

SITEBSi srl

Rassegna del bitume

RIVISTA DEL SITEB-ASSOCIAZIONE ITALIANA BITUME ASFALTO STRADE

ESTRATTO DAL N° **22/94**

**Materiali bituminosi per pavimentazione: innovazioni chimiche
e tecnologiche emerse dal 5° Eurobitume**

Carmen Vecchi

Stazione Sperimentale per i combustibili, San Donato Milanese

Materiali bituminosi per pavimentazione: innovazioni chimiche e tecnologiche emerse dal 5^o Eurobitume

CARMEN VECCHI

Stazione sperimentale per i combustibili, San Donato Milanese

Introduzione

La tecnologia del bitume costituisce un argomento di grande interesse anche in momenti di crisi economica perché, pur se si costruiscono meno strade, è comunque indispensabile mantenere quelle esistenti in buona efficienza.

Forse è proprio la situazione di difficoltà economica che, negli ultimi anni, ha spinto produttori e utilizzatori a dedicare molte energie alla ricerca di materiali più resistenti e duraturi e di nuove prove che consentano di prevedere con buona approssimazione il comportamento di bitumi, mescole e conglomerati dopo la posa in opera.

La vera novità è probabilmente rappresentata dall'uso ormai generalizzato di bitumi additivati con polimeri sia nelle emulsioni che nei conglomerati, soprattutto per produrre asfalti fonoassorbenti e porosi e guaine impermeabili.

Una sintesi dell'attuale «stato dell'arte» della scienza e soprattutto della tecnologia dei bitumi, l'ha offerto il 5° EUROBITUME tenutosi dal 16 al 18 giugno 1993 a Stoccolma.

L'enorme numero di memorie presentate, spesso di elevata qualità, ha fatto comprendere che il mondo dell'asfalto è in notevole evoluzione e merita quindi attenzione.

La presente rassegna intende offrire una panoramica delle tendenze e delle novità emerse da questo convegno riguardo agli aspetti chimico-fisici, reologici, tecnologici e di impatto ambientale dei bitumi. Le citazioni bibliografiche riportate si riferiscono agli atti del Convegno (disponibili per gli interessati presso la SSC)*. La rassegna si articola in 2 parti: la prima riguarda principalmente gli aspetti più propriamente chimici e scien-

* es. riferimento 1:01 significa: 1 = Sessione 1, 01 = numero progressivo della memoria.

tifici relativi al bitume tal quale e modificato, la seconda è dedicata ai conglomerati asfaltici di cui vengono principalmente considerati gli aspetti stradali e tecnologici.

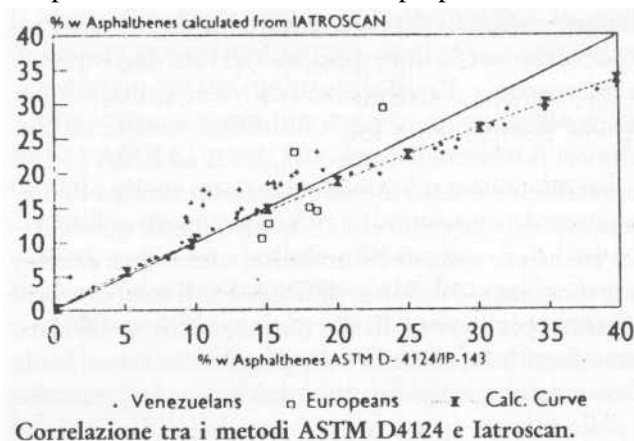
Analisi chimico-fisica e strumentale

Per studiare bitumi, asfalti e loro derivati vengono correntemente utilizzati numerosi metodi chimici e chimico-fisici che forniscono informazioni sulla composizione chimica e strutturale dei bitumi, da cui fondamentalmente dipendono il comportamento fisico, meccanico e reologico.

Uno dei sistemi più comunemente usati per caratterizzare chimicamente un bitume è il frazionamento mediante cromatografia liquida in saturi, aromatici, resine e asfalteni secondo i metodi standard ASTM D 4124 e D 2007.

Come alternativa a questi metodi, che richiedono tempi abbastanza lunghi, viene utilizzata da alcuni anni la strumentazione Iatroscan, che comporta un'analisi TLC (cromatografia su strato sottile) con rivelazione FID (ionizzazione di fiamma).

Poiché i risultati che si ottengono con i due sistemi sono piuttosto discordanti è stata proposta una elabora-



zione matematica che consente di correlare i valori ASTM D 4124 ai dati latroscan (1:38), per bitumi a bassa acidità contenenti meno del 20% di asfalteni. Questa procedura è applicabile anche per ricavare la percentuale di polimeri saturi es. APP) nel caso di bitumi additivati. Per determinare la quantità di asfalto naturale aggiunto ad alcuni bitumi per migliorarne la qualità, è stato proposto un metodo basato sulla cromatografia a gel permeazione ad alta pressione (HP-GPC).

Il sistema è valido anche nel caso di bitumi sottoposti alla prova di invecchiamento simulato, ma deve essere ancora perfezionato per poter valutare l'influenza del processo di posa in opera sui leganti bituminosi (1:42). La calorimetria differenziale a scansione (DSC) fornisce interessanti informazioni sul comportamento a bassa temperatura dei bitumi tal quali (1:08) e modificati (1:11). Alcuni dati DSC, quali la temperatura di transizione vetrosa (T_g) e la frazione cristallizzabile (CF), possono essere correlati a proprietà fisiche del bitume come l'indurimento in funzione del tempo.

