

**SITEBSi srl**

# Rassegna del bitume

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

ESTRATTO DAL N° **05/87**

**Prestazioni e lavorabilità dei leganti modificati**

*Riccardo Fortini*  
*MAIA S.p.A.*

# Prestazioni e lavorabilità dei leganti modificati

Riccardo Fortini

## INTRODUZIONE

La qualità globale delle pavimentazioni bituminose stradali, sia in termini di materiale che di lavorabilità, influisce in modo significativo sull'integrità e sulla durabilità della struttura stradale nel suo insieme. Ciò è stato ampiamente dimostrato negli ultimi anni, da quando cioè la scelta dei materiali utilizzati è stata rigorosamente basata su quanto stabilito dalle specifiche stesse e, più recentemente, sul livello di compattazione dei materiali da rivestimento dopo la posa in opera su strada.

L'estrema importanza di un adeguato livello di compattazione, al fine di ottenere la massima efficienza strutturale dai materiali di base bituminosi è stata riscontrata dalla ricerca fondamentale ed in seguito tradotta nelle specifiche in termini di densità, percentuale di vuoti e densità percentuale di rifiuto. L'industria ha risposto a tali necessità mediante cambiamenti nell'impianto di compattazione, nelle pratiche di rullaggio e compattamento e nelle procedure di controllo e supervisione, di conseguenza la qualità del lavoro finito ne ha indubbiamente giovato.

Similmente, l'importanza di un'adeguata compattazione nei manti d'usura stradali si è rivelata fondamentale. Infatti, un'inefficiente livello di compattazione nei manti d'usura potrebbe determinare un aumento della permeabilità, un aumento della velocità di ossidazione e degradazione del legante ed, infine, un aumento del rischio di sgretolamento e disgregamento della matrice. Al fine di ridurre al minimo i suddetti effetti negativi, molte autorità già esigono il raggiungimento di un perfetto livello di compattazione nei manti d'usura stradali - solitamente mediante la limitazione della percentuale di vuoti - sebbene la difficoltà insita nella presenza stessa di piccoli frammenti di materiale da rivestimento sgretolato nel calcolo dei vuoti, come pure l'effetto distruttivo della segregazione sulla pavimentazione finale della strada, rendono l'esecuzione di tali specifiche ben più complessa di quella per gli strati di base.

Si è finalmente compresa, dunque, l'estrema importanza di realizzare una perfetta ed uniforme compattazione per ottenere sia la massima efficienza strutturale sia la massima durabilità dei materiali bituminosi da pavimentazione. Un certo numero di fattori determinano la qualità globale di un lavoro eseguito mediante l'uso di conglomerati bituminosi. Elenchiamo a seguito quelli che rivestono maggiore importanza.

### LE CONDIZIONI ATMOSFERICHE

Recentemente, numerosi progetti di ricerca hanno studiato a fondo gli effetti della temperatura dell'aria e della velocità del vento sul raffreddamento degli strati bituminosi. Ciò ha consentito la realizzazione di grafici e tabelle estremamente utili sia nel calcolo del tempo di compattazione in presenza di diverse condizioni atmosferiche, sia nella scelta del periodo stagionale più indicato per la posa in opera. In pratica, comunque, le condizioni atmosferiche sono quasi sempre imprevedibili, pertanto, poiché la qualità del lavoro eseguito viene sempre influenzata dalle condizioni di tempo locali, essa risulterà sempre inferiore a quella di un lavoro portato a termine in condizioni atmosferiche ideali. A questo riguardo, si deve considerare che per i materiali bituminosi, la cui temperatura ideale di posa in opera si aggira intorno ai 160 °C, persino la più calda delle nostre brevi giornate estive sembra essere piuttosto fredda.

\* MAIA S.p.A.

### LAVORAZIONE, SUPERVISIONE ED ATTREZZATURE

Il dovere di ogni ingegnere ed imprenditore è quello di assicurare che il lavoro venga eseguito nel miglior modo possibile da operatori qualificati e scrupolosi che svolgono le loro mansioni in impianti adatti e ben equipaggiati. Si deve comunque tenere presente che, a questo riguardo, il fattore umano giocherà sempre a sfavore della perfezione. Un'approfondita supervisione del lavoro non sempre viene eseguita e, finché le nostre strade, non verranno costruite direttamente dai robot, le necessità operative modificheranno di tanto in tanto le pratiche di lavorazione, anche a discapito del lavoro finito.

