	4,00	1,90
P3	21,63	3,98	1,74

Per valutare le prestazioni meccaniche delle diverse miscele si sono ricavati i valori di modulo complesso (ASTM D-3497), di angolo di fase e, soprattutto, di modulo resiliente, applicando le configurazioni di carico proposte dalla norma ASTM D-4123/87 alla temperatura di 25 °C. Le prove di modulo complesso con la misura dell'angolo di fase, sono state effettuate alle temperature di 10, 25 e 40°C; si è preferita la temperatura di prova di 10 °C, rispetto a quella di 5 °C proposta dall'ASTM, in quanto è più rappresentativa delle reali condizioni di esercizio dello strato di base. Inoltre, è stata aggiunta alle frequenze consigliate di 1, 4, 16 Hz, la frequenza di carico di 10 Hz.

5.1 Risultati dell'indagine di laboratorio

Dall'andamento delle curve di addensamento (figura 3) si evidenzia come tutte le miscele in corrispondenza del valore di $N_{design} = 142$ (rappresentativo delle condizioni di inizio vita utile) abbiano una densità superiore al 94% (ovvero percentuale di vuoti residui inferiore al 6%, massimo consentito per un conglomerato ad "alto modulo"), facendo però riferimento alla minima densità ottimale, pari al 96%, si nota come la miscela P.C. sostanzialmente soddisfi la condizione e solo la miscela P2 presenti un valore superiore; questo conferma che i timori relativi alla difficoltà di addensamento ipotizzati in fase di progetto delle curve granulometriche in relazione alle caratteristiche del bitume erano fondati. Dal punto di vista della lavorabilità, individuata dalla pendenza delle curve di addensamento nel tratto compreso tra $N_{initial}$ e N_{design} , si nota che rispetto al conglomerato P.C., realizzato con bitume naturale, le miscele P1 e P3 non presentano sostanziali diversità. La miscela P2 ha un comportamento migliore rispetto a tutte le miscele realizzate, quindi è possibile affermare che il mix design influenza notevolmente le caratteristiche di lavorabilità, specialmente se si impiega bitume modificato.

In particolare è da notare la differenza di comportamento tra la miscela P2 e la miscela P3, realizzate con lo stesso tipo di legante; ciò evidenzia come il mix design della P2 riesca effettivamente a garantire un addensamento ottimale del materiale, in relazione al tipo di bitume usato. Infine è possibile rilevare come nessuno dei conglomerati manifesti tendenza all'ormaiamento, restando il valore della densità al di sotto del 98% in corrispondenza di N_{max} .

I risultati delle prove di modulo complesso ottenuti su campioni confezionati con pressa giratoria hanno permesso la costruzione di curve maestre secondo il principio di equivalenza tempo-temperatura (figura 4). I valori di E^* sono sostanzialmente elevati soprattutto alle basse frequenze di carico ed alle più alte temperature di prova. Tale miglioria, attesa per il