Nel caso di bitumi additivati con polimeri semicristallini (EVA e EMA), la DSC mostra picchi di fusione che dipendono da: tipo di bitume, tipo e quantità di polimero e trattamento termico subito dal campione. Anche la microscopia ottica, sia in contrasto di fase (PCM) che a luce polarizzata, fornisce utili informazioni strutturali ed è stata utilizzata per osservare direttamente le transizioni di fase solido-liquido in bitumi puri e la morfologia di bitumi modificati. Un metodo d'indagine basato sull'assorbimento neutronico permette di misurare il contenuto di bitume e la sua regolarità di dispersione in una miscela (1:15); per ottenere risultati riproducibili è però necessaria una calibrazione alquanto meticolosa.

La spettrometria a risonanza magnetica nucleare (NMR), impiegata da tempo per ricavare importanti informazioni sulla struttura dei bitumi, non si è dimostrata fino ad oggi di grande utilità nello studio di bitumi additivati con polimeri (1:24).

Probabilmente, data la potenzialità della tecnica, si tratta di approfondire lo studio e trovare un sistema adeguato per elaborare le informazioni ricavate dagli spettri. La microscopia d'epifluorescenza viene utilizzata per studiare la micromorfologia di bitumi modificati con polimeri fluorescenti come SBS, EVA ed EMA (1:13). Recentemente è stato messo a punto un sistema di preparazione dei campioni che consente l'uso di questa tecnica anche per miscele bituminose; trattandosi però di un lavoro lungo e delicato, difficilmente il metodo verrà utilizzato per i controlli di routine, anche se fornisce interessanti informazioni sulle possibili relazioni fra la micromorfologia dei bitumi modificati e le prestazioni delle miscele in cui sono coinvolti.

Quanto illustrato permette di concludere che le conoscenze sui materiali bituminosi hanno registrato un notevolissimo incremento grazie all'applicazione di tecniche e strumentazioni sempre più moderne e sofisticate, anche se occorre notare il persistere di notevoli lacune soprattutto riguardo le molecole bitume-polimero.

Invecchiamento e ossidazione

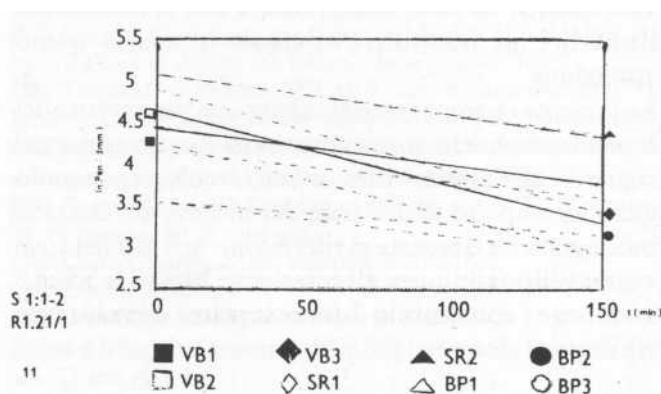
In Europa le specifiche del bitume non prevedono prove relative alla suscettibilità all'invecchiamento, anche se questo è uno dei problemi di maggior interesse, soprattutto per le applicazioni stradali, in quanto da questa proprietà dipende in gran parte la durata della pavimentazione.

L'invecchiamento di un bitume inizia durante la sua miscelazione con l'inerte: in questo breve periodo il bitume si trova sotto forma di un film sottile, ad alta temperatura ed in atmosfera ossidante, cioè in condizioni estremamente severe.

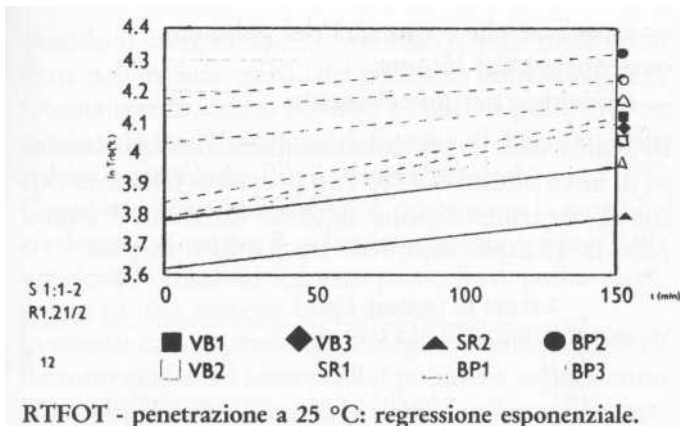
Il processo continua dopo la posa in opera: in questa situazione le condizioni di aggressione sono molto più blande, per cui il deterioramento è lento ma progressivo. L'invecchiamento di un bitume, sia tal quale che modificato con polimeri, coinvolge le sue caratteristiche fisiche e meccaniche e la sua composizione chimica. Per simulare l'invecchiamento durante la miscelazione (che potrebbe definirsi più correttamente indurimento) esistono 3 prove: TFOT (ASTM D 1754), RTFOT (ASTM D 2872) e DIN 52016 che danno risultati simili (1:01,37,43).

Il test RTFOT è il più comunemente usato, probabilmente perché è veloce ed abbastanza soddisfacente, nonostante l'indurimento indotto sia più severo di quello reale.

Con questo test è possibile prevedere la tendenza all'invecchiamento di un bitume, cioè la variazione del



Punto di rammollimento RTFOT: regressione esponenziale.



punto di rammollimento (R&B) e la penetrazione dopo la posa in opera (1:03).

Per questa ragione le autorità francesi hanno deciso di introdurlo fra le specifiche dei bitumi.

