

**SITEBSi srl**

# Rassegna del bitume

**RIVISTA DEL SITEB-ASSOCIAZIONE ITALIANA BITUME ASFALTO STRADE**

ESTRATTO DAL N° **34/00**

**Caratterizzazione dei bitumi modificati: tecnologia  
"Superpave" e altri metodi**

**Characterization of modified binders using Superpave  
and others technologies**

*Alberto Girelli*

*Direttore della "Rassegna del Bitume"*

# Caratterizzazione dei bitumi modificati: tecnologia "Superpave" e altri metodi

## Characterization of modified binders using Superpave and others technologies

ALBERTO GIRELLI

*Direttore della "Rassegna del Bitume"*

### Riassunto

*Il lavoro originale dal quale sono tratte le presenti note è stato eseguito per tentare di collegare in modo più realistico le specifiche dei bitumi, in relazione alle prestazioni nell'applicazione pratica.*

*Secondo gli autori, rappresenta un passo in avanti per utilizzare in modo efficace la tecnologia sviluppata dallo Strategie Highway Research Program negli USA.*

### Summary

*The original work on which this paper is based was performed to correlate asphalt binder specification with the true performance in the practical application.*

*According to the Authors, it is an advanced step of effective utilization of technology developed by the Strategie Highway Research Program in the USA.*

### 1. Premessa

Una critica mossa da sempre al programma SHRP-Superpave era quella che i protocolli messi a punto mal si conciliavano con i bitumi modificati (PMB). Ora un nuovo sistema di classificazione dei PMB li divide in leganti semplici e leganti complessi, è il protocollo Superpave per i PMB, gennaio 1998.

Un PMB è classificato complesso in base sia alle caratteristiche fisiche del modificante sia sul suo effetto. Taluni leganti, modificati con particolari additivi, possono essere complessi a causa della loro anisotropia; ciò comporta interferenza con la geometria di prova, così che una valutazione del loro ruolo nelle prestazioni di

una pavimentazione può emergere solo dall'analisi di strati (film) sottili del legante, quali si hanno appunto nella pavimentazione. Altri leganti possono essere complessi perché altamente tissotropici o molto dipendenti dalla deformazione.

### 2. Revisioni proposte per il Superpave

Per far fronte alla complessità dei PMB viene proposto un gruppo di prove considerate più appropriate (1, 2). La proposta segue una sperimentazione condotta su 40 PMB ottenuti da due bitumi ricorrendo a 17 tipi di additivi o a tecniche di modificazione. Il nuovo protocollo consente di tenere conto dell'effetto del comportamento non lineare e di quello di carichi ripetuti.

#### 2.1. Il saggio LAST e il saggio PAT

Il saggio di stabilità LAST (Laboratory asphalt stability test) consente di valutare i seguenti fattori:

- effetto di stoccaggio prolungato ad alta temperatura (tra 160 e 180 °C);
- effetto dell'agitazione meccanica dei leganti modificati;
- proprietà relative alle prestazioni, misurate a più temperature e frequenze.

L'apparecchiatura di prova riproduce in piccola scala un serbatoio verticale; consiste in un contenitore coibentato, riscaldato internamente da una resistenza a spirale, mantenuta a temperatura costante da un termostato, con un agitatore verticale a doppia elica a quattro pale (Fig. 1). Il contenuto (400 mL) viene agitato a rpm costanti (25-27 giri/min.); si prelevano campioni del con-