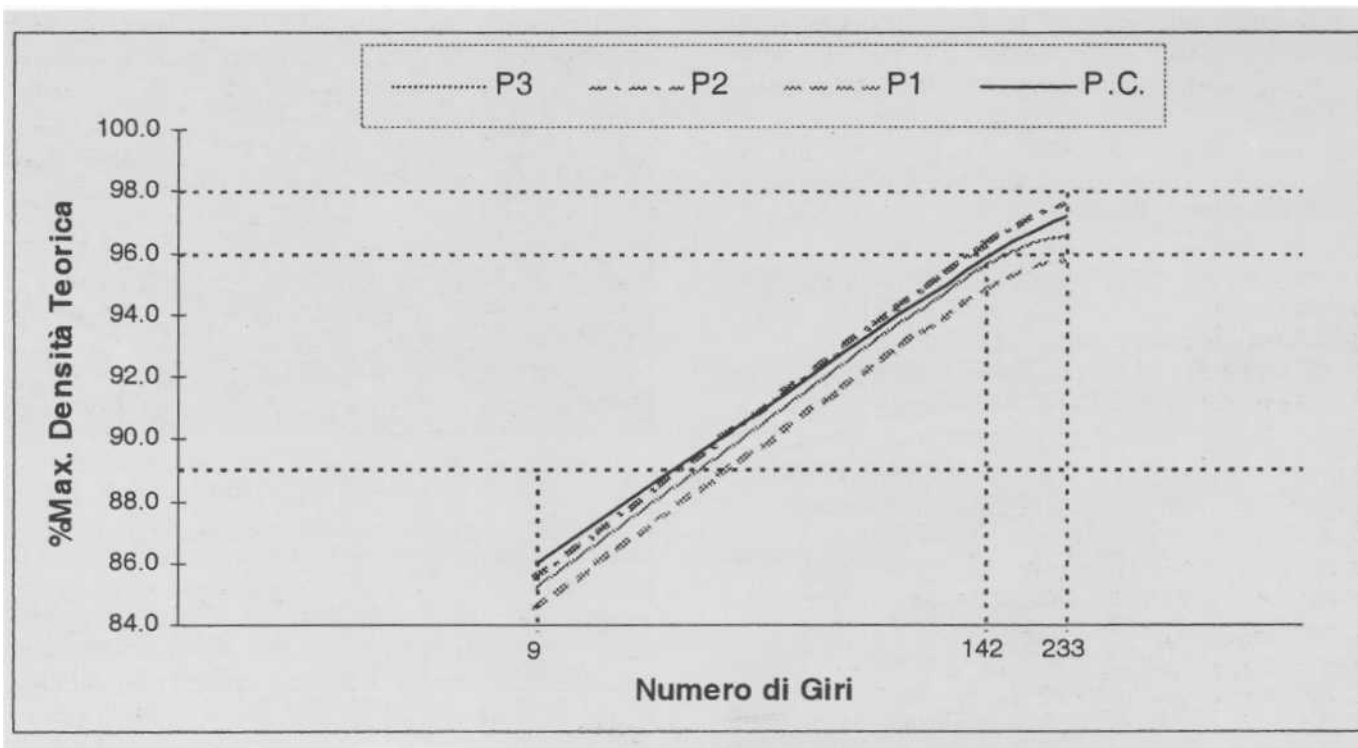


Fig. 3- Curve di addensamento delle miscele.

