

I BITUMI MODIFICATI

INTRODUZIONE

Con l'aumento delle prestazioni richieste ai conglomerati bituminosi per far fronte a soluzioni tecnologiche sempre più mirate, nel campo della ricerca si è sentita l'esigenza di "modificare" le proprietà dei bitumi nell'intento di conservare i punti forza e, nel contempo, ridurre i punti di debolezza.

La suscettibilità termica, che rappresenta uno dei parametri più significativi della lavorabilità, è molto spesso il fattore limitante nell'impiego dei bitumi in campo stradale, in special modo in quelle situazioni dove si osservano ampie variazioni di temperatura.

L'aggiunta di materiali macromolecolari, in quantità relativamente ridotta, può rappresentare il modo migliore per "modulare" le proprietà reologiche dei bitumi. In questa direzione, da oltre venti anni, si sta indirizzando la ricerca potendo disporre, attualmente, di una vasta gamma di polimeri sintetici messi a punto dai laboratori petrolchimici.

LE CARATTERISTICHE DEI BITUMI MODIFICATI

Il comportamento reologico di un bitume è ampiamente descritto dagli abachi di Heukelom: in essi si osserva una variazione lineare della consistenza (valutata secondo opportune unità di misura) con la temperatura.

Nella fig. 1 sono riportate le curve consistenza-temperatura per un bitume ordinario (linea tratteggiata) e per un bitume "ideale" (linea continua); in essa il campo delle temperature è stato suddiviso in due parti di cui, la prima rappresenta le condizioni di esercizio, la seconda le condizioni di confezionamento e posa in opera della miscela.

Il bitume ideale è caratterizzato da eccellenti doti di lavorabilità nel campo delle temperature di lavorazione e da un valore praticamente costante della consistenza nel campo delle temperature di esercizio.

L'aggiunta del polimero, in opportune quantità, modifica sostanzialmente il comportamento del bitume reale come mostrato nello stesso diagramma dalla relativa curva, facendolo tendere a quello di un bitume ideale.

La curva relativa al bitume modificato, pur presentando delle ottime caratteristiche di lavorabilità nel campo delle temperature di lavorazione della miscela, presenta un buon comportamento in condizioni di esercizio e riduce i fenomeni di fragilizzazione in corrispondenza delle basse temperature.

I bitumi modificati, oltre a rappresentare una buona risposta ai problemi legati alle proprietà coesive delle miscele bituminose, migliora anche le proprietà adesive della miscela. Pur conservando, infatti, la fluidità idonea ad assicurare il rivestimento completo degli aggregati, i polimeri svolgono una efficace azione di serraggio tra i granuli dell'aggregato rinforzando i legami mutui tra le particelle. Questo vantaggio offre la possibilità di confezionare conglomerati di sufficiente resistenza adoperando curve granulometriche aperte per gli aggregati (si pensi alle pavimentazioni con strato di usura drenante).

Come ultimo aspetto sembra utile sottolineare la differenza che intercorre tra bitumi additivati e bitumi modificati. Nel primo caso, malgrado l'aggiunta di sostanze estranee, il comportamento reologico del materiale risulta sostanzialmente simile a quello del bitume di partenza, con una correlazione di tipo lineare tra consistenza e temperatura. Nel secondo caso, invece, il materiale risultante ha caratteristiche profondamente diverse da quelle del bitume di partenza.