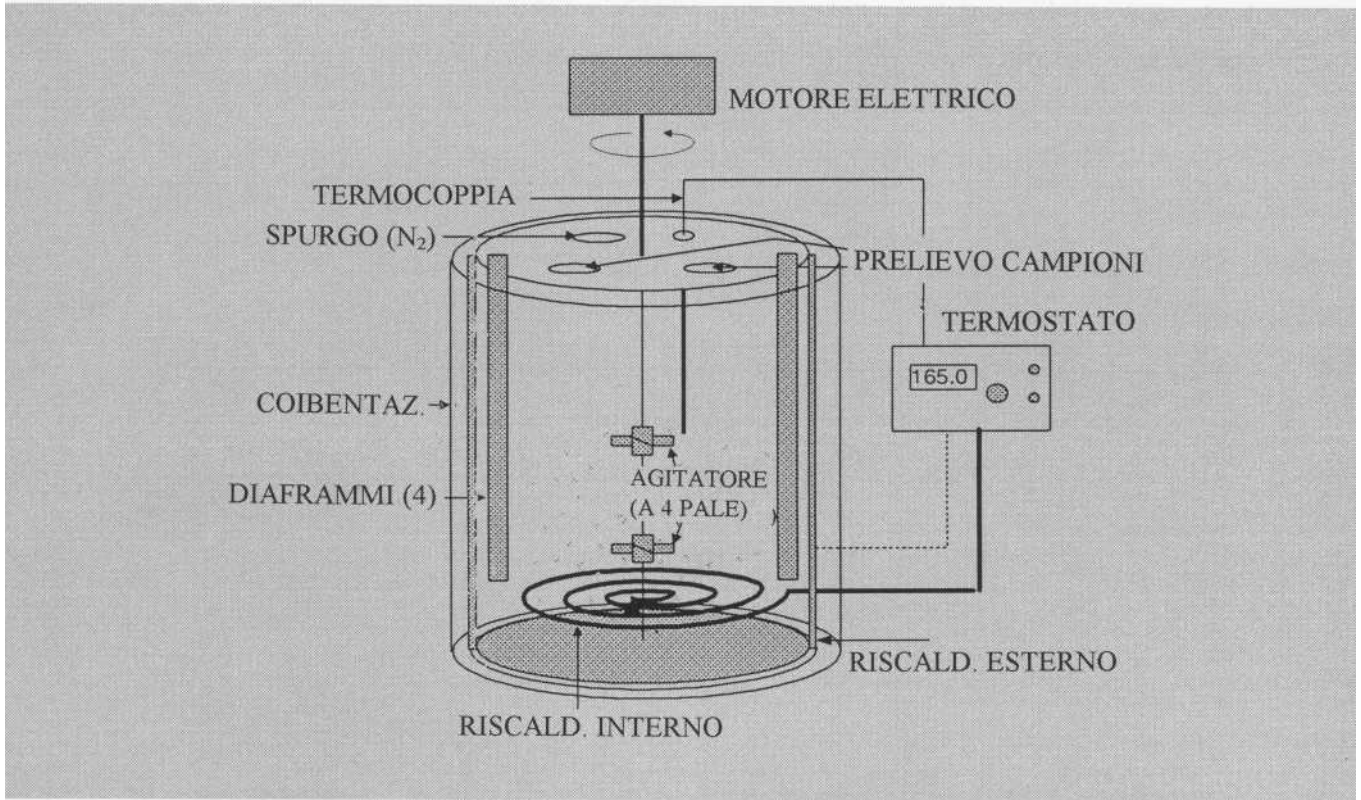


Fig. 1 - Apparecchio per la prova LAST

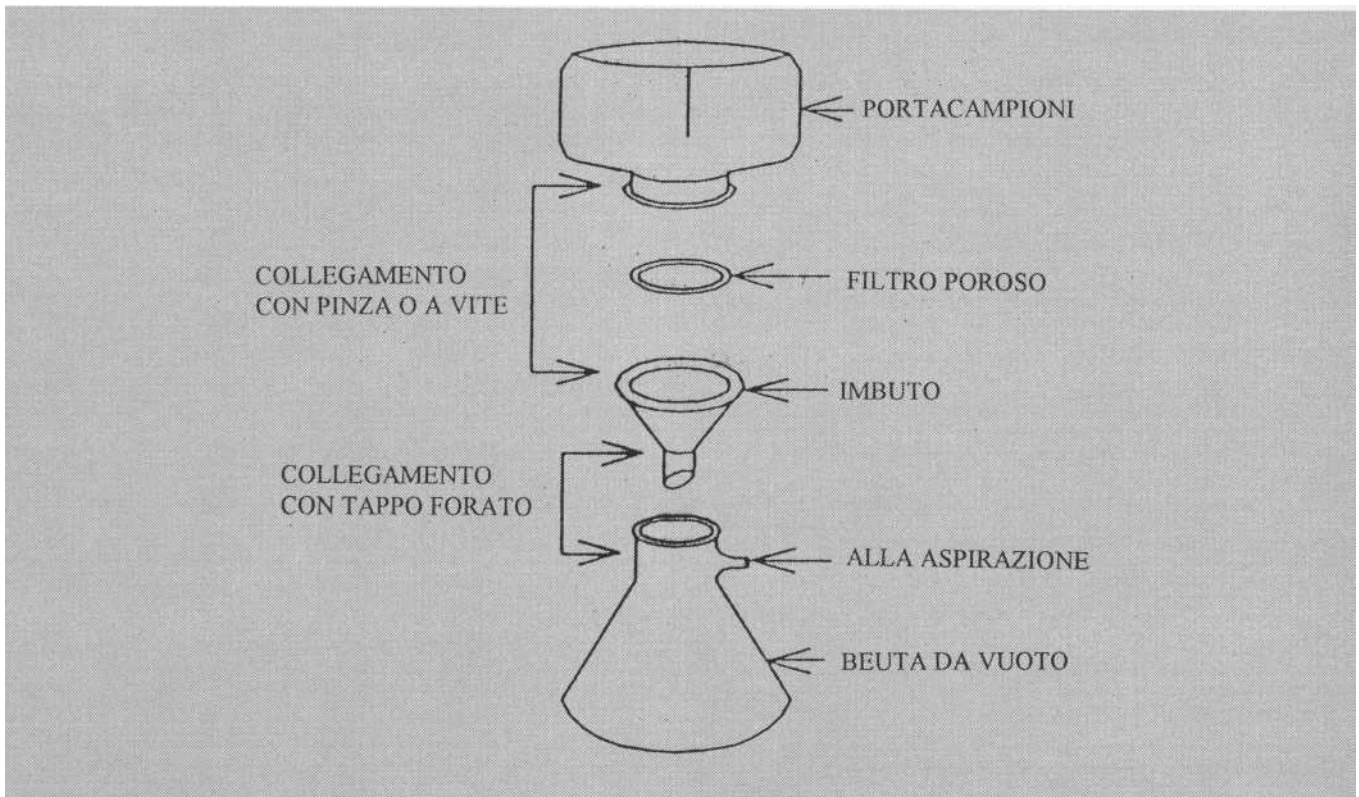


Fig. 2 - Apparecchio per il saggio PAT

tenuto a intervalli di tempo stabiliti, in testa e in fondo, senza fermare termostatazione e agitazione.

Il saggio PAT di qualità dell'additivo (Polymer additive test) comporta la separazione delle particelle >250 micron dell'additivo dal PMB. L'apparecchiatura è un semplice dispositivo di filtrazione sotto aspirazione (Fig. 2). Si scalda a 135 °C il PMB fino a fluidificarlo quanto basta per versarne circa 10 mL in una beuta da 125 mL; si scioglie a caldo unendo in piccole porzioni 100 mL di solvente (n.ottano, toluene) sotto agitazione continua. La soluzione diluita del PMB viene fatta passare attraverso un setaccio da 200 mesh (0,075 mm) che separa il particolato avente dimensioni >75 micron. Si raccoglie il materiale rimasto sul setaccio in una provetta, si aggiunge solvente e si centrifuga per 30 min. a circa 3000 rpm. Si misura la quantità di solido sul fondo della provetta (+ o - 0,01 mL). Si calcola il % di materiale solido >200 mesh rispetto al volume iniziale del campione.