### LAVORABILITÀ DEI MATERIALI

Dato che la lavorabilità dei materiali da rivestimento dopo la posa in opera è quasi impossibile da definire in modo obiettivo, questo importante fattore agisce drammaticamente sulla qualità del lavoro finito. E essenziale, perciò, riconoscere che la qualità del conglomerato bituminoso, la sua percentuale, il

tipo di aggregato e la sua selezione determinano in modo significativo la lavorabilità stessa.

Dei tre fattori presi in esame, solo la lavorabilità si presta a notevoli miglioramenti grazie all'applicazione delle moderne tecnologie. Le condizioni atmosferiche sono sempre state impossibili da controllare e difficili da prevedere. Il fattore umano, coinvolto nella supervisione del lavoro eseguito, presenta problemi meno complessi da risolvere, ma mai definitivamente superati. Grazie alla progettazione, possiamo dare ai materiali da rivestimento un grado sufficiente di lavorabilità, una maggiore tolleranza al cambiamento delle condizioni atmosferiche ed, infine standard più pratici di lavorazione.

## RECENTI CAMBIAMENTI NELLE SPECIFICHE

Gli ultimi dieci anni sono stati caratterizzati da rilevanti cambiamenti nei requisiti dei materiali bituminosi. Per quanto riguarda i manti d'usura stradali, si è avvertita la necessità di richiedere una maggiore resistenza alle deformazioni ed una struttura della superficie stradale maggiormente ruvida.

L'aumento della resistenza alle deformazioni è stato raggiunto grazie all'impiego del "Design Asphalt" (conglomerato bituminoso appositamente progettato) caratterizzato da alte stabilità Marshall o da quozienti Marshall. Ne sono scaturiti conglomerati bituminosi più duri, percentuali di legante inferiori ed aggregati fini ad alto livello d'attrito.

Ai primi degli anni '70, è stato prodotto un manto d'usura con una percentuale di ghiaia pari al 30% ed una percentuale di legante pari all'8,4% secondo quanto stabilito dalla Clausola 907 della Specifica relativa alle Costruzioni di Strade e Ponti (Road and Bridgewerks Specification) del 1969. L'attuale Clausola 918 permette di produrre leganti, per lo stesso materiale, con una percentuale inferiore al 7,1 % e la media di lavoro pratico per la realizzazione di tali miscele si aggira intorno al 7,5%. Secondo quanto stabilito dalla Revisione 594 del British Standards Institution, il limite minimo di percentuale di legante, per la produzione dello stesso materiale, è stata ridotta al 6,5%. Se, da un lato, tali miscele più magre hanno registrato un aumento della resistenza alle deformazioni, dall'altro la facilità con cui esse possono essere compattate è senz'altro diminuita.

Similmente, la Stabilità Marshall ed il Quoziente Marshall sono stati oggetto di ulteriori cambiamenti che hanno ridotto sensibilmente la lavorabilità. Alte stabilità possono essere raggiunte solo grazie all'impiego di aggregati fini sabbiosi e/o conglomerati bituminosi più duri. Pertanto, il passato decennio ha visto l'introduzione del conglomerato bituminoso per servizio pesante a Penetrazione 50, un vasto impiego dei conglomerati bituminosi a Penetrazione 30 ed un aumento nell'utilizzazione parziale o totale di materiali fini frantumati.

Simultaneamente, con l'irrigidimento del conglomerato bituminoso, si è diffusa la necessità di ottenere profondità nella struttura superficiale. Al fine di soddisfare tale esigenza, il tasso di applicazione dei frammenti di materiali da rivestimento è aumentata del 25% e volte anche più. Ne risultano due diversi effetti: in primo luogo, l'applicazione di frammenti freddi provoca un raffreddamento significativo sui pochi millimetri superiori dello strato bituminoso e, con l'aumento del tasso di frammenti, aumenta anche questo effetto di raffreddamento rapido; in secondo luogo, ad un alto tasso di diffusione dei frammenti, il rullo compressore, passando sopra i frammenti sparsi sulla

superficie del bordo stradale, non riesce a "venire a contatto" con il conglomerato bituminoso, determinando, così, uno scarso livello di compattazione.

I suddetti fattori hanno notevolmente aumentato l'incidenza di sgretolamento dei materiali e di corrosione della matrice.

I difetti derivati da queste difficoltà sembrano aggravarsi quando il lavoro viene prima posto in opera e poi aperto al traffico durante la stagione invernale. In estate, quei frammenti che non si trovano perfettamente incassati nello strato superficiale della strada possono essere abbastanza facilmente spianati grazie al flusso dei veicoli, dato che la superficie stradale è più calda ed il legante è relativamente morbido. Durante la stagione invernale, tuttavia, l'interfaccia frammenti/conglomerato bituminoso è sottoposta allo stress di un'intensa densità veicolare, e quando la superficie stradale è ad una bassa temperatura - spesso al di sotto del punto di congelamento - e lo strato adesivo del legante, che si trova in condizioni di massima fragilità, si rompe provocando la fin troppo familiare frammentazione dei materiali da rivestimento.