I bitumi di prima distillazione (SR) risultano meno suscettibili al RTFOT di quelli di visbreaking (VB); i bitumi modificati con polimeri mostrano un comportamento intermedio (1:21).

Per studiare le variazioni indotte dall'invecchiamento sulla composizione chimica sono stati utilizzati metodi diversi come: separazione con solventi, GPC, NMR, IR, e UV.

Utilizzando il TFOT con tempi di reazione fino a 10 volte superiori a quelli comunemente usati, sono stati ottenuti campioni con caratteristiche assai simili a quelle dei bitumi ossidati con aria (1:20,40).

In entrambi i casi, oltre alle variazioni delle proprietà chimico-fisiche, si osserva un enorme aumento della quantità degli asfalteni ed una notevole diminuzione degli aromatici.

Le resine, che all'inizio dell'invecchiamento aumentano, si trasformano poi in asfalteni.

Il peso molecolare di questi aumenta poco con l'invecchiamento simulato, mentre raddoppia dopo la soffiatura con aria.

In entrambi i casi l'aromaticità, calcolata mediante NMR, diminuisce. È stata messa a punto una particolare cella per spettrofotometro infrarosso a trasformata di Fourier FTIR che può essere riscaldata e consente di seguire, praticamente in continuo, l'ossidazione del bitume che avviene direttamente nello strumento (1:05,07).

Dalle aree o dall'altezza delle bande, in un determinato intervallo di frequenze, sono stati calcolati indici specifici che consentono di osservare l'evoluzione dell'ossidazione.

Per seguire meglio le modificazioni dei composti poliaromatici, alla FTIR è stata affiancata la fluorescenza UV sincrona (SF).

Queste tecniche sono state utilizzate per confrontare diversi bitumi estratti da un manto stradale dopo una posa in opera di 1, 2, 3, 4 anni.

La sperimentazione è tuttora in corso, ma i risultati fino ad ora ottenuti hanno consentito di evidenziare differenze di reattività dei bitumi, in funzione dell'origine e, soprattutto, delle condizioni di posa in opera. Studiare l'invecchiamento di una mescola bitume-polimero risulta ancora più complesso in quanto le modificazioni indotte sul bitume o sul polimero possono interferire.

Vonk e coll. (1:27) dopo aver esaminato con differenti prove 3 bitumi additivati con SBS, SBS idrogenato e EVA, a vari stadi di invecchiamento, concludono che l'SBS si dimostra molto efficace nel ridurre gli effetti negativi dell'ossidazione.

Parte del polimero subisce una degradazione dovuta al calore e all'ossigeno; i frammenti originati reagiscono fra di loro e con il bitume cambiando la morfologia, ma mantenendo pressoché inalterate le proprietà reologiche della mescola.

L'invecchiamento che si ha durante la miscelazione e quello successivo alla posa in opera sono due fenomeni differenti in quanto avvengono in condizioni molto diverse: la prova RTFOT sembra simulare il primo tipo di invecchiamento in modo abbastanza soddisfacente, per il secondo è necessario elaborare una prova diversa, probabilmente con ossigeno anziché con aria, ma comunque a temperature vicine a quelle di esercizio. I parametri più rappresentativi dell'effetto di invecchiamento sulle proprietà chimico-fisiche dei bitumi sono risultati: punto di rammollimento, viscosità a 130 °C e penetrazione.

Qualità del bitume: come migliorarla

A) Processi e mescole speciali

Il mercato richiede bitumi di buona qualità, in grado di fornire prestazioni sempre migliori, in condizioni di esercizio spesso molto difficili.

Tuttavia non sempre, per ragioni economiche, è possibile scegliere i grezzi più idonei a produrre buoni bitumi. In questi casi, per migliorare la qualità dei residui di distillazione, è necessario ricorrere a trattamenti particolari, come ossidazione e flussaggio.

In alcuni paesi dell'Est europeo, che dispongono di grezzi molto paraffinici, non adatti a produrre bitumi di qualità, sono stati sviluppati metodi specifici che consentono di ottenere prodotti dalle prestazioni accettabili (1:02,25,31).

La continua ricerca per migliorare la tenuta del manto stradale, in condizioni di traffico sempre più intenso e pesante, ha portato la Shell alla formulazione di un nuovo bitume, chiamato «Multigrade», a bassa suscettibilità termica (1:28).

Questo prodotto, che associa i vantaggi di un bitume duro e di uno molle, è molto resistente alla deformazione permanente.

Le sue proprietà di stabilità meccanica, resistenza alla fatica e adesività sono state provate mediante prove di laboratorio e confermate da saggi effettuati su strade costruite in diversi paesi con traffico e clima alquanto differenti.

B) Aggiunta di additivi

Anche se bitumi additivati con polimeri vengono da anni ampiamente utilizzati per la costruzione di strade, le conoscenze su questo tipo di mescole sono ancora piuttosto empiriche.

Molti sforzi sono stati fatti per chiarire i dubbi che tuttora esistono, non solo riguardo alle caratteristiche dei bitumi modificati, ma anche alle interazioni tra bitume e polimero.

Nonostante le poliolefine non vengano generalmente considerate buoni additivi per bitumi, Braga e coli. (1:18) hanno trovato che un copolimero formato da un segmento di EPR (etilene-propilene) e uno di PP (polipropilene), prodotto direttamente nel reattore di polimerizzazione, può essere adatto a produrre bitumi modificati.

Se le caratteristiche del polimero sono scelte in modo idoneo, si possono ottenere risultati paragonabili a quelli osservati con l'SBS, ma con una migliore resistenza all'invecchiamento.