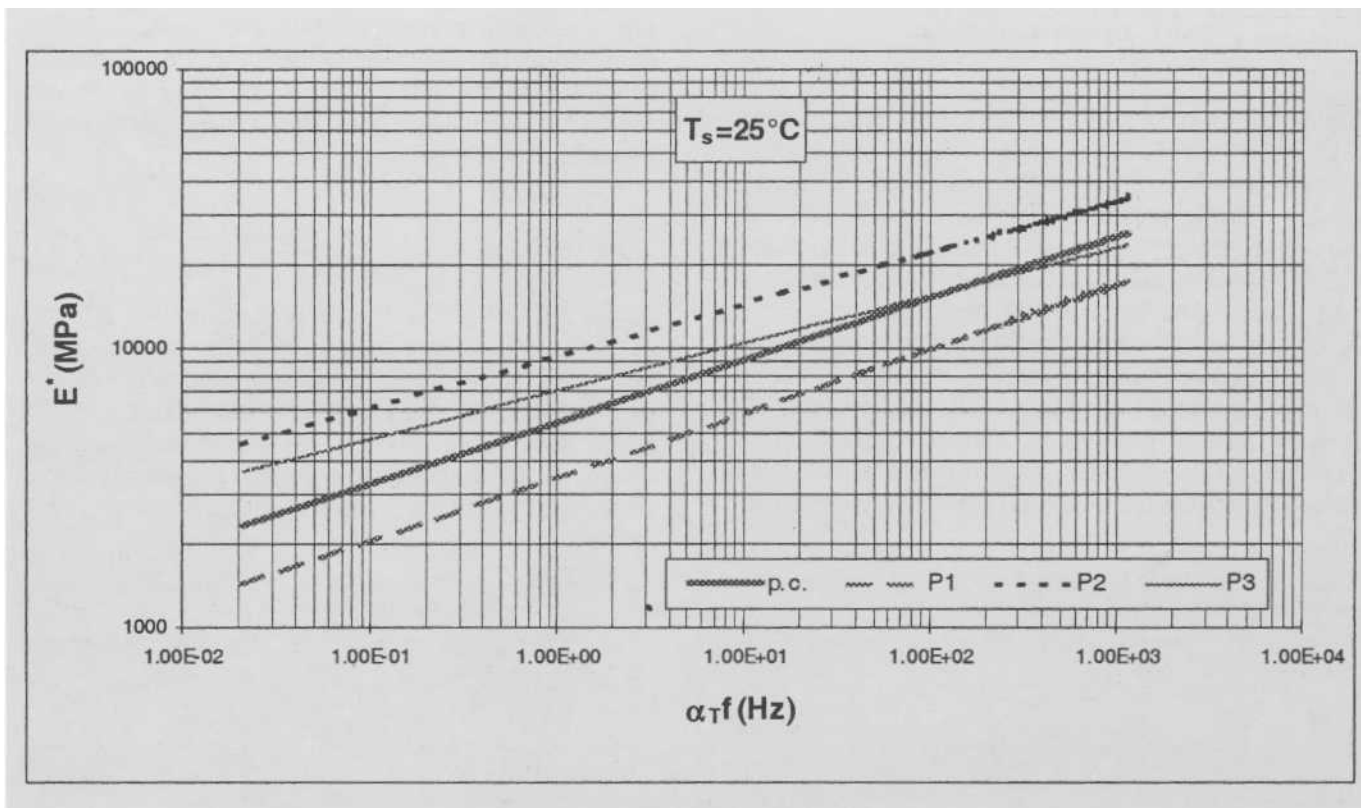


Fig. 4 - Master Curve del modulo complesso (Campioni realizzati in laboratorio con la pressa giratoria).

tipo di legante impiegato, è particolarmente evidente per la miscela P2 dove emerge il contributo della particolare distribuzione granulometrica della matrice litica.

6. Stesa sperimentale

La stesa è stata realizzata in tre tratti, uno per ogni miscela:

1. dal km 274+156 al km 275+414 miscela P1
2. dal km 275+414 al km 275+475 miscela P2
3. dal km 275+475 al km 275+870 miscela P3.



Foto 1 - Le operazioni di stesa.

I lavori sono stati realizzati dall'impresa "Turchi Cesare & C." dal 13 al 16 ottobre 1997 (foto 1 e 2). Prove di modulo complesso sono state eseguite anche su carote prelevate immediatamente dopo la fine dei lavori, per valutarne il comportamento meccanico nelle condizioni di esercizio e verificare l'efficacia della stesa in termini di prestazioni meccaniche (figura 6) e di effettivo addensamento raggiunto. Se si confronta il comportamento dei tre conglomerati realizzati con bitume modificato, prendendo come termine di paragone i risultati della P.C., si nota come i timori relativi alle difficoltà di addensamento dei materiali trovino un effettivo riscontro in

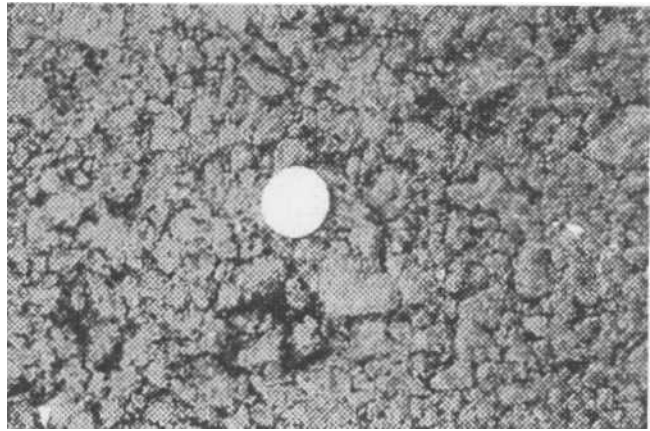


Foto 2 - Lo strato di base ad alto modulo.

fase di messa in opera: infatti la miscela P2, in cui il problema era stato considerato durante la progettazione della curva granulometrica, è quella che presenta i valori di modulo più alti, in particolare alle basse temperature che risultano essere le più significative in relazione all'impiego della miscela per lo strato di base.