Fin qui abbiamo considerato i problemi più ovvi dei manti d'usura stradali, ma simili cambiamenti stanno verificandosi anche nel campo dei materiali di base. Recenti progettazioni di strade ad alta densità veicolare hanno sostituito i materiali utilizzati per strati di base ad alta percentuale di legante con macadam di base magri e a grana fitta; attualmente sono in corso prove di macadam di base per servizio pesante, nei quali il conglomerato bituminoso a Penetrazione 100 è sostituito con quello a Penetrazione 50. Questi cambiamenti di progettazione puntano all'aumento dell'irrigidimento dinamico di materiali più magri con conglomerati bituminosi più duri, ma gli effetti sulla lavorabilità e la durabilità non sono stati ancora pienamente valutati.

## MIGLIORAMENTO DELLA LAVORABILITÀ. CHI NE TRAE VANTAGGIO? CHI PAGA?

Abbiamo pertanto identificato le varie tendenze nelle specifiche di materiali da rivestimento stradale, dovute alla necessità di aumentare la prestazione delle strade. Mentre i benefici di questi cambiamenti in termini di prestazioni strutturali possono essere facilmente individuati dall'ingegneria stradale, non si è tenuto nel dovuto conto degli effetti negativi sulla proprietà meno tangibile del materiale bituminoso: la sua lavorabilità. Bisogna dire che il problema della lavorabilità rientra nelle responsabilità dell'imprenditore, che dovrebbe adottare procedure operative adeguate ai materiali specifici ed alle condizioni. Sebbene ciò risulti vero, si deve anche considerare che maggiore è il livello di irrigidimento e di scarsa lavorabilità del materiale in esame, minore sarà il livello qualitativo del lavoro finito.

I difetti più evidenti andranno a discapito dell'imprenditore che, come stabilito dal contratto, dovrà andare incontro ai costi di ristrutturazione, ma il volume dei difetti provocherà un generale danneggiamento del lavoro finito, comportando eventuali spese al cliente. Pertanto si cerca sempre più di aumentare al massimo possibile la lavorabilità dei materiali - anche se ciò implica una maggiorazione del costo iniziale -, poiché, come è noto, la riduzione dei difetti latenti aumenta la totalità della vita utile della strada stessa.

## POSSIBILI SOLUZIONI

Ci si chiede pertanto: "È davvero possibile produrre materiali bituminosi ad alte prestazioni con un livello di lavorabilità uguale o persino superiore a quello dei prodotti convenzionali impiegati quando la densità veicolare era meno intensa?"

In risposta a questa sfida, abbiamo esaminato la vasta gamma di agenti modificanti oggi disponibili. Molti prodotti sono stati descritti come possibili potenziatori delle prestazioni del conglomerato bituminoso - zolfo, gomma naturale, gomma sintetica, vari polimeri, fibre minerali e polimere - ed è stato virtualmente impossibile rendere giustizia a tutti. In seguito ad un attento esame, si è giunti alla conclusione che solo due tecnologie possono realmente offrire una soluzione al suddetto problema. Essi sono:

- 1) l'additivazione di polimeri nei conglomerati bituminosi
- 2) l'addizione al bitume di un catalizzatore organo-metallico quale agente modificante.

## LE MISCELE BITUME-POLIMERO

Il possibile impiego del bitume additivato con polimeri nelle pavimentazioni stradali è oggetto di valutazione scientifica da circa 15 anni. Numerosi test sono stati eseguiti sui tratti stradali e, negli ultimi 5 anni, l'applicazione di tali miscele bituminose nelle principali costruzioni stradali ha registrato un graduale aumento. L'industria del settore, tuttavia, sta ancora vagliando attentamente il pieno potenziale del materiale.

I primi esami del prodotto sono stati concentrati sul modo in cui esso può aumentare le proprietà meccaniche delle miscele bituminose stradali. Il miglioramento delle caratteristiche di lavorabilità è stato riscontrato solo ad uno stadio abbastanza avanzato e *deve* essere ancora pienamente utilizzato. Le prime specifiche di contratto relative alle miscele bitume-polimero prevedevano la semplice sostituzione del conglomerato bituminoso modificato nella miscela già considerata idonea al soddisfacimento dei requisiti di stabilità specificati nel contratto e ottenuti mediante l'impiego di conglomerati convenzionali. Sebbene ciò ha migliorato sensibilmente il livello di lavorabilità, grazie alle proprietà visco-elastiche del legante così modificato, niente sembrava risolvere il problema relativo all'uso di miscele da trattamento incorporate ad aggregati fini piuttosto duri espressamente richiesti dai conglomerati bituminosi ad alta stabilità.