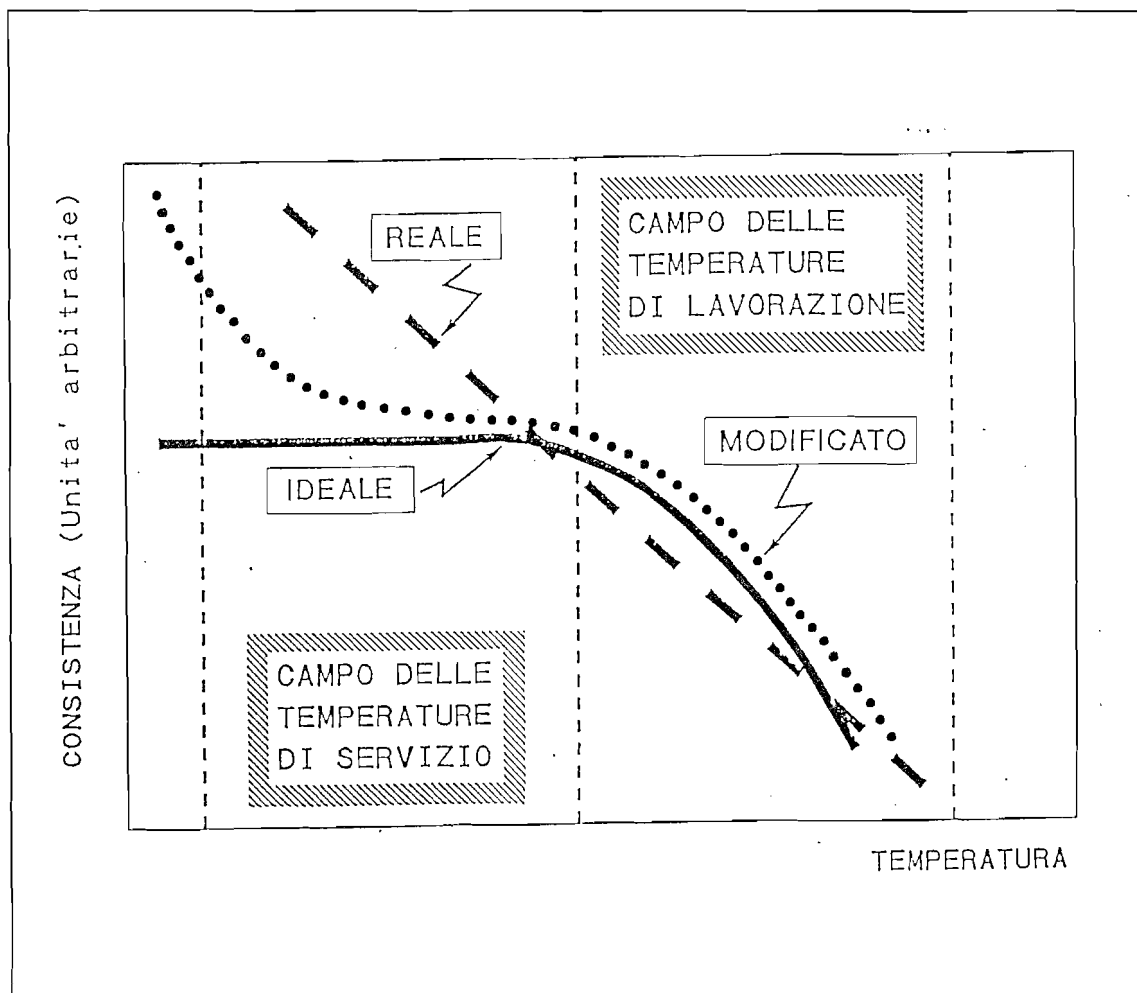


Fig. 1: Rappresentazione schematica del comportamento reologico di materiali bituminosi

I POLIMERI

I polimeri sono composti chimici complessi ottenuti dall'unione di una o più molecole più piccole dette monomeri. Se i monomeri che costituiscono il polimero sono tutti dello stesso tipo, il polimero ottenuto è definito omopolimero; se invece i monomeri sono di diversa natura, il polimero che si viene a formare è detto copolimero.

Facendo reagire monomeri di differenti caratteristiche è possibile combinare le loro proprietà in modo da ottimizzare il comportamento meccanico e reologico del derivante polimero. In tal senso sono nati, in questi ultimi anni, polimeri di eccellente qualità, impiegati nel campo stradale, come ad esempio i copolimeri SBS (stirene-butadiene-stirene) ed EVA (etilene-vinilacetato).

I polimeri possono essere naturali e sintetici; al primo gruppo appartengono la gomma e la cellulosa, mentre il secondo gruppo include i polimeri di tipo sintetico.

Esistono diversi criteri di classificazione dei polimeri (per composizione chimica, per struttura molecolare, per modalità di sintesi, ecc.) ma quello che sembra essere più idoneo è il criterio basato sul comportamento reologico del materiale.

E' possibile, in funzione di tale comportamento, individuare due grosse classi di polimeri: gli elastomeri e i plastomeri.

Se si analizza il comportamento dei polimeri in un grafico consistenza-temperatura (fig.2), si nota che per bassi valori di quest'ultima il materiale si trova nel cosiddetto "stato vetroso" in cui i moti delle molecole sono fortemente inibiti dalla situazione di congelamento del materiale. Al crescere della temperatura i movimenti delle macromolecole aumentano ed il materiale subisce un processo di rammollimento fino a raggiungere la consistenza di una gomma; questo stadio è caratterizzato da un parametro noto come temperatura di transizione vetrosa (T_g). A questo stadio segue una fase detta di "elasticità gommosa" in cui il materiale evidenzia tutte le caratteristiche degli elastomeri.

Aumentando ulteriormente la temperatura il polimero diviene simile ad un fluido viscoso ad eccezione dei polimeri reticolati che conservano una consistenza gommosa.

Accanto ai polimeri a struttura amorfa bisogna considerare i polimeri a struttura cristallina; questi sono dei plastomeri nella cui struttura sono presenti delle regioni, indicate generalmente come sferuliti o cristalliti, dove le macromolecole sono disposte secondo strutture molto regolari che fanno ricordare i solidi inorganici.

Per caratterizzare il comportamento di questi polimeri, devono essere introdotti altri due parametri descrittivi: il "grado di cristallinità" e la temperatura di fusione dei cristalli, T_m . La prima quantità indica la percentuale di strutture cristallizzabili presenti nell'ammasso mentre la seconda rappresenta la temperatura alla quale i cristalliti fondono.