Per uno studio del comportamento a fatica delle diverse miscele, sono stati previsti successivi prelievi di carote nelle varie distese realizzate con scadenza temporale di 6, 18 e 24 mesi.

Si riportano in figura 7 le curve di fatica ottenute da prove su carote prelevate subito dopo la stesa. E' evidente come tutte le miscele hanno un comportamento a fatica migliore rispetto alla miscela base. In particolare è rilevante l'elevata resistenza a fatica della miscela ad alto modulo P2.

7. Conclusioni

La manutenzione delle pavimentazioni stradali rappresenta un gravoso problema nella gestione della rete viaria. Infatti l'imprevedibile incremento di traffico stradale che si è avuto, in particolare la componente di traffico pesante, ha mandato in crisi le sovrastrutture stradali in tempi molto più brevi rispetto al periodo di "vita utile" che era stato previ-

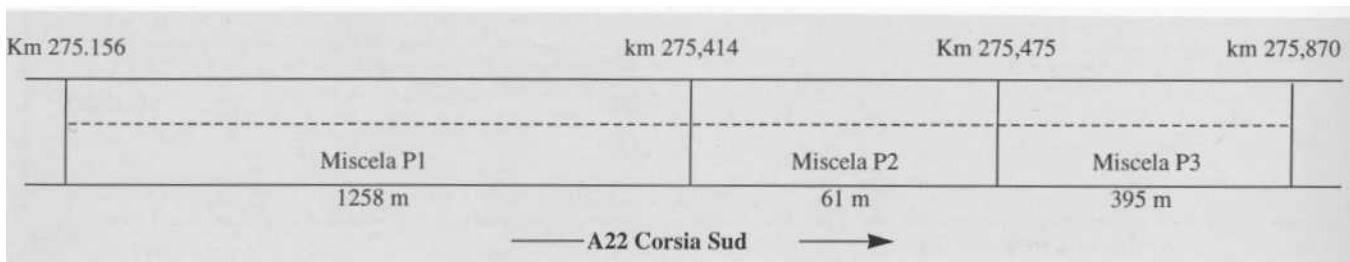


Fig. 5 - Schema della stesa sperimentale.