Per migliorare la qualità di bitumi ottenuti da grezzi paraffinici, che formano mescole instabili con il 3% di SBS ed SBR, è stato proposto di aggiungere resine aromatiche da petrolio, ottenute per polimerizzazione di un residuo di steamcracking (1:49).

L'aggiunta di queste resine, perfettamente solubili nei bitumi, ne aumenta l'aromaticità e stabilizza la miscela bitumepolimero.

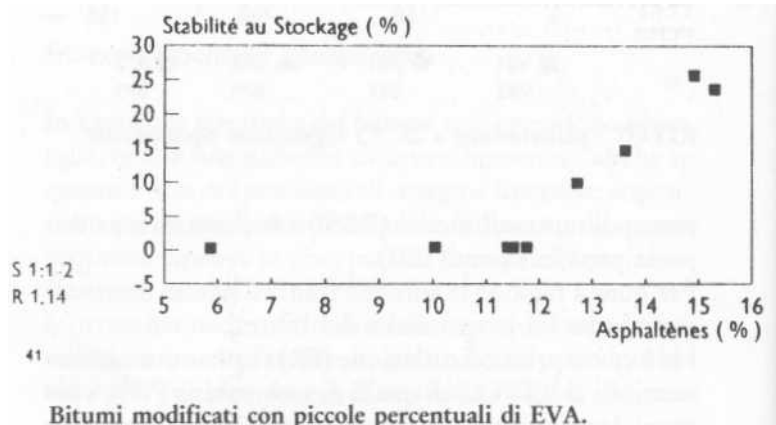
Rudenskaya e coll. (1:36) hanno elaborato un modello matematico che descrive il comportamento reologico di un bitume, preferibilmente additivato con polimero, rispetto alla temperatura.

Questo modello fornisce la base analitica per calcolare le proprietà reologiche dei bitumi modificati in diversi modi.

Le proprietà dei bitumi additivati con polimeri dipendono da numerosi parametri di cui i più importanti sono:

- caratteristiche e quantità del polimero
- proprietà del bitume
- tecnologia del miscelamento.

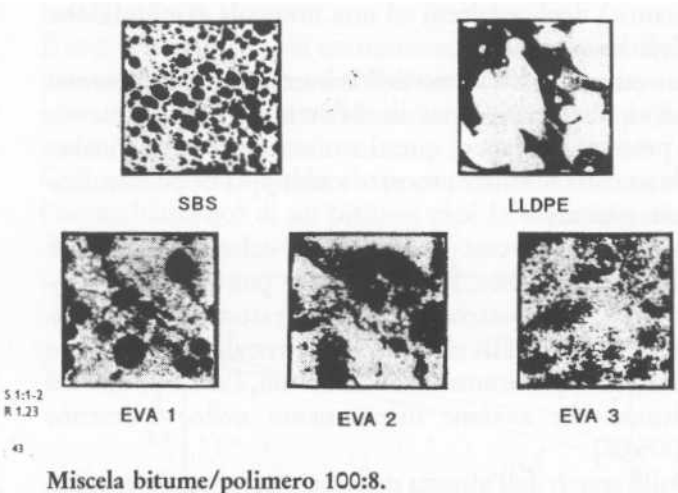
B. Brulé e coli. (1:14) hanno studiato il comportamento di nove bitumi 80/100 con proprietà fisiche molto simili, ma composizione alquanto differente e contenuto in asfaltini compreso fra 5 e 23% in peso.



Bitumi modificati con piccole percentuali di EVA.

L'aggiunta del 3% di EVA fa diminuire la penetrazione ed aumentare il R&B e la coesione, tuttavia i risultati dimostrano che le proprietà del bitume additivato dipendono sostanzialmente dalla composizione del prodotto di partenza.

Non sono però state trovate correlazioni precise fra composizione chimica del bitume e proprietà del legante modificato, il che complica notevolmente la previsione delle caratteristiche del prodotto finale e i criteri di scelta del bitume di partenza.



Miscela bitume/polimero 100:8.

Soltanto il contenuto di asfaltini sembra essere in relazione con la stabilità delle mescole.

Prodotti stabili si ottengono infatti aggiungendo il 3% di EVA a bitumi contenenti meno del 12% di asfaltini. Una effettiva modificazione del bitume si ottiene solo

quando il comportamento reologico della miscela riflette nell'insieme quello dal polimero utilizzato (1:23). Questa condizione si realizza quando il polimero costituisca la fase continua dal sistema ed il bituma è disperso sotto forma di goccioline regolari.

Copolimeri come SBS ed EVA presentano la morfologia descritta, mentre il polietilene lineare, a causa della sua elevata cristallinità, forma particelle di polimero disperse in una matrice bituminosa.

In questo caso la proprietà reologiche della miscela riflettono quelle dal bitume ed il polimero sembra comportarsi più come riempitivo che come modificante. Per prevedere il comportamento viscoelastico di bitumi così modificati sono state utilizzate analisi dinamicomeccaniche. I leganti utilizzati per pavimentazioni con strato superficiale sottile o molto sottile a par di asfalti porosi devono possedere alta resistenza meccanica in un ampio campo di temperatura, alta adesività con l'aggregato a resistenza all'invecchiamento (1:04).