## 2.2 Il RTFOT modificato

La prova detta RTFOT (rolling thin film oven test) è impiegata da tempo anche per valutare l'invecchiamento dei bitumi. La sua estensione ai bitumi modificati è praticamente impossibile, perché a causa della loro elevata viscosità i PMA non "rotolano" entro il recipiente durante la prova stessa, mentre in alcuni casi il campione deborda dal recipiente. Per superare questo inconveniente sono state considerate due alternative: 1) eseguire la prova in presenza di alcune sfere di acciaio per indurre forze di taglio per assicurare la spalmatura di film sottili, 2) ottenere lo stesso risultato inserendo nel recipiente una barretta di acciaio. Si è preferita una barretta, perché più pratica e perché rimane pulita dopo la prova di invecchiamento, lunga 127 mm, diametro 6,35 mm.

Accertato che la presenza della barretta entro il recipiente non influisce sul risultato della prova applicata a bitumi tal quali, né in presenza di cariche inerti, si sono esaminati numerosi campioni di PMA con il procedimento modificato, denominato RTFOTM. In tutte le prove la barretta ha funzionato, assicurando la spalmatura uniforme del campione. Per evitare la - pur rara - fuoriuscita del campione dal recipiente basta inclinare leggermente (di 2 °) quest'ultimo entro la stufa..

## 3. Classificazione dei PMA e prestazioni della pavimentazione

La prestazione del PMA nella pavimentazione stradale dipende dalle condizioni del traffico: velocità, carichi ripetuti, nonché dalla struttura della pavimentazione stessa.

### 3.1 Velocità del traffico

Per valutare il procedimento di classificazione dei PMA per tenere conto della velocità del traffico, si è ricorsi ai dati della frequenza dei passaggi per calcolare le temperature "critiche" (le temperature alle quali è soddisfatto il requisito  $G \text{ sen } \delta = 5000 \text{ kPa}$ ). Cambiando l'ipotesi di traffico da frequenza 1,5 Hz (traffico normale) a 0,15 Hz (traffico lento) la temperatura critica cambia in modo significativo (2).

I risultati delle variazioni della temperatura critica causate da variazioni della frequenza o dell'applicazione del carico indicano che il comportamento dei PMB può mutare alquanto per quanto attiene alla dipendenza dal tasso di carico. Occorre eseguire rampe di frequenza per determinare una misura diretta dell'effetto della velocità del traffico sulla classificazione (qualificazione) dei bitumi.

Tab. 1 - Dimensioni dell'apparecchio per la prova LAST

Misure di progetto	Dimensioni	Descrizione
Altezza	166 mm	Altezza interna del recipiente
Diametro	62 mm	Diametro interno del recipiente
Volume	501166 mm <sup>3</sup>	Volume del recipiente
Quantità di bitume	450 g	Quantità del campione
Diametro delle eliche	22 mm	Diametro delle eliche
Velocità di rotazione	2000 rpm	Velocità di agitazione
Posizione dell'elica	85 mm	Sull'asse (dall'estremità inferiore)
Posizione dell'elica 2	20 mm	Sull'asse (dall'estremità inferiore)
Temperatura	165 °C	Temperatura della prova

### 3.2 Carichi ripetuti (tissotropia/fatica)

È importante verificare l'ipotesi che i carichi ripetuti determinino la risposta differente dei PMA; è importante perché l'andamento del traffico ha natura ciclica, e anche perché la morfologia del PMA può effettivamente svolgere una funzione rilevante nella resistenza alla fatica e nel comportamento stabile, non anisotropo, rispetto ai carichi ciclici del traffico.