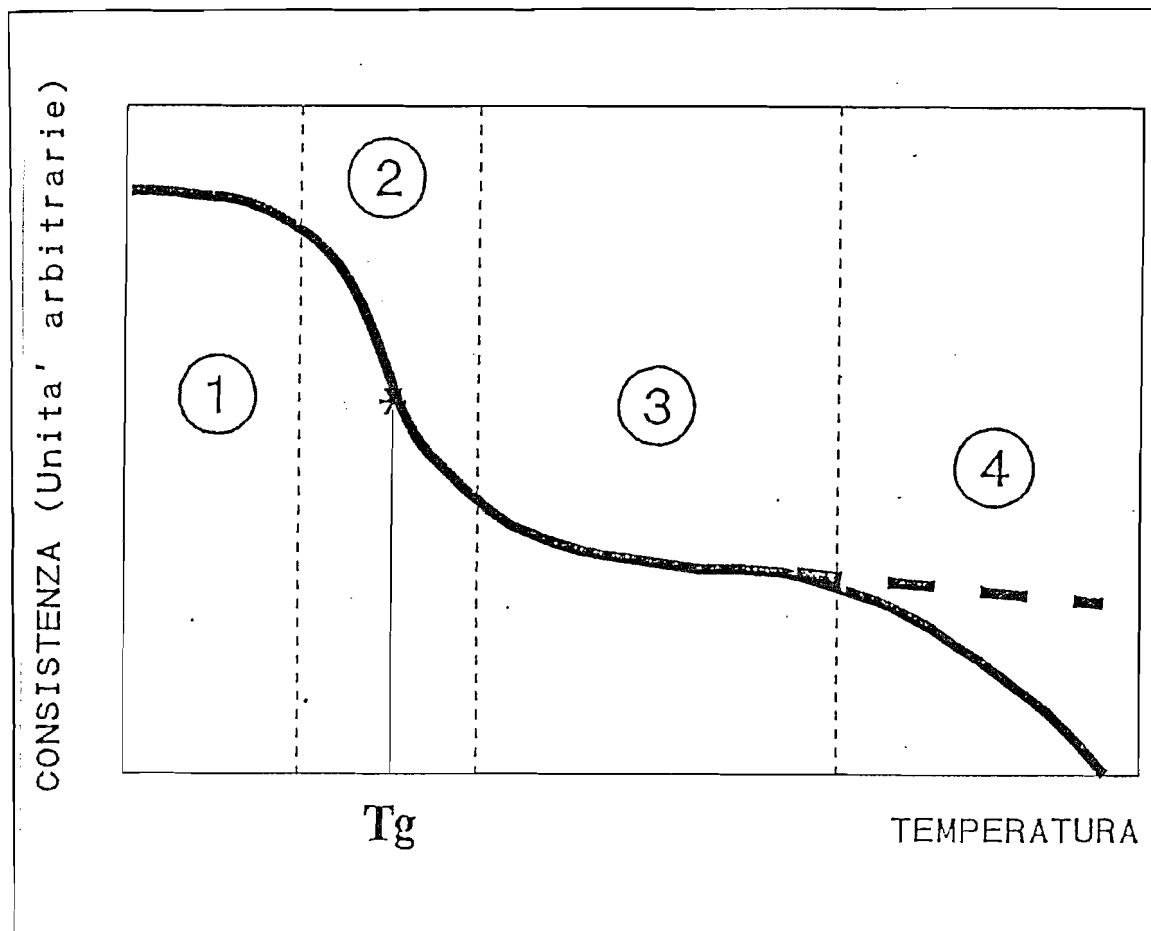


Fig. 2: Rappresentazione schematica del comportamento di polimeri amorfi di tipo lineare (—) e di tipo reticolato (- - -).

Il comportamento meccanico dei polimeri cristallini è legato sia al grado di cristallinità che alla temperatura T_m nel senso che il comportamento fisico-meccanico del polimero migliorano all'aumentare sia del grado di cristallinità che della differenza tra T_m e la temperatura di esercizio. Per un assegnato grado di cristallinità, infatti, un plastomero ha un modulo di rigidità che aumenta al crescere della differenza tra la temperatura T_m e quella di esercizio.

Il diverso comportamento meccanico dei polimeri è osservabile attraverso delle semplici prove di trazione; negli elastomeri la curva sforzi-deformazioni ha un andamento crescente e non mostra valori di plasticizzazione (vedi fig. 3). Nei plastomeri, al contrario, la curva somiglia molto a quella relativa ai materiali elasto-plastici con un valore di plasticizzazione che può essere molto prossimo al punto di rottura (frattura fragile) o, nel caso di temperatura T_m prossima a quella della prova, situato verso la parte iniziale del diagramma e comunque lontana dalla rottura.

Nella costruzione a freddo possono essere utilizzate sia le emulsioni acquose di elastomeri che il polverino o la graniglia di gomma vulcanizzata (materiale termoindurente) ottenuta dalla macerazione dei pneumatici usati.

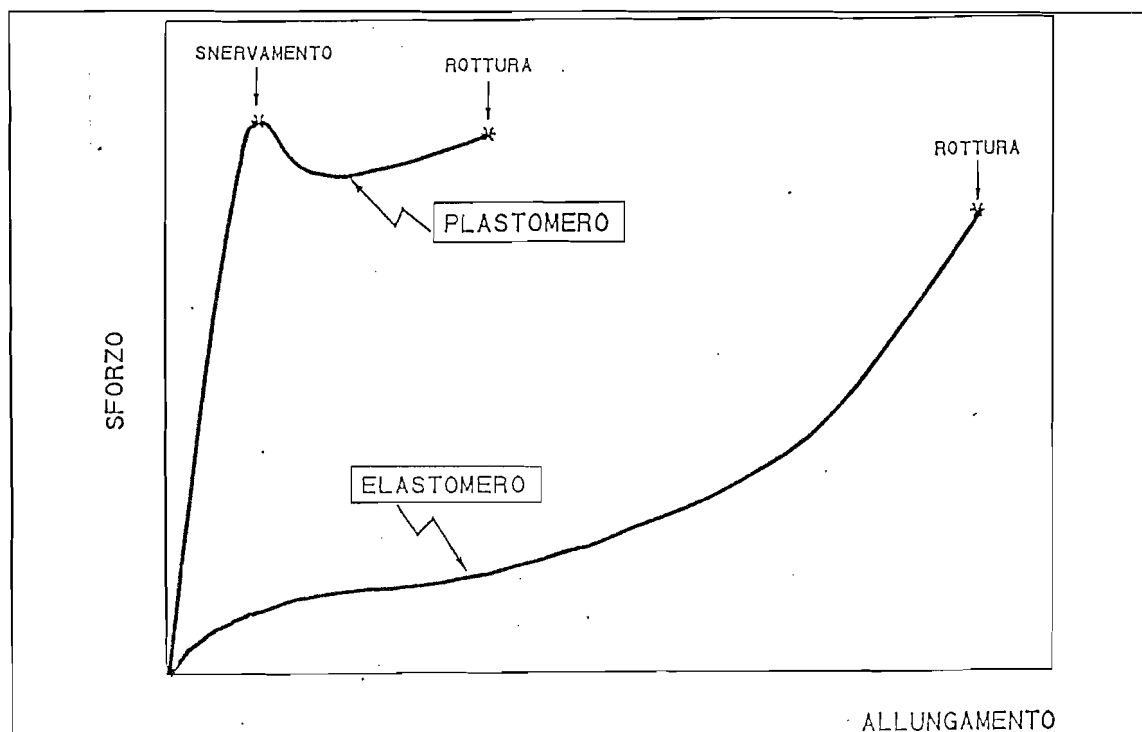


Fig. 3: Descrizione schematica delle curve sforzo-allungamento di un plastomero e di un elastomero

IL TRATTAMENTO DEI BITUMI

La modifica del bitume con l'aggiunta di polimeri viene effettuata con miscelatori a basso numero di giri (mescolatori a pale) o con elevatissime velocità di taglio (pompe centrifughe).