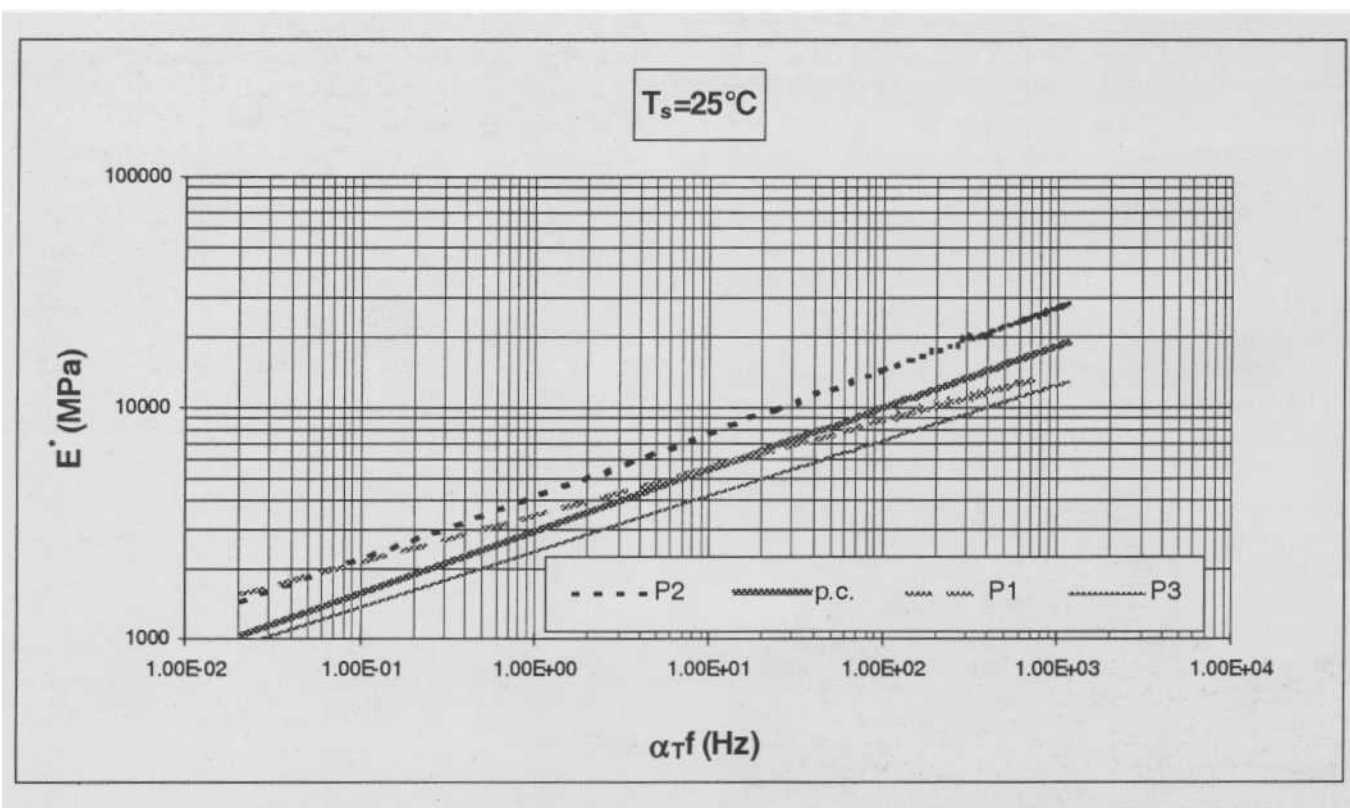


Fig. 6 - Master Curve del modulo complesso (prelievi da stesa sperimentale).