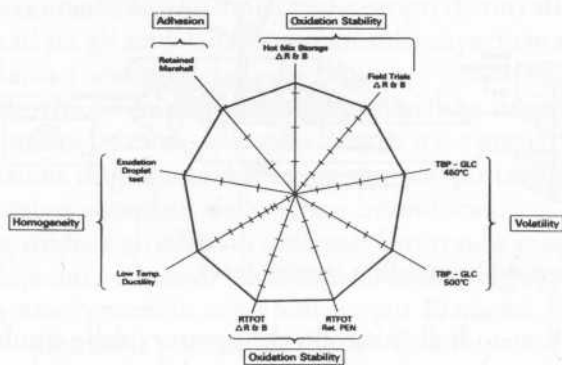
Prova di laboratorio ed esperimenti «su strada» dimostrano che l'uso di bitumi modificati con elastomeri consente di soddisfare queste esigenze e garantisca una buona durata nel tempo anche in strada a grande traffico.

Anche se l'aggiunta di un polimero ad un bituma ne migliora le prestazioni, non sempre si ottengono le proprietà desiderate mescolando semplicemente bituma a polimero ad alta temperatura (1:26). Gli autori presentano un metodo che aiuta a fronteggiare i problemi riguardanti la produzione, il processo e la formulazione di leganti modificati.

C) Prove per ottimizzare le scelte

Le prove tradizionalmente usate per caratterizzare i bitumi non sono in grado di differenziare le prestazioni dei prodotti tradizionali da quelli additivati e di valutare adeguatamente importanti caratteristiche come coesione, adesività e invecchiamento.

Per questo è stata messa a punto una nuova procedura



Il «Qualagon».

chiamata «Metodo Universale di Caratterizzazione dai Leganti» che, in modo semplice, consente di definire con precisione la proprietà sia dei leganti ottenuti per distillazione del petrolio o dal carbone, che di quelli modificati con additivi (1:39).

Per rappresentare graficamente le correlazioni tra proprietà fisiche dai bitumi e loro prestazioni ad individuare la prova più idonea a valutarle, da alcuni anni viene utilizzata una carta di qualità denominata «Qualagon» (4° Eurobituma, Madrid 1989). Poiché alcune di queste prove sono troppo lunghe e costose, per un controllo di qualità è stato sviluppato un nuovo schema che utilizza saggi tradizionali a consentire di valutare le prestazioni dal bituma in modo più semplice e rapido, anche se meno rigoroso (1:29).

L'influenza dalla penetrazione dal bituma e dalla quantità di polimero sulla prestazioni di leganti e miscele è stata esaminata in 7 diversi laboratori di 4 paesi differenti (1:06); sono stati utilizzati saggi convenzionali, saggi europei di simulazione sulla miscela a saggi derivati dal progetto americano SHRP (Strategic Highway Research Program).

I risultati mostrano che i metodi in uso non sono in grado di predire in modo accurato il comportamento dalla miscela bituminosa osservato mediante i simulatori di laboratorio. Informazioni più attendibili, specie per i campioni ad alto contenuto di polimero, sembrano ottenersi con le procedure proposte dallo SHRP.

Reologia

Il 5° Congresso Eurobitume segna la scoperta dall'approccio reologico per la caratterizzazione delle proprietà dinamico-meccaniche dei bitumi, tal quali a modificati. I saggi elaborati lasciano intravedere la possibilità di definire con sempre migliore accuratezza le caratteristiche comportamentali di ogni tipo di campione.

La maggior parte dell'attenzione dai ricercatori si è rivolta allo studio delle caratteristiche reologiche dai bitumi modificati con polimeri in confronto ai bitumi tradizionali.

Componente elastica e viscosa, curve di flusso, modulo complesso a angolo di fase sono stati misurati a varie temperature a sotto diverse sollecitazioni, su un'ampia gamma di campioni (1:09,10,17,22).

Sono state inoltre ricavate interessanti relazioni tra la struttura dei bitumi, le caratteristiche plastiche dai polimeri e le prestazioni dalla miscela.

In particolare sono stati studiati gli effetti prodotti dall'uso di bitumi modificati, sulla tendenza alla deformazione per scorrimento della miscela legante-inerte (1:32). La resistenza alla deformazione, determinata a 45 °C,

e stata correlata alla viscosità assoluta a 60 °C del bitume originale, misurata con un viscosimetro rotazionale. Con un programma di analisi di regressione multipla e stata ricavata una relazione tra la resistenza alla deformazione della miscela e 3 proprietà reologiche del legante: indice di penetrazione, penetrazione a 25 °C e viscosità assoluta a 60 °C. Si conclude che l'utilizzo del bitume modificato con SBS incrementa sensibilmente la resistenza alla deformazione per scorrimento. Bitumi utilizzati per ricoprimenti e bitumi impiegati in conglomerati sono stati sottoposti a prove di suscettibilità termica, tra 30 e 60 °C, e di suscettibilità cinetica, a frequenza compresa tra 7,8 e 250 Hz, rilevando la tendenza alla perdita di coesione, alla fessurazione ed alla deformazione per scorrimento (1:12).

Nell'ambito del programma SHRP è stato sviluppato un nuovo saggio che potrebbe sostituire le prove correntemente utilizzate per definire il comportamento di bitumi alle basse temperature (1:47).

Questa prova, che prevede l'utilizzo della minor quantità possibile di campione, sarà probabilmente inserita nelle specifiche ufficiali USA e si basa fondamentalmente su un sistema di auto-allineamento per il campione e uno di misura dell'allungamento con lettura laser senza contatto.

Peroni e coll. (1:19) hanno elaborato una procedura originale per determinare la coesione di leganti bituminosi. Un portacampioni cilindrico, riempito di una «mistura» di sferette di vetro e bitume ad una temperatura di 160-180 °C, viene lasciato raffreddare sotto opportune condizioni di pressione. I risultati delle misure di deformazione sotto stress controllato, effettuate a 10, 25 e 40 °C, sono stati confrontati con quelli ricavati con un reometro tradizionale.