Le fasi di preparazione prevedono il riscaldamento e la fusione del bitume, un premiscelamento con il polimero, lo stazionamento e maturazione della miscela ottenuta nel premiscelatore, il mescolamento e lo stoccaggio del materiale.

Nel miscelatore il polimero, pur essendo il componente minoritario, costituisce in tempi brevi la fase continua del sistema, per poi ottenere, in tempi brevi, una struttura molto omogenea.

Il processo di lavorazione risulta notevolmente complicato quando il polimero non è reperibile commercialmente in granuli oppure se deve essere preventivamente prevista una "reticolazione" mediante l'aggiunta di opportuni composti chimici. Se infine il polimero è fornito sotto forma di emulsione,

l'impianto dovrà essere fornito di dispositivi le grosse quantità di vapor d'acqua che si creano senza grosse oscillazioni delle temperature di miscelazione.

L'aggiunta di polimeri può essere effettuata infine anche a freddo, sotto forma di granuli, direttamente nel drum-mixer utilizzato per la preparazione della miscela: alla semplicità dell'operazione di confezionamento del bitume modificato, si contrappone, in tal caso, la dubbia efficacia della modifica.

PROPRIETÀ DEI BITUMI MODIFICATI

Un bitume si definisce modificato quando il suo comportamento reologico risulta assimilabile a quello del polimero utilizzato nella modifica.

L'ottenimento delle caratteristiche reologiche desiderate è condizionato da due fattori riguardanti la quantità di bitume e di polimero utilizzato (aspetto termodinamico) e le caratteristiche di miscelazione (aspetto cinematico).

Nella fase di miscelazione il polimero crea una struttura simile ad un tessuto spugnoso che avvolge le frazioni di bitume (fig. 4) creando, nella situazione migliore, forze di interazione tra polimero e bitume.

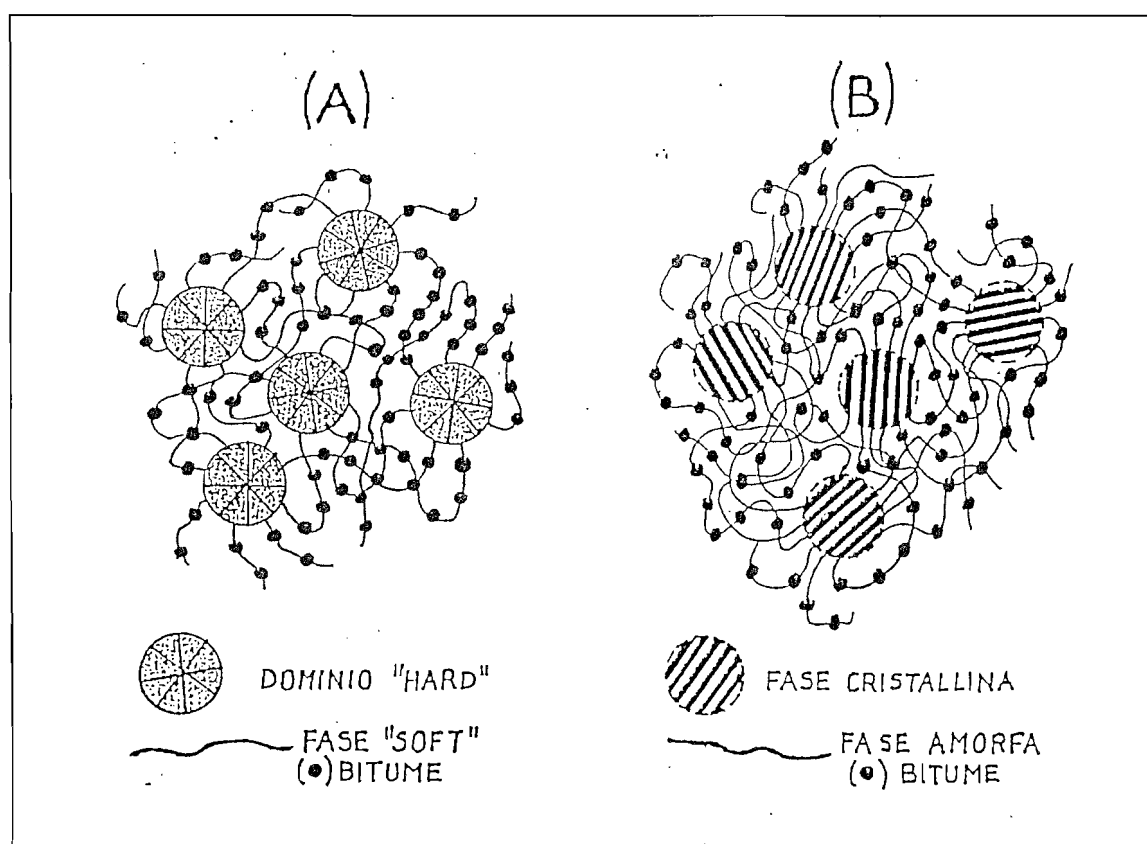


Fig. 4: Meccanismo di interazione Bitume-polimero per: (A) copolimeri a blocchi (SBS, SIS o SEBS), (B) polimeri o copolimeri parzialmente cristallini (LDPE, EVA, EMA).

Nel caso di polimeri di tipo SBS il bitume rigonfia la fase elastomerica mentre interagisce in maniera ridotta con la fase "hard" (polistirene). Nel caso dei polimeri di tipo EVA il bitume rigonfia la fase amorfa e interagisce poco con la fase cristallina. In entrambi i casi si ottiene di un elastomero un elastomero reticolato e plastificato mediante un plastificante che, nel caso specifico, è il bitume.