A tale scopo ciascuno dei bitumi di prova è stato sottoposto alle temperature dell'alta e della bassa qualificazione (HT e LT rispettivamente). I risultati mostrano che l'effetto di 1000 cicli non è rilevante a entrambe le temperature: lo scarto dei valori di  $G^*$  e di  $\delta$  è stato tra il 10 e il 15% per tutti i bitumi. Né si è rilevata relazione con la qualificazione (classificazione) del bitume o con il tipo del modificante. Altre prove condotte a 5000 e 10000 cicli, più drastiche rispetto alle condizioni reali, hanno rivelato che i cicli di fatica in condizioni severe hanno un effetto rilevante su  $G^*$ . Tale effetto dipende alquanto dalla composizione del bitume.

### 3.3 Effetto della struttura della pavimentazione

Per verificare l'ipotesi che il contributo dei PMB alla prestazione della pavimentazione dipenda dalla struttura di questa sono state eseguite prove sotto piccolo sforzo (indicative di struttura forte) e sotto grande sforzo (indicative di struttura debole). Queste prove sono state eseguite ad alta temperatura (HT) e a temperatura intermedia (IT). I risultati sono stati riassunti calcolando il rapporto tra la differenza dei valori di sforzo al 2% e sforzo al 50% rispetto al valore al 2%. L'elaborazione dei dati ottenuti ha consentito di trarre le seguenti conclusioni:

- ad HT, benché taluni leganti mostrino un alto effetto dello sforzo, i valori medi cadono entro il 10% per la maggior parte delle qualificazioni e dei tipi di modificanti;
- ad HT non si osserva alcuna relazione specifica tra dipendenza dallo sforzo e qualificazione del legante o tipo di modificante;
- ad IT la maggioranza dei leganti mostra una significativa dipendenza dallo sforzo (le medie dei rapporti  $G^*$  basati sulla qualificazione sono prossime a 80-90%);
- ad IT i rapporti  $G^*$  non mostrano un andamento significativo in funzione della qualificazione; vi è tuttavia una evidente differenza tra i diversi tipi di modificante: i leganti trattati mostrano rapporti  $G^*$  più alti e rapporti  $\delta$  più bassi rispetto agli altri modificanti (gli elastomeri mostrano i rapporti  $G^*$  più bassi mentre gli altri modificanti mostrano i rapporti  $\delta$  più bassi); sembra che i limiti alla linearità (rapporti  $G^*/\delta$ ) sia molto sensibili alla temperatura; sembra anche che la sensibilità dei rapporti  $G^*$  e  $\delta$  alla temperatura non sia la stessa per tutti i leganti.

È logico ritenere che la dipendenza dallo sforzo sia una delle caratteristiche importanti per distinguere tra bitumi modificati, e che essa possa servire a discriminare tra i bitumi di buone prestazioni pratiche e quelli meno buoni.

## 4. Sistemi di prova e di classificazione per i PMA

I metodi di analisi proposti in questo studio mostrano che è necessario ampliare i protocolli di valutazione esistenti per tenere conto di alcune caratteristiche critiche dei PMB. I seguenti passi descrivono una proposta di revisione dei sistemi attuali e una cornice per includere le caratteristiche critiche presentate in questo studio. Per i bitumi semplici, le prove sono semplificate perché si tratta di materiali stabili; il loro comportamento è lineare e non risente della lavorazione meccanica. Per i leganti complessi la valutazione è più complicata a causa della dipendenza del comportamento dallo stoccaggio, dallo sforzo e dal caricamento ripetuto.

### *Classificazione del bitume*

La classificazione del bitume deve partire dalla determinazione se si tratti di un sistema semplice o complesso. Le prove proposte sono presentate nella Tab. 2. Si tratta di prove di screening, non destinate alla verifica quotidiana delle qualificazioni. Devono essere eseguite per accertare se il materiale è un bitume semplice o complesso. Una volta classificato il bitume, si deve definire la qualificazione ai carichi e alle temperature richiesti.