Più recentemente, gli esami della resistenza alle deformazioni dei conglomerati bituminosi, che utilizzano sabbie a bassa stabilità, uniti alla miscela polimerica hanno dimostrato che il tasso di ormaimento (Wheel-tracking test) eseguito in laboratorio risulta in tutti i casi molto basso ed è quasi indipendente dalla stabilità Marshall della miscela. L'applicazione dei principi per la relazione tra il test di ormaimento e la vita utile in condizioni di traffico pesante, descritti da Szatkiwski, indicano che le miscele bituminose polimeriche a bassa stabilità dovrebbero essere adatte persino per la costruzione di strade ad alta densità veicolare (Tavola I).

**Tavola I.** Risultati del Test di Ormaimento eseguito in Laboratorio su Conglomerati Bituminosi provenienti dalla ristrutturazione dell'M6.

Miscela		Ormaimento Tasso mm/h a 45° C
5500	Materiale Newtoniano mescolato con 40% ghiaia a Penetrazione 50	1,2
4500	Materiale Newtoniano mescolato con 40% ghiaia a Penetrazione 70 + Miscela Bitume-polimero	0,6
5500	Materiale Newtoniano mescolato con 40% ghiaia a Penetrazione 70 + Conglomerato Bituminoso con catalizzatore:	
	Maturazione 3 giorni	1,5
	Maturazione 12 mesi	0,3

Risultato dei tests forniti dalla TARMAC ROADSTONE Limited R & D Laboratory Etingshall.

Gli esperimenti pratici ci hanno mostrato che l'impiego di un conglomerato bituminoso sabbioso a Penetrazione 50, con stabilità Marshall pari a 4.000 N o meno, produrrà un conglomerato bituminoso con un livello di lavorabilità maggiore di un altro avente una stabilità pari a 6.500 N o più, poiché sia la stabilità che la scarsa lavorabilità vengono determinate dalla "frizione interna" dell'aggregato fine.

Le specifiche più recenti stanno cominciando a riconoscere l'importanza di questo fattore, in quanto esso consente di ottenere il vantaggio di una massima lavorabilità dalla combinazione di un legante lavorabile con una sabbia a bassa stabilità, mantenendo allo stesso tempo e a volte persino migliorando la resistenza alle deformazioni mediante l'uso del polimero.

I lavori recentemente completati in base a queste specifiche e posti in opera in condizioni invernali piuttosto rigide si sono rivelati privi di evidenti difetti sulla superficie stradale e la qualità del lavoro è risultata superiore a quella di un lavoro svolto nello stesso periodo di tempo ed in presenza delle stesse condizioni impiegando conglomerati bituminosi convenzionali ad alta stabilità.

Si deve, comunque, tener presente, che la miscela bitume-polimero non è una panacea contro tutti i mali. Essa aumenta considerevolmente la lavorabilità se impiegata insieme a sabbie "tenere" a bassa stabilità, il che comporta una maggiore attenzione nell'esecuzione del lavoro quando è consigliabile la posa in opera di un conglomerato bituminoso a stabilità normale. Se la posa in opera viene eseguita in condizioni atmosferiche fredde, si deve mantenere la temperatura del materiale allo stesso grado di quella per i conglomerati bituminosi non modificati. Qualora dovessero sopraggiungere periodi di caldo improvviso, si devono accuratamente evitare perdite di profondità nella struttura, dovute ad un'eccessiva compattazione. Essa, pertanto, dovrebbe essere considerata come un valido aiuto nel raggiungimento di pose in opera altamente specializzate, e non come un sostituto alle stesse.

## L'AGENTE MODIFICANTE

Il conglomerato bituminoso con agente modificante offre una soluzione completamente diversa al problema della prestazione/lavorabilità.

*Sviluppo nel Regno Unito.* Negli ultimi 7 anni, la TAR-MAC Roadstone ha *strettamente* collaborato nella valutazione e nello sviluppo del conglomerato bituminoso modificato con l'*agente* organo-metallico. Ciò ha dato vita ad un progetto di sviluppo, inizialmente interno, seguito da un'attenta ricerca realizzata dal TRRL (Transport Road Research Laboratory) in base alle disposizioni Transpontech. Il lavoro interno prendeva in esame tratti stradali nell'ambito dei luoghi operativi della TAR-MAC e, nel Maggio 1983, grazie alla cortese autorizzazione dell'ispettorato Stradale della Contea di Staffordshire, il primo esperimento su vasta scala, eseguito su una costruzione a tre strati con l'aggiunta dell'agente modificante negli strati di base e nei manti d'usura stradali, fu completato con successo.