Completamente diverso è l'assetto morfologico di una miscela di polietilene a bassa densità (LDPE) e bitume: in tal caso il polimero i forma spesso irregolare, è disperso in una matrice di bitume che costituisce la fase continua del sistema.

Il diverso assetto morfologico dei bitumi modificati con polimeri LPDE, rispetto a quello analizzato per i bitumi modificati con polimeri SBS ed EVA, potrebbe essere attribuito all'alto valore della consistenza della fase cristallina di questo tipo di polimeri; in virtù di questo risultato, solo le frazioni amorphe ed a basso peso molecolare si dissolvono nel bitume. Questo tipo di bitume sarà caratterizzato da un aumento della consistenza rispetto al bitume di partenza, dovuta all'elevato valore della viscosità della frazione disciolta.

L'esame dell'assetto morfologico della miscela bitume-polimero consente di valutare, dal punto di vista qualitativo, il probabile comportamento reologico del materiale ma non consente tuttavia di fornire delle stime dettagliate sui valori delle caratteristiche meccaniche e reologiche di queste miscele.

Occorre pertanto ricorrere a prove specifiche di laboratorio come ad esempio le prove di creep sul materiale modificato (fig. 5). Questa consiste nel misurare le deformazioni indotte sia da un carico statico costante che da una sollecitazione crescente.

L'ampiezza della deformazione risulta funzione della rigidità del materiale, per cui risulta maggiore nei bitumi modificati con polimeri. Nei casi esaminati nella figura si assiste, al cessare della sollecitazione, ad un recupero elastico del materiale (legge di Hooke) ed, in tempi più lunghi, ad un diverso comportamento dei vari tipi di bitume modificato.

Nel caso di bitume modificato con elastomeri reticolati il recupero elastico della deformazione risulta pressoché completo (solido di Kelvin) in tempi relativamente brevi (dell'ordine dei 10 minuti). Nel caso invece di bitume modificato con plastomeri il recupero della deformazione non è totale ed avviene in tempi mediamente lunghi (solido di Maxwell). Il comportamento reologico di un bitume modificato con elastomeri non reticolati risulta infine simile a quello di un fluido viscoelastico: la curva ad esso relativa presenta una pendenza minore, indice di una risposta elastica ritardata caratterizzata da elevati tempi di rilassamento.

Le caratteristiche di tenacità dei bitumi modificati con polimeri possono essere analizzate con il metodo Benson. Esso consiste nel sollecitare una sfera d'acciaio, semi sommersa nel legante bituminoso, a trazione e registrando la curva sforzi deformazioni. La curva può essere divisa in due parti (vedi fig. 6): una prima parte rappresentata da un picco della tensione e da una successiva zona di caratteristiche variabili in funzione del tipo di legante considerato nella prova.

I valori che possono essere desunti da tali grafici sono: il valore massimo della resistenza e la tenacità come area della regione di piano compresa tra la curva e l'asse delle deformazioni.

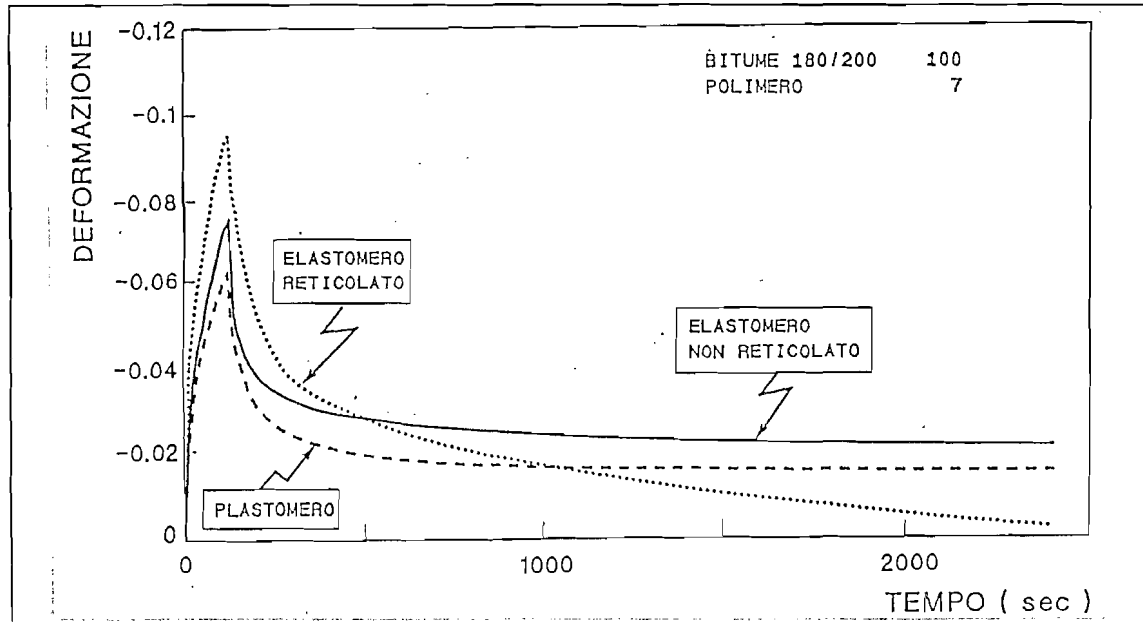


Fig. 5: Prova di creep a carico costante (T=25°C)