### *Qualificazione dei bitumi*

Le analisi dei risultati di questo lavoro indicano che numerosi fattori influenzano le proprietà alle temperature intermedie in modo diverso delle proprietà alle alte e alle basse temperature. Si è anche osservato che, benché le temperature reali di qualificazione al limite delle HT e delle LT del campo delle temperature siano le stesse per molti bitumi, questi possono variare in modo significativo per quanto riguarda la qualificazione alle temperature reali intermedie.

Si raccomanda comunque che il sistema di qualificazione revisionato includa tre temperature: HT+IT-LT

### *Effetti della velocità del traffico*

I risultati di questo studio indicano che i fattori di spostamento tempo-temperatura non sono gli stessi per tutti i bitumi, semplici e complessi. È quindi necessario qualificare i bitumi alle velocità stabilite.

### *Effetti della velocità di raffreddamento*

Lo stesso criterio deve essere seguito per determinare la qualificazione alle basse temperature usando due



tempi di caricamento per il raggio di curvatura e due tassi di caricamento per la tensione diretta. La valutazione della temperatura limite di qualificazione deve includere un dato a raffreddamento rapido e uno a raffreddamento lento.

#### **Fattori di aggiustamento per la struttura della pavimentazione**

La struttura della pavimentazione è importante per i bitumi complessi. Per tenere conto della dipendenza dallo sforzo di tali bitumi nel contesto delle pavimentazioni deboli o forti si suggerisce un “fattore di danneggiamento” per tenere conto del maggiore danno atteso per le pavimentazioni deboli. Questo fattore di aggiustamento si calcola dalle prove di dipendenza a HT e a IT. Il fattore si esprime in termini di variazione delle temperature di qualificazione per tenere conto della riduzione di  $G^*/\text{sen } \delta$  dovuta all'aumento dello sforzo al 50%, e di quella dovuta alla variazione di  $G^*$  sen  $\delta$  per un aumento dello sforzo al 20%. Questi aggiustamenti di temperatura si possono calcolare dai risultati delle misurazioni ripetute degli sforzi e dai fattori di spostamento tempo-temperatura ricavati a HT e a IT.

#### **Fattori di aggiustamento per il volume del traffico**

Il volume del traffico è un fattore importante per i bitumi complessi. Per tenere conto del volume del traffi-

co, si impiegano i risultati delle misurazioni ripetute nel tempo (effetti della lavorazione meccanica) per calcolare un fattore di aggiustamento che rappresenti l'effetto di carichi ripetuti a HT e a IT. Si propone che la riduzione di  $G^*/\text{sen } \delta$  dovuta all'applicazione di 5000 cicli sotto sforzo del 50%, e la variazione di  $G^*$  sen  $\delta$  dovuta all'applicazione di 5000 cicli sotto sforzo del 20%. I risultati della prova possono essere usati per calcolare un fattore di aggiustamento per il volume del traffico. Tale fattore si esprime in termini di variazione delle temperature di qualificazione.

### **5. Confronto tra i sistemi di qualificazione**

Il sistema di qualificazione proposto dovrebbe sostituire quello corrente impiegato, così da includere il volume e la velocità del traffico. Il sistema corrente è riassunto nella Tab. 3: per ogni serie di condizioni climatiche (HT IT) vi sono 6 potenziali combinazioni di volume e velocità del traffico. Nelle procedure correnti si scelgono le diverse qualifiche adattando soltanto la HT, il che comporta che si cambia la IT perché si fa la media. Il passaggio di qualificazione, in questo sistema, non assicura qualità migliore in relazione agli effetti della velocità e del volume del traffico. Il nuovo sistema è proposto per misurare tali effetti direttamente eseguendo una rampa di frequenza, che aggiunge solo pochi minuti a