Il lavoro di ricerca nel TRRL ha comportato due stadi di valutazione: una prova di posa in opera nelle piazzole di sosta nella zona di Crowthorne ed una prova su vasta scala su manti d'usura stradali eseguita sulla corsia di marcia dell'M6 proprio a nord di Walsall, ad una temperatura dell'aria pari a 2 °C nel Marzo del 1985. Il primo stadio della ricerca eseguita dal TRRL è stata pubblicata nel Compendio RR 54 del TRRL.

## IL PROCESSO

Il conglomerato bituminoso modificato con catalizzatore differisce in modo sostanziale dalle miscele bitume-polimero in quanto le proprietà del legante mutano dopo la miscelazione e la posa in opera. Ciò ha permesso la produzione di materiali da rivestimento stradale che, sebbene estremamente lavorabili al momento della posa in opera, s'indurivano progressivamente durante la prima fase della loro vita su strada, fino ad un livello di resistenza irraggiungibile per i materiali bituminosi convenzionali.

Il processo implica l'aggiunta di una piccolissima percentuale di uno specifico catalizzatore metallo-organico al bitume prima della miscelazione. Tale catalizzatore provoca una polimerizzazione all'interno del conglomerato bituminoso che modifica costruttivamente il processo di ossidazione - il quale normalmente si traduce nell'invecchiamento e deterioramento del conglomerato bituminoso stesso -.

Nel normale processo d'invecchiamento del conglomerato bituminoso, molecole simili alla Tetralina vengono progressivamente scisse dall'ossidazione degli atomi d'idrogeno benzinici, con la conseguente formazione di fenoli e acidi carbossilici. La presenza dell'agente modificante impedisce questa distruttiva ossidazione determinando, invece, la formazione di idroperossidi. Susseguentemente, gli ioni di manganese, provenienti dall'agente modificante, entrano nel legame tra i chetoni di Tetralina (Figura 1).

Questa formazione di legame chimico tra le molecole di Tetralina riveste un notevole significato nelle proprietà del legante modificato. Nei conglomerati bituminosi convenzionali, le grandi molecole piatte sono tenute insieme da deboli formazioni di legami d'idrogeno. Mentre questo legame chimico risulta essere abbastanza resistente alle basse temperature, l'aumento di vibrazione molecolare a temperature più elevate determina un suo considerevole indebolimento, come viene di-