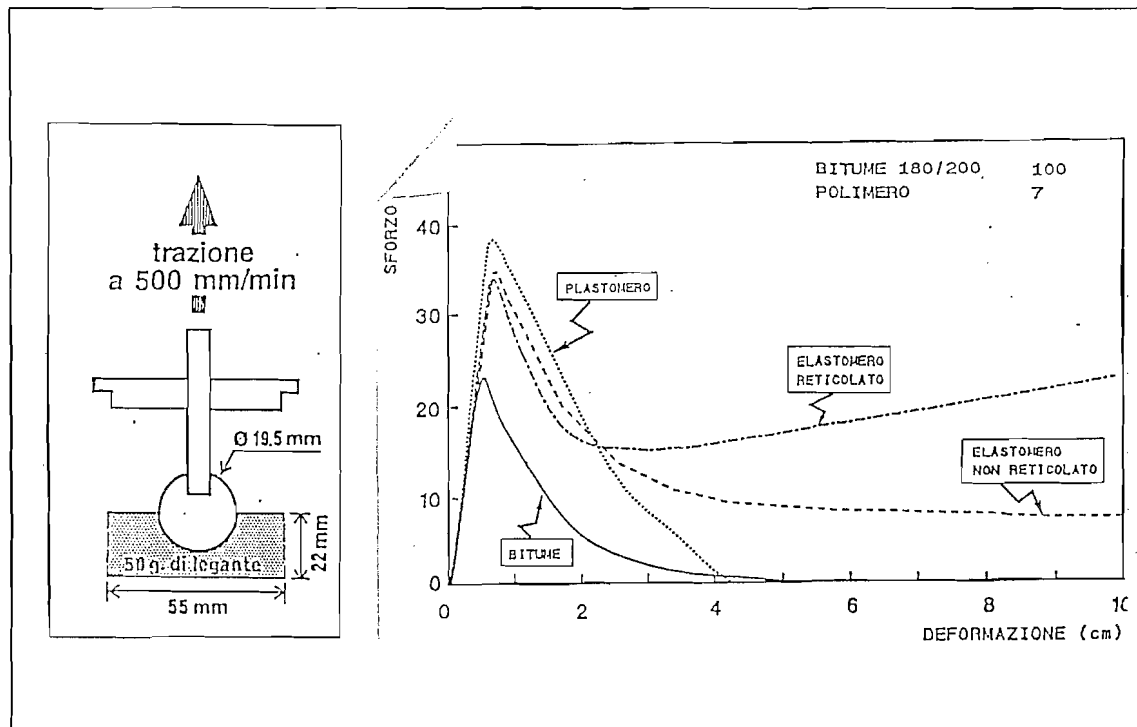


Fig. 6: Resistenza a tenacità secondo il metodo Benson

Tutti i polimeri esaminati precedentemente producono un aumento della resistenza rispetto al bitume di partenza. In particolare i sistemi bitume-plastomero presentano resistenza maggiore rispetto ai bitumi di partenza, mentre i due sistemi di a base di elastomeri presentano caratteristiche meccaniche leggermente inferiori.

L'andamento delle curve riferite ai tre diversi tipi di bitume modificato può essere così riassunto:

- Il sistema bitume-plastomero presenta un andamento del tutto simile a quella di un bitume ordinario, traslata verticalmente sull'asse degli sforzi. Dopo aver raggiunto il picco della resistenza, il materiale si deforma in modo irreversibile per cui bastano bassi valori della sollecitazione per provocare la frattura.
- Il sistema bitume-elastomero non reticolato si comporta come un fluido visco-elastico: dopo aver raggiunto il valore di picco della tensione, la deformazione cresce praticamente a tensione costante, riproducendo il comportamento dei liquidi viscosi.
- Il sistema bitume-elastomero reticolato ha un comportamento simile a quello della gomma vulcanizzata: anche dopo il valore di picco il materiale ha ancora la possibilità di assorbire in modo quasi reversibile deformazioni di notevole entità.

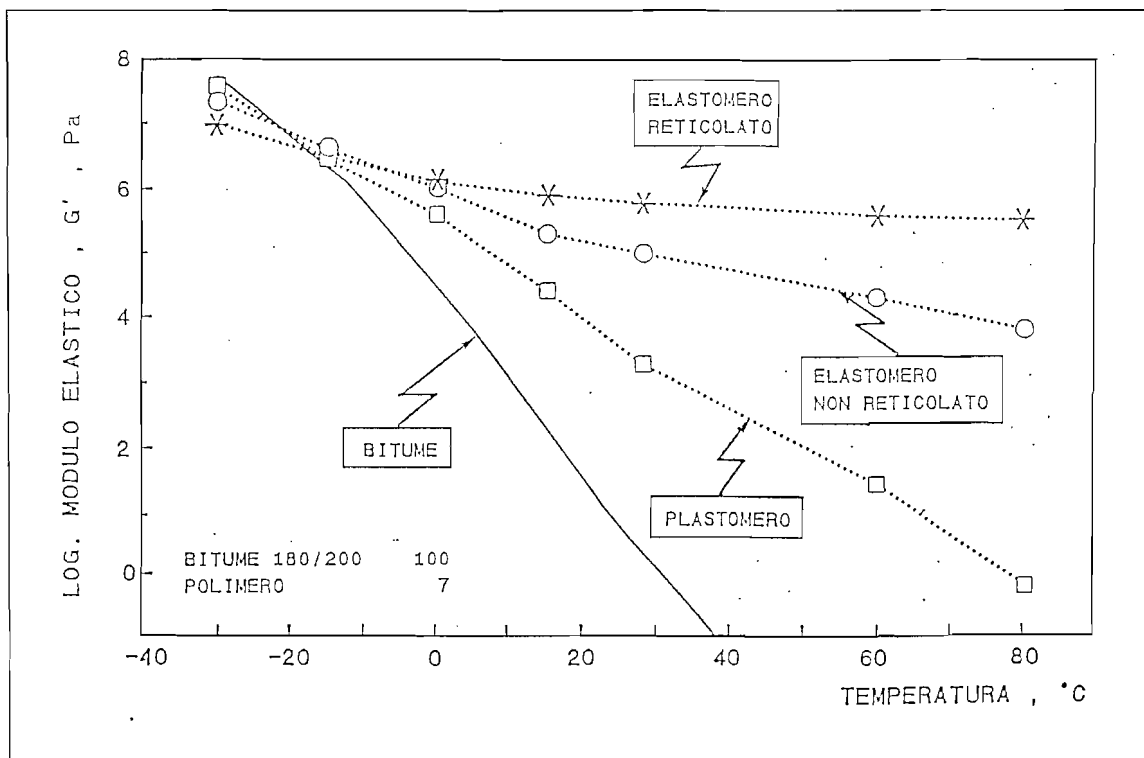


Fig. 7: Andamento del modulo elastico (G') in funzione della temperatura. (frequenza di prova = 10^{-4} Hz).