Le prove sono state eseguite su un bitume SR, uno ottenuto per miscelazione, uno addizionato con SBS e uno con EVA.

La classificazione e caratterizzazione dei bitumi sono state affrontate anche per via informatica.

Per descrivere e spiegare il comportamento reologico dei bitumi sono stati elaborati due modelli computerizzati (1:44,45); i dati sperimentali hanno dimostrato un buon accordo con quelli ricavati per calcolo. Il modello proposto da Dobson (1:45) è stato anche estrapolato per i conglomerati e per i prodotti ricoprenti.

Emulsioni

Un'emulsione bituminosa è un prodotto molto complesso, le cui caratteristiche e il cui comportamento sono legati alle dimensioni delle particelle, alla natura dei costituenti ed alla distribuzione superficiale delle fasi acquosa e idrocarburica.

Negli ultimi decenni sono stati affrontati diversi approcci, sia teorici che empirici, per valutare questi sistemi dal punto di vista chimico-fisico e reologico.

I temi più discussi sono: tecnologia delle emulsioni, proprietà adesive e sensibilità all'acqua.

Le analisi e i saggi classici come il tenore in acqua, la viscosità, la stabilità allo stoccaggio, la resistenza alla setacciatura, la velocità di rottura e il saggio di disemulsionabilità, pur se permettono di caratterizzare le emulsioni, sono poco attendibili per prevedere il comportamento all'applicazione.

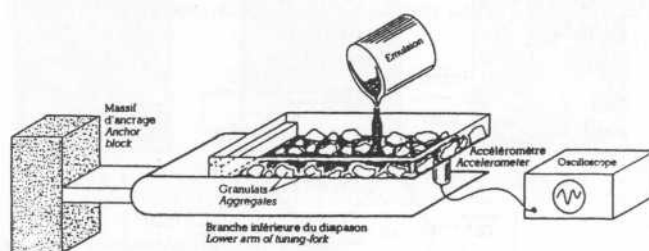
Per simulare le proprietà dei prodotti finali nei quali vengono utilizzate le emulsioni, le prove tradizionali quali: misura della granulometria, dosaggio della fase acquosa e prove di evaporazione e filtrazione, sono state integrate con procedimenti denominati «fretting test» modificato e «prova di reattività» (1:52).

Siccome, una volta manipolate, le emulsioni acquistano caratteristiche che non possono più essere modificate mediante riprocessamento, è importante definire la qualità originale di una emulsione bituminosa per garantire le prestazioni dei prodotti da essa ricavati. Per sopperire alla mancanza di normative europee riguardo la emulsionabilità del bitume, è stato proposto un metodo che misura la tensione interfacciale acqua-bitume a differenti valori di pH. Si ricava un coefficiente adimensionale che viene rapportato alla facilità di lavorazione industriale e, in definitiva, al grado di emulsionabilità per via anionica e cationica. (1:66)

A) Rottura

Lo studio del processo di rottura delle emulsioni è strettamente collegato con i problemi di produzione.

È noto da tempo che le emulsioni si rompono spontaneamente a contatto di una superficie solida con un andamento differente a seconda del tipo di superficie. Redelius, dopo aver presentato una rassegna dei prin-



Schema dell'apparecchio «tuning fork».

cipali metodi di controllo della rottura delle emulsioni anioniche, cationiche e neutre, descrive un sistema basato sull'impiego di una soluzione salina acquosa ba-

sica, dispersa in una fase oleosa in grado di ritardare la rottura (1:69).

Per seguire il processo di rottura delle emulsioni nelle miscele emulsione-granulato in funzione del tempo è stata sviluppata una prova denominata «tuning fork test» (1:53).

Sono stati individuati tre stadi:

- un tempo di inizio e diffusione
- un tempo di fine della rottura intergranulare
- un tempo di inizio del processo di ricoprimento.

La distinzione delle tre fasi sembra consentire una migliore interpretazione del fenomeno sia attraverso ulteriori prove di laboratorio, che direttamente «in situ».

Il comportamento alla rottura delle emulsioni, dalla posa in opera fino ad un eventuale riciclaggio, è stato correlato alle caratteristiche chimico-fisiche determinate in laboratorio (1:55).

Emulsioni potenzialmente in grado di fornire nel tempo comportamenti differenti alla rottura sono state prodotte, provate e poste in opera; controlli incrociati laboratorio-cantiere hanno permesso di stabilire l'influenza di:

- natura del bitume
- formulazione bitume-emulsificante
- procedimento di manipolazione

B) Adesione

L'adesione bitume-granulato è intesa come la facoltà del conglomerato a mantenere inalterata la percentuale di superficie ricoperta dal legante, allorché viene sottoposto all'azione dell'acqua.

Il legante e l'aggregato sono tenuti insieme da una serie di interazioni chimico-fisiche; l'adesione più debole è dovuta all'assorbimento fisico, che ha origine dalle forze intermolecolari, e porta il bitume fluido a spandersi sopra la superficie dell'aggregato. La rugosità della superficie migliora l'adesione meccanica.

Si osservano inoltre interazioni dipolo-dipolo tra le specie polari del bitume e quelle degli inerti e, in piccola percentuale, legami ionici veri e propri dovuti alle reazioni tra gli acidi silicei presenti sulla superficie solida e le basi azotate deboli del bitume.

Allorché il film di legante subisce qualche danno (fessurazione), a causa delle sollecitazioni meccaniche, inizia l'azione disgregante dell'acqua, che può portare fino al distacco completo dello strato bituminoso.