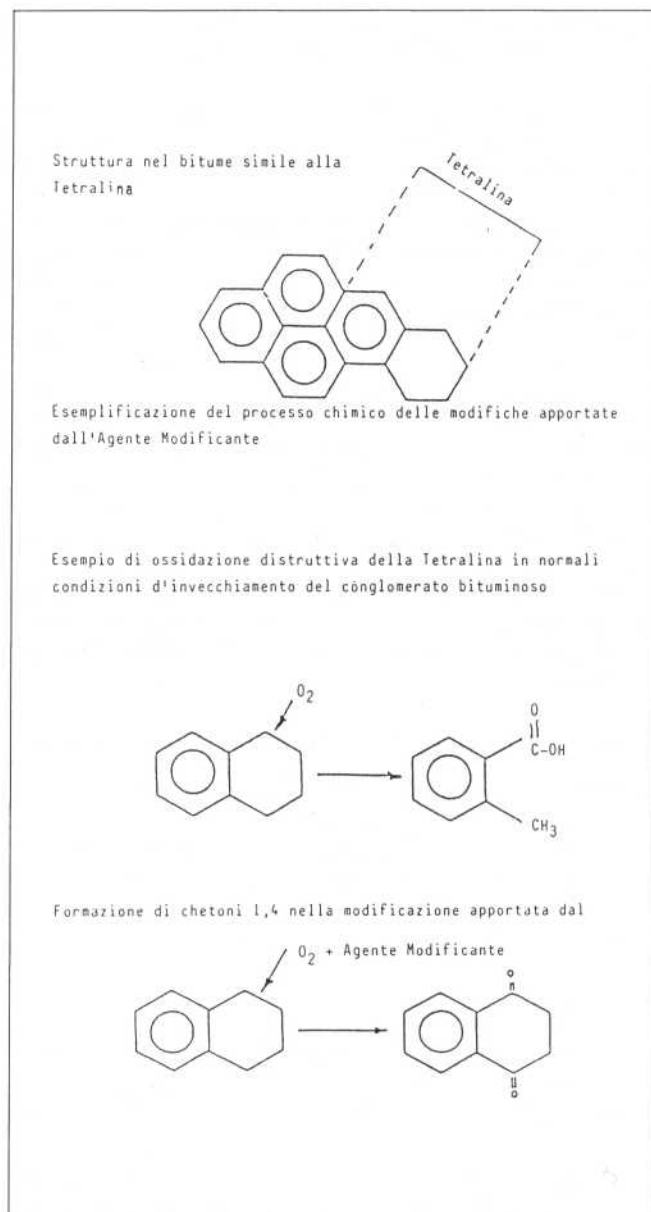


Figura 1

mostrato dalla suscettività termica della normale suscettività di un normale conglomerato bituminoso. Nei conglomerati bituminosi modificati, questo debole legame d'idrogeno viene sostituito da forti legami chimici.

Ne risulta che, i conglomerati bituminosi modificati dimostrano suscettività termiche altamente ridotte e consentono la produzione di materiali da rivestimento caratterizzati da una resistenza davvero straordinaria nelle pavimentazioni eseguite ad alte temperature.

La natura della polimerizzazione è tale che il mutamento nel conglomerato bituminoso è distinto piuttosto che progressivo ed esso s'indurisce invece di infragilirsi in conseguenza della normale ossidazione. Inoltre, il normale processo di invecchiamento viene ritardato determinando la formazione di un materiale molto più duraturo nel tempo.

## IL CONGLOMERATO BITUMINOSO MODIFICATO CON CATALIZZATORE

I nostri esperimenti di ricerca hanno rivelato miglioramenti incredibili nelle proprietà fisiche dei materiali da rivestimento dopo la posa in opera in seguito all'impiego dell'agente modificante.

Uno degli ultimi esperimenti riguardava la preparazione di un gran numero di campioni Marshall di miscela sabbia/bitume, prodotti con diverse percentuali di agente modificante in modo da poter misurare le loro proprietà fisiche negli anni. Questo particolare esperimento dura ormai da più di 6 anni ed i risultati ottenuti sono chiaramente rappresentati nelle Figure 1, 2, 3, 4. È interessante notare che, mentre la stabilità è aumentata parecchie volte dal suo valore base, la rottura dei campioni trattati durante la prova Marshall è invece diminuita e lo scorrimento al momento della rottura aumenta realmente con il proseguire della reazione.

Simili miglioramenti nelle proprietà Marshall possono essere riscontrati su campioni composti da materiali miscelati in impianto per produzioni su vasta scala. La Figura 5 mostra l'avanzamento del processo di maturazione di campioni di prova esaminati su tratti stradali la cui lavorazione è stata completata nel 1982.

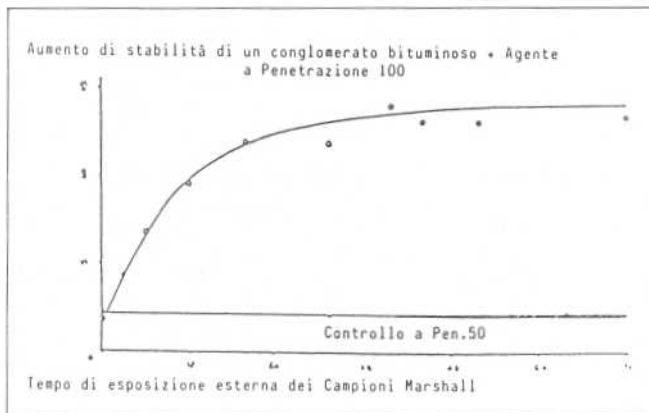


Figura 2. Stabilità KN (Mescolato in laboratorio)

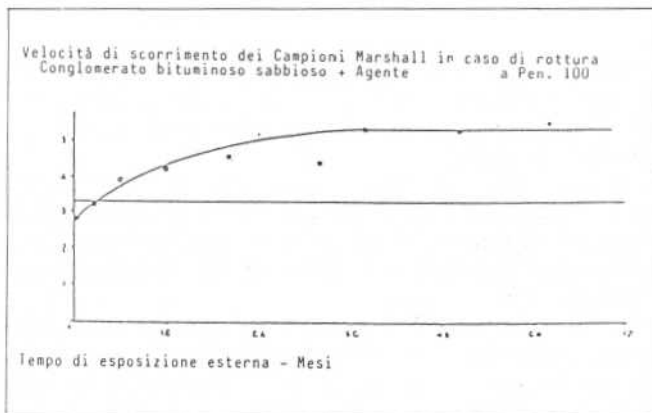


Figura 3. Scorrimento alla rottura mm. (Mescolamento in laboratorio)