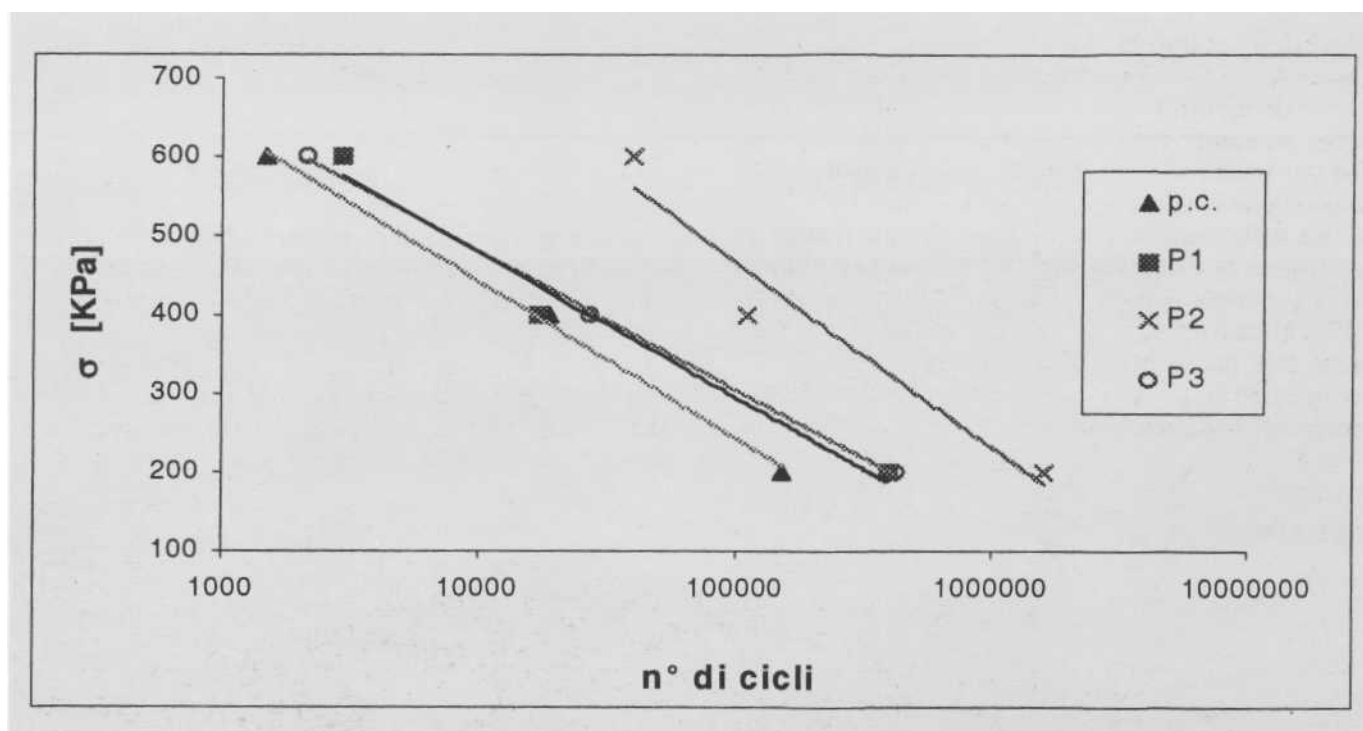


Fig. 7 - Curve di fatica (prelievi da stesa sperimentale).

sto in fase di progetto. Per gli interventi di ripristino strutturale è stata sperimentata una nuova miscela in C.B. ad alto modulo complesso per la sostituzione dello strato di base. Il progetto del C.B. ad alto modulo complesso per lo strato di base è nato da una collaborazione fra la Società Autostrada del Brennero A22, la Società Valli Zabban e l'Università di Parma.

A tale scopo è stato affrontato lo studio di una serie di miscele ad "alto modulo" ottenute con diversi bitumi modificati e curve granulometriche. Le prestazioni di questi conglomerati sono particolarmente elevate e permettono di ottenere una elevata capacità portante della pavimentazione ed un'ottima resistenza a fatica.

Allo studio di laboratorio per definire il corretto mix-design e per valutare la lavorabilità è seguita la realizzazione di una stesa sperimentale.

Lo studio è stato articolato nelle seguenti fasi

- progetto delle miscele e caratterizzazione volumetrica e meccanica;
- valutazione della lavorabilità delle miscele;
- realizzazione di una stesa sperimentale su un tronco autostradale della Autostrada del Brennero A22, tra i caselli di Mantova e Pegognaga;
- valutazione del comportamento a fatica dei conglomerati progettati in laboratorio e posti in opera.

I risultati a cui si è pervenuti, sia con l'analisi volumetrica sia con la caratterizzazione meccanica, hanno mostrato una chiara valenza del conglomerato ad alto modulo per in rinforzo strutturale delle pavimentazioni. In particolare l'indagine di laboratorio

ha mostrato come nella progettazione dei conglomerati ad alto modulo sia indispensabile impiegare la pressa giratoria per valutare quantitativamente il grado di lavorabilità di impasti. Inoltre lo studio di un'apposita curva granulometrica ha condotto alla definizione di un impasto idoneo, che presenta valori di resistenza a fatica, a parità di legante, sistematicamente superiori rispetto ai conglomerati tradizionali.

Bibliografia

1. G. Camomilla, *Nuove tecniche di pavimentazione per le strade*, Le strade, Febbraio 1999, n. 1344, pagg. 92-93.
2. M. Pasetto, *Contributo dei bitumi ad alto modulo complesso al miglioramento delle caratteristiche di portanza delle pavimentazioni stradali*, Rassegna del Bitume, 1997, pagg. 35-44.
3. R. Roque, W. G. Buttlar, *The Development of Measurement and Analysis System to Accurately Determine Asphalt Concrete Properties Using the Indirect Tensile Mode*, Journal of the AAPT, 1992, n. 61, pagg. 304-308.
4. L. Franken, A. Vanelstraete, *Complex Moduli of Bituminous Binders and Mixtures: Interpretation and Evaluation*; Proceedings, Eurasphalt & Eurobitume Congress, 1996, 4.047, pagg. 4-9.
5. V. Castagnetta, *I materiali bituminosi modificati in Italia e le prospettive europee*, Atti del XXIII Convegno Nazionale Stradale AIPCR, Verona, 1998, vol. 1, pagg. 137-139.