Passando ora ad analizzare il comportamento meccanico dei bitumi modificati nei riguardi delle variazioni di temperatura, sono riportati di seguito gli andamenti dei moduli elastici del bitume con la temperatura per una assegnata frequenza di prova (fig. 7). I risultati delle prove evidenziano un andamento decrescente del modulo G' con la temperatura nel caso di bitume ordinario, mentre lo stesso risulta pressochè piatto per i bitumi modificati con elastomeri reticolati. Il comportamento dei restanti tipi di miscele è intermedio ai due sopra descritti.

Vanno infine analizzati gli aspetti relativi alle capacità adesive del bitume modificato. Senza entrare nel dettaglio della prova (di cui si è parlato abbondantemente nei bitumi ordinari), occorre sottolineare che la maggiore capacità del sistema di assorbire le deformazioni è dovuta essenzialmente ad un meccanismo di dissipazione energetica alternativo alla frattura.

Il processo di lavorazione dei bitumi modificati non si discosta da quello descritto per le miscele ordinarie. Esso si basa sul criterio dell'equiviscosità che consiste nel contenere la viscosità del bitume all'atto del confezionamento a valori prossimi a quelli dei bitumi ordinari (nel caso peggiore possono tollerarsi innalzamenti fino a 30°C della temperatura rispetto a quella di confezionamento del bitume di partenza).

CAMPI DI IMPIEGO DELLE MISCELE DI BITUME MODIFICATO

Dati gli ottimi risultati derivanti dall'impiego dei bitumi modificati in termini di miglioramento delle caratteristiche reologiche, questi possono essere impiegati in moltissimi campi dell'ingegneria stradale. A tal proposito vanno ricordati:

1. conglomerati porosi per manti drenanti fonoassorbenti;
2. conglomerati tradizionali migliorati di tipo chiuso;
3. conglomerati migliorati di tipo grenu, semigrenu, antiskid;
4. conglomerati per forti escursioni termiche;
5. conglomerati ad alto modulo;
6. conglomerati per strati sottili antisdrucchiolevoli;
7. trattamenti superficiali;
8. mani di ancoraggio e sigillatura di giunti per ponti.

BIBLIOGRAFIA

1. Automobile club di Milano, Dalle piste alla strada, la qualità della pavimentazione bituminosa per una maggiore sicurezza, Giornata di studio
2. A.I.P.C.R., bitumi modificati per usi stradali e loro impiego nei conglomerati e nei trattamenti superficiali.
3. P. Giannattasio, V. Castagnetta, G. Nievelt, G. Peroni, I leganti ed i conglomerati bituminosi, DIT 1989.

L'UTILIZZO DELLE FIBRE COME ADDITIVO DEI BITUMI NELLA REALIZZAZIONE DEI CONGLOMERATI BITUMINOSI PER GLI STRATI SUPERFICIALI (*)

Materiale ancora in oggetto di ricerca, le fibre costituiscono un possibile additivo per i bitumi modificati, utilizzati nella realizzazione dei conglomerati bituminosi ad alto modulo.

La continua crescita del traffico veicolare, come densità e come carico per asse, il problema delle corsie riservate ai mezzi pesanti, determinano deformazioni sempre maggiori sulle superfici delle pavimentazioni in conglomerato bituminoso a diretto contatto con il traffico (stato di usura). Nasce l'esigenza di impiego di materiali più resistenti, capaci di resistere meglio alle deformazioni, al creep e alla fatica, ad esempio introducendo materiali fibrosi, tali da costituire un'armatura per il conglomerato. Bisogna valutare, però, se l'incremento di costo dovuto all'impiego delle fibre possa essere giustificato da un'economia globale nella costruzione della sovrastruttura, dovuta alla possibilità di riduzione dello spessore degli strati della pavimentazione e, soprattutto, da una riduzione degli interventi di manutenzione, necessari per ripristinare le condizioni originarie della strada.

Nel corso degli anni è diventata sempre più concreta la possibilità di utilizzo di materiali rinforzati attraverso l'introduzione di fibre di diversa natura. Generalmente vengono utilizzate come fibre la cellulosa, le fibre minerali, le poliammidi, la lana animale, le fibre di vetro, di acciaio e di carbonio.

Le fibre di cellulosa trovano impiego nelle miscele di asfalto "splitt-mastic". L'alta superficie specifica e la presenza di un gran numero di pori microscopici superficiali (fig. 1) permette l'assorbimento di grandi quantità di bitume da parte di tali fibre. E' garantito, così, nelle pavimentazioni in mastice di asfalto, un miglioramento della resistenza a fatica.



fig.1- Micrografia delle fibre di cellulosa ingrandite 600 volte

(*) Alla redazione della presente relazione ha collaborato l'ing. Luca Alifano.

In fig 2 è mostrato un ingrandimento della microstruttura di fibre minerali. Si nota la superficie moderatamente liscia delle fibre e la sezione quasi circolare.



fig.2- Micrografia delle fibre minerali ingrandite 500 volte

In fig. 3 è, invece, mostrata la microstruttura di fibre sintetiche in poliestere. Come si può notare, tale microstruttura risulta poco irregolare mentre la sezione trasversale delle fibre è anch'esse circolare, similmente alle fibre minerali.