**Tab. 2 - Prove proposte per la classificazione dei bitumi**

Prova	Criteri	Semplice	Complesso
1. Prova dell'additivo in particelle (PAT)	% in vol. del bitume trattenuto (in toluene)	<2%	>2%
2. Prova di stabilità in laboratorio (LAST)	Ks e Kd in variaz. % $G^*$ o $\delta$ per ora in condizioni statiche	<0,50 %/h	>0,50%/h
3. Dipendenza dallo sforzo	Riduzione in $G^*$ e/o $\delta$ per ora dal valore 2% a: 1. HT a sforzo 50% 2. IT a sforzo 20%	<50%	>50%
4. Effetto della lavoraz. meccanica	Riduzione in $G^*$ e/o $\delta$ dal valore a 50 cicli a quello a 5000 cicli: 1. HT a sforzo 50% 2. IT a sforzo 20%	<50%	>50%

Tab. 3 - Il processo corrente di definizione della qualifica

Velocità del traffico	Volume del traffico	HT	IT	LT	Fattori di aggiustamento		
Veloce	Basso	64	25	-22	0	0	0
	Alto	70	28	-22	+6	+3	0
Lento	Basso	70	31	-22	+6	+3	0
	Alto	76	31	-22	+12	+6	0
Stop-go	Basso	76	31	-22	+12	+6	0
	Alto	82	34	-22	+18	+9	0

Tab. 4 - Il nuovo sistema di qualificazione

Velocità del traffico	Raffredd.	Volume del traffico	Struttura della pavimentazione	Qualifica effettiva				Fattori di aggiustamento		
				IT				HT	IT	LT
				HT	F-T	No	LT			
Veloce 100 rad/s	Rapido 720 s	Basso	Forte	71	15	15	-25	0	0	0
			Debole	69	20	20	-25	-2	+5	0
		Alto	Forte	65	18	18	-25	-6	+3	0
			Debole	62				-8	+8	0
Lento 720 s	Lento 720 s	Basso	Forte	71				0	0	-2
			Debole	69	20	20	-27	-2	+5	-2
		Alto	Forte	66				-6	+3	-2
			Debole	62				-8	+8	-2
Lento 10 rad/s	.... ripetizione per bassa velocità e diversi fattori di aggiustamento									
Stop-go 1 rad/s	.... ripetizione per bassa velocità e diversi fattori di aggiustamento									

ciascuna prova. Si propone anche di valutare il potenziale del bitume ad essere danneggiato in condizioni di traffico intenso, eseguendo una prova della durata di un'ora a frequenza costante (1,5 Hz), corrispondente a 5000 cicli, da condurre a due temperature. Il tutto allunga di 3 ore l'assieme di prove da eseguire. Le prove aggiuntive non sono necessarie se l'applicazione riguarda condizioni di traffico "blande".

Il sistema proposto comprende altri due punti: struttura della pavimentazione e velocità di raffreddamento (che qui non si illustrano).

Secondo il nuovo sistema di qualificazione, ciascun bitume viene definito in relazione a tutte le combinazioni di condizioni. Ciò si ottiene eseguendo il ciclo di prove proposto. Un esempio è riportato nella Tab. 4. Si noti che il numero delle gradazioni non aumenta, ma si può determinare come ciascun materiale risponde nelle diverse applicazioni, in base a misurazioni dirette.

La Tab. 4 costituisce il migliore riassunto del lavoro svolto. È una visione del futuro impiego della tecnologia Superpave per definire una qualificazione delle prestazioni in relazione alle condizioni di applicazione reale del bitume.

### **Bibliografia**

[1] H.U. Bahia, H. Zhai: Storage stability of modified binders using the newly developed LAST procedure. Paper n. 990739 presented at the Transportation Research Board 78th annual meeting, Jan. 10-14, 1999, Washington, D.C.

[2] H.U. Bahia et al.: Characterization of modified binders using the Superpave technology. PIARC Seminar; Eurobitume Workshop 1999, Barcellona.