Per studiare gli effetti di differenti fattori sulle proprietà ricoprenti e aderenti, vari campioni legante-aggregato sono stati immersi in acqua bollente per 10 minuti. È stata poi misurata la percentuale di superficie scoperta (1:50). Le prove sono state fatte variando:

- natura del bitume

- natura del legante idrocarburico (bitume e/o catrame)

- presenza di additivi (antiossidanti e polimeri)
 - aggiunta di agenti aggreganti e/o di calce
 - natura del granulato (calcare, ghiaia, gres, porfido).
- La variazione delle proprietà aderenti è stata inoltre valutata per 4 minerali e 6 tipi di rocce trattati con 3 bitumi di identica penetrazione, ma con viscosità e numero di acidità diversi (1:51).

I campioni sono stati sottoposti a prove per determinare la loro sensibilità all'acqua.

I risultati mostrano che l'adesione migliora quando aumenta la basicità dovuta alla basi azotate deboli, mentre il momento dipolare e il numero di acidità dei bitumi non hanno alcuna influenza.

Su campioni di porfido, basalto e calcare ricoperti con un bitume Venezuelano, tal quale e additivato con diverse quantità di EVA e/o SBS, sono state studiate le variazioni delle proprietà adesive in funzione della modifica subita dal bitume iniziale (1:61). I risultati migliori sono stati ottenuti con l'inerte calcareo e la miscela bitume SBS/EVA.

Il processo di adesione è stato studiato anche da un punto di vista termodinamico (1:62). Dai valori delle energie libere di Gibbs, determinati per estrapolazione da isoterme di assorbimento sperimentali, è stato possibile valutare la compatibilità e incompatibilità tra alcuni bitumi, inerti e polimeri.

Composti puri sono stati presi come modello delle varie frazioni dei bitumi per studiarne il comportamento nei confronti di particolari tipi di aggregati (1:59). Dalle isoterme di adsorbimento si è potuto stabilire che composti con funzionalità acida presentano valori di adsorbimento più alti rispetto a sostanze di tipo chetonico o contenenti gruppi azotati non basici.

Bitumi e ambiente

In Europa si tende a uniformare leggi e regolamenti che controllano gli effetti prodotti dai bitumi sulla salute umana e sull'ambiente.

Particolare attenzione è stata dedicata ai potenziali effetti cancerogeni dei bitumi e soprattutto dei fumi generati durante il loro riscaldamento.

Fino al 1993 i bitumi ed i loro fumi non sono stati classificati cancerogeni, ma nel 1994 i risultati di nuovi studi potrebbero modificare queste conclusioni, anche se occorre fare attenzione a distinguere i prodotti da «coal tar» (catrame) da quelli bituminosi.

Gorkum e coll. (2:08) hanno raccolto i dati ottenuti dagli studi più recenti sull'esposizione a composti policiclici aromatici, con e senza eteroatomi (PAC), du-

rante la costruzione di strade. Le conclusioni a cui gli autori sono giunti si possono così riassumere:

1) i bitumi contengono bassissime concentrazioni di PAC e non esiste evidenza di cancerogenicità sia per gli animali che per l'uomo.

Rari casi di tumore alla pelle sono stati osservati in animali da laboratorio dopo prolungate applicazioni di bitumi sciolti in solventi organici. L'attività cancerogena però non è stata attribuita agli idrocarburi aromatici policiclici (PAH), ma a PAC non ancora identificati come mutageni. Pertanto la determinazione dei PAC totali è preferibile a quella di singoli PAH come il benzo[a]pirene.

2) Studi, anche se limitati, sugli effetti da inalazioni di fumi bituminosi, escludono la probabilità di formazioni di cancro al fegato.

Gli idrocarburi trovati nell'aria inalata durante le pavimentazioni di strade vengono prodotti da varie fonti (es: gas di scarico) e derivano solo in parte dai bitumi.

3) La quantità di particolato inalato durante la posa in opera dell'asfalto caldo è sempre inferiore ai limiti in vigore; si consiglia tuttavia di ridurre il più possibile la temperatura dell'asfalto in quanto il fumo prodotto aumenta con la temperatura (fra 150 e 250 °C raddoppia ogni 11-12 °C di incremento di temperatura).

Il discorso sulla cancerogenicità è invece molto diverso per il catrame da carbone che contiene concentrazioni da 1000 a 10.000 volte più elevate di benzo[a]pirene e anche di altri PAC.

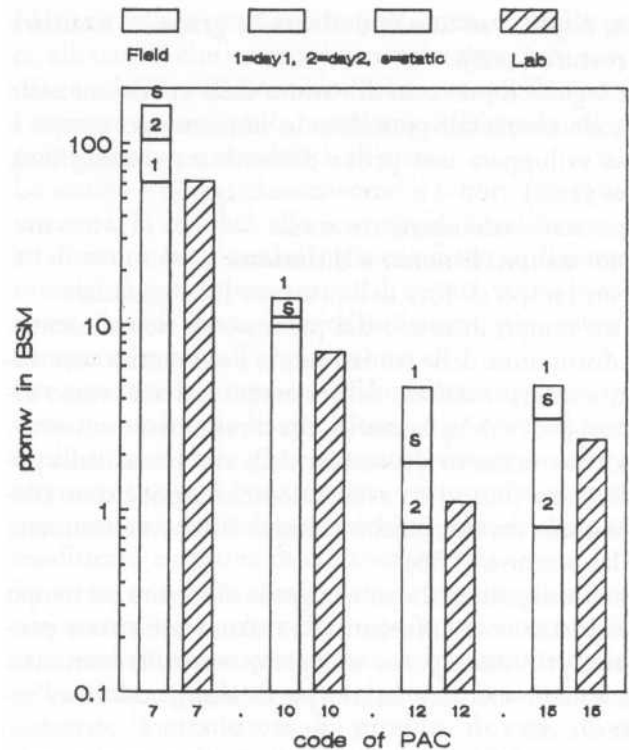
L'uso del catrame, fino a pochi anni fa impiegato per migliorare le proprietà di adesione degli asfalti, è oggi proibito in molti Paesi; tuttavia sembra che il contenuto di PAC in fumi generati durante il riciclaggio a caldo delle vecchie pavimentazioni possa raggiungere livelli pericolosi per l'uomo (2:11).