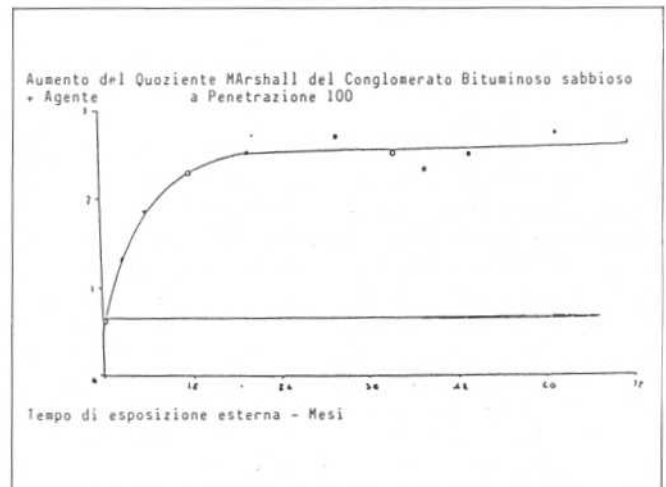


Figura 4. Quoziente Marshall KN/mm (Mescolato in laboratorio)

La Figura 6 rappresenta la curva di maturazione accelerata di un conglomerato bituminoso impiegato come materiale da rivestimento sull'Autostrada M6 nel 1985. In tutti i casi suddetti, si può notare che il livello massimo di stabilità è stato raggiunto, segno che la reazione è avvenuta.

Il rilevamento della resistenza alle deformazioni basato sui risultati del test di ormaimento (Wheel-Tracking), eseguito dal TRRL (Transport Road Research Laboratory), hanno altresì dimostrato significativi miglioramenti dopo l'impiego del legante additivato con agente modificante. I tassi di ormaimento, misurato immediatamente dopo la posa in opera, sono molto simili a quelli riscontrati per i conglomerati bituminosi non modificati; ma, dopo pochi mesi, la resistenza alle deformazioni aumenta fino a meno di 1 mm/h, livello in cui il materiale è effettivamente indeformabile (Tavola I).

Il lavoro su materiali da rivestimento stradale, riportato nel Compendio RR 54 del TRRL, hanno mostrato che un aumento della rigidità ed una riduzione della suscettività termica nel conglomerato bituminoso modificato aumenta sensibilmente il modulo dinamico. Ciò ha rivelato la potenzialità di ottenere significativi benefici nella progettazione di strade ad alta densità veicolare; tali vantaggi sono stati in seguito quantificati nella Relazione MM 131 presentata dal TRRL su commissione della TARMAC. Tali benefici si traducono sia in una riduzione dello spessore che nell'aumento della vita di progetto che ripaga ampiamente l'aumento del costo iniziale del prodotto modificato.

Tali dimostrazioni, dunque, hanno finora suggerito che l'agente modificante ha la potenzialità di produrre materiali da rivestimento con prestazioni superiori ai prodotti convenzionali, in termini di resistenza alle deformazioni permanenti e di efficienza strutturale. Inoltre, a causa delle eccezionali proprietà di maturazione in-situ del conglomerato bituminoso modificato, tali benefici possono essere realizzati mediante l'utilizzazione di un bitume a Penetrazione 70, a Penetrazione 100 o, eventualmente, persino a Penetrazione 200, là dove sarebbero adatti invece bitumi a Penetrazione 50 o 30.

Ne consegue che esiste davvero la possibilità di migliorare simultaneamente sia prestazioni che lavorabilità a lungo termine.

Figura 5.

Stabilità Marshall KN  
(Mescolato con 30% di ghiaia in impianto)