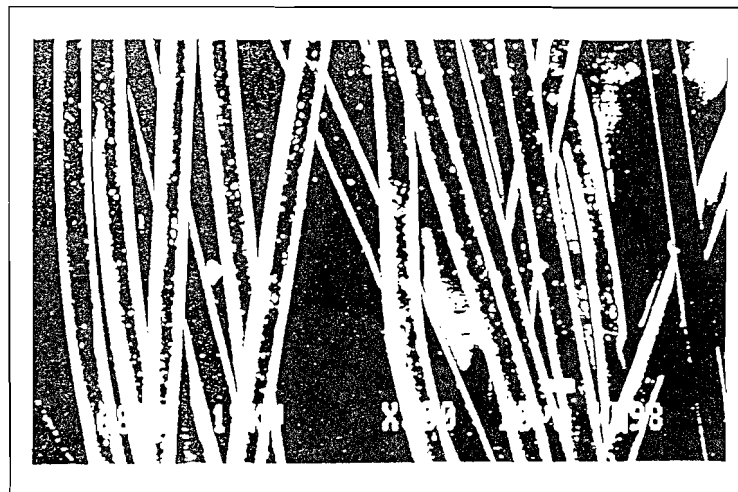


fig.3- Micrografia delle fibre di poliestere ingrandite 500 volte

Le fibre di acciaio (fig.4) presentano, invece, una superficie leggermente porosa, di forma appiattita. Risulta, quindi, maggiore la capacità di ricoprirsi di bitume, rispetto a quanto avviene per le fibre minerali e di poliestere, dotate di superficie completamente liscia. Tale capacità risulta, comunque, di gran lunga inferiore a quella caratteristica delle fibre di cellulosa

Le fibre di acciaio hanno trovato impiego già da tempo nel confezionamento di conglomerati bituminosi per strati di usura di tratti sperimentali di strade (Schaffhauserstrasse S-1, Cantone di Zurigo, Svizzera). In generale vengono introdotte in una percentuale pari di 1.5 % della massa totale ma, per una maggiore efficacia, è consigliabile che tale percentuale venga valutata sempre in rapporto ai materiali localmente impiegati.

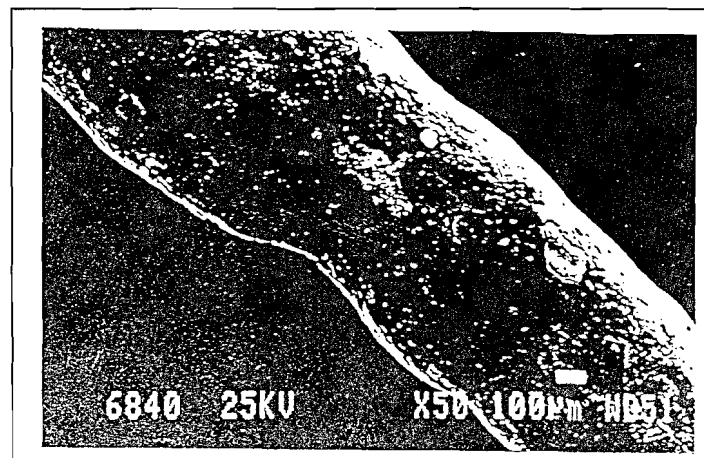


fig.4- Micrografia delle fibre di acciaio ingrandite 500 volte

SPLITT-MASTIC-ASPHALT (SMA) (*)

Si tratta di miscele bituminose di elevate caratteristiche meccaniche, formate essenzialmente da graniglia (circa il 70% dell'aggregato complessivo, incluso anche il filler), con esclusione quasi completa delle frazioni sabbiose. Per tal motivo risultano ricche di mastice (filler + bitume), in maniera da garantire comunque un elevato legame fra gli elementi dello scheletro litico.

Sono miscele caratterizzate da elevata durezza e resistenza all'acqua, risultando, così idonee all'impiego come strati di usura di pavimentazioni soggette a condizioni di carico e climatologiche particolarmente severe (ad esempio le pavimentazioni dei ponti degli incroci e delle fermate degli autobus in ambito urbano, le aree di sosta dei veicoli industriali, le piste di rullaggio degli aeroporti, ...).

Un ruolo fondamentale, in tali miscele, è svolto dal mastice che deve essere sufficientemente denso da non permettere, durante la fase di mescolazione, la segregazione degli inerti. La forte discontinuità granulometrica e l'elevato contenuto di bitume rende, infatti, concreta detta possibilità; il mastice potrebbe colare liberamente, spogliando gli inerti del necessario rivestimento di legante.

Viene allora aggiunto al mastice un additivo stabilizzante, in genere nella quantità del 0.3÷1.5 % in peso, con la funzione di rendere la miscela più densa. Come additivi vengono utilizzate fibre naturali (farine fossili, cellulosa) o artificiali (vetro, gomma) che presentano un'elevata superficie specifica.

Perché tali miscele possano rispondere agli elevati requisiti meccanici per cui sono preposte, come precedentemente richiamato, è necessario che venga posta particolare attenzione in tutto il loro processo produttivo. Gli inerti dovranno essere di elevata qualità (granulato totalmente frantumato, coefficiente Los Angeles inferiore al 20 %), lo stesso dicasi per il bitume; dovrà esserci un elevato tenore di mastice, ma allo stesso tempo non tale da saturare completamente i vuoti intergranulari della miscela compattata. In definitiva, tali miscele dovranno presentare un'elevata resistenza al fluage, all'usura per fatica, all'azione dei pneumatici chiodati e, parimenti, elevate caratteristiche chimica-fisica, quali l'impermeabilità, la resistenza all'invecchiamento, la rugosità superficiale.

BIBLIOGRAFIA

- PELTRONEN P: Fibres as additives in bitumen. EUROBITUME SYMPOSIUM 1989
- GOTTSCHALL A: Steel fibre reinforced asphalt. EUROBITUME SYMPOSIUM 1985
- Quaderni AIPCR del XXII Convegno Nazionale Stradale. Perugia 1994

(*) Alla redazione della presente relazione ha collaborato l'ing. Luca Alifano