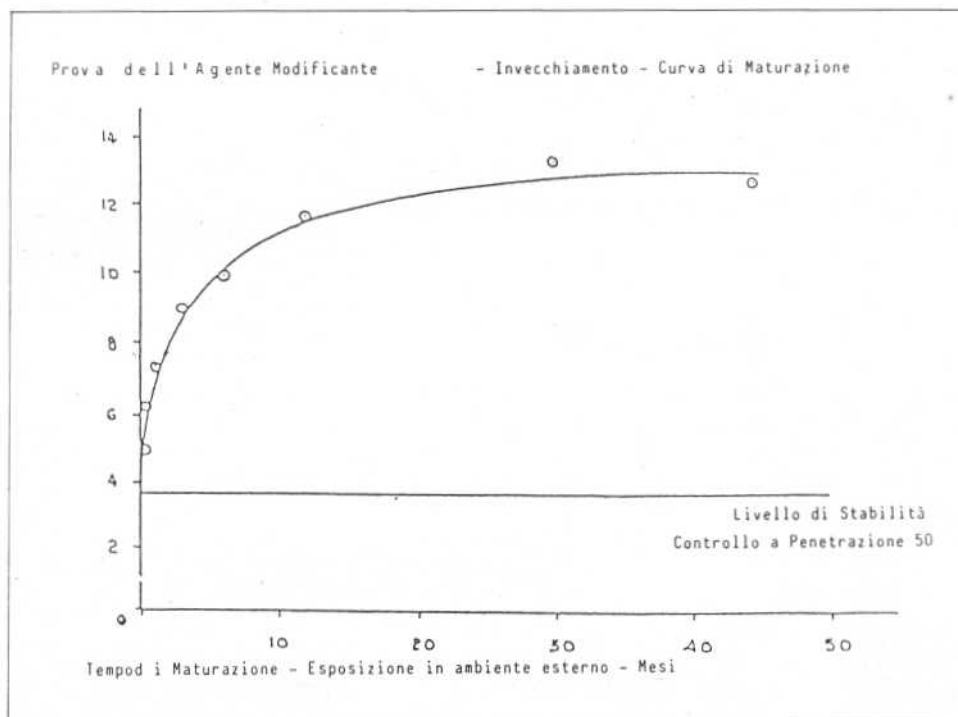
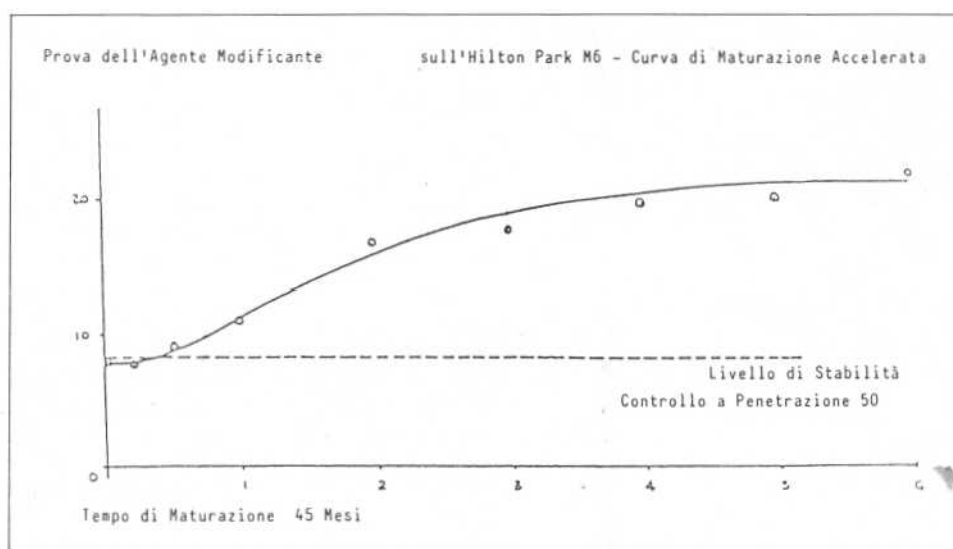


Figura 6.

Stabilità Marshall KN  
(Mescolato con 40% di ghiaia in impianto)



## CONCLUSIONI

La LAVORABILITÀ dei materiali bituminosi da rivestimento dopo la posa in opera non è semplicemente un espediente a breve termine per l'imprenditore, ma rappresenta anche un grande vantaggio a lungo termine per il cliente, che otterrà così una maggiore durabilità della strada grazie alla riduzione dei difetti latenti. I recenti esperimenti, eseguiti al fine di risolvere il problema della congestione del traffico mediante l'uso di miscele più magre e più rigide, hanno compromesso sia il livello di lavorabilità che quello di durabilità; di conseguenza, il tempo di vita utile della maggior parte di queste pavimentazioni sembra oramai essere troppo breve.

È venuto dunque il momento di considerare seriamente l'elaborazione di nuove alternative per realizzare bitumi trattati direttamente. Le miscele bitume-polimero hanno mostrato numerosi vantaggi, sebbene sia necessario svolgere un esame più approfondito qualora si vogliono evitare completamente i problemi locali. Il conglomerato bituminoso con catalizzatore organo-metallico, sviluppato recentemente, sembra avere notevoli potenzialità di applicazione sia nei manti d'usura sia negli strati di base.

Si auspica, pertanto, che l'ingegneria stradale faccia largo uso degli interessanti materiali da rivestimento stradale oggi disponibili.