In Olanda il CROW, costituito da autorità civili, produttori ed utilizzatori di bitume e da istituti di ricerca, ha presentato delle linee guida su come riciclare pavimentazioni con catrame da carbone, fra cui l'obbligo di operare a freddo.

Data la difficoltà di determinare in modo soddisfacente la composizione dei fumi asfaltici in situazioni reali, soprattutto a causa di variabili incontrollabili come le condizioni atmosferiche, è stato elaborato un apparecchio in grado di generare fumi in condizioni controllate (2:09).

Le variabili considerate sono: temperatura di esercizio e tipo di bitume.

Per uno stesso bitume i fumi prodotti in laboratorio e quelli prelevati «in situ» contengono concentrazioni simili di PAC. Questa prova consente perciò di prevedere le condizioni di esposizione degli operatori in funzione delle proprietà del bitume e della temperatura di



Profili PAC da laboratori diversi.

posa in opera e di confrontare la composizione dei fumi generati da bitumi differenti.

Questo dato potrebbe essere utilizzato per stabilire delle correlazioni fra tipo di fumo e possibile potere cancerogeno.

Le emissioni prodotte in un impianto di miscelamento degli asfalti possono essere enormemente migliorate passando da un impianto a «tamburo» tradizionale ad uno a «tamburo in controflusso» in cui i gas di scarico non vengono a diretto contatto con il bitume (2:12). Con questo sistema si possono ridurre da 10 a 15 volte le emissioni di materiale organico.

I gas emessi da entrambi gli impianti non hanno mostrato alcuna attività mutagena.

Le proprietà intrinseche del bitume come la lunga durata, la insolubilità in acqua e la scarsa volatilità lo rendono particolarmente idoneo ad essere mescolato a prodotti di scarto industriale come plastica e catalizzatori esausti.

In alcuni casi le mescole possono essere utilizzate e in altri casi invece servono a rendere pressoché innoqui residui definiti tossici.

L'aggiunta di polietilene ad alta densità (HDPE), recuperato da contenitori di plastica di oli per motore, non cambia le proprietà di un bitume (2:03).

La quantità di HDPE è limitata dalla presenza del residuo di olio nelle bottiglie, che fa aumentare la penetrazione del bitume.

L'aggiunta contemporanea di SBS e HDPE mantiene le proprietà viscoelastiche del bitume e ne migliora il modulo di rigidità. La instabilità della miscela bitume polimero richiede però la miscelazione sul luogo d'utilizzo.

Miscele ottenute aggiungendo ad un bitume del catalizzatore esausto di un impianto di FCC, hanno mostrato ottima resistenza alla rottura e bassa suscettibilità all'acqua (2:07).

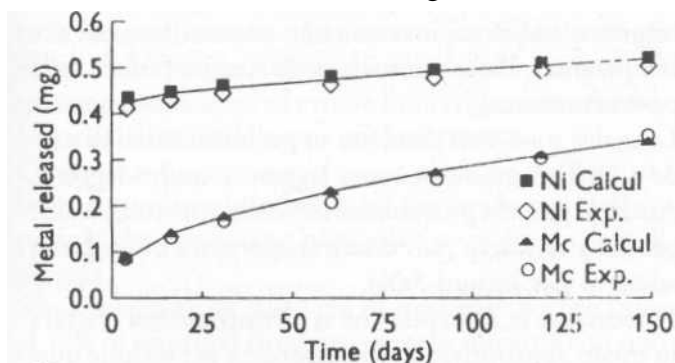
I risultati si possono considerare positivi anche da un punto di vista tossicologico.

Il rilascio di metalli tossici (vanadio, nichel, e antimonio) è infatti risultato molto piccolo.

Si può quindi concludere che l'aggiunta di catalizzatore FCC esausto ad un bitume, oltre a risolvere un problema molto serio per le raffinerie, consente di ottenere prodotti con caratteristiche anche migliori di quelli tradizionali.

Catalizzatori esausti, classificati come residui tossici, a causa della quantità di metalli pericolosi che rilasciano al contatto con acqua, devono per legge essere inglobati in cemento o bitumi prima di essere scaricati.

Misure di diffusione dei metalli fatte su catalizzatori esausti, inglobati e non in bitumi, hanno consentito di elaborare un modello matematico per calcolare il rilascio di nichel e molibdeno a lungo termine (2:04).



S 2
R2.04

R9
Campione rivestito con Ni e Mo.

Si è constatato che il coefficiente di diffusione del nichel diminuisce di 1 milione di volte quando il catalizzatore viene inglobato nel bitume.

I risultati ottenuti hanno portato alla costruzione di un impianto di stoccaggio del catalizzatore esausto nel bitume. Un problema simile si è presentato in Olanda con le scorie prodotte dalla lavorazione dello zinco e utilizzate come materiale per pavimentazione stradale.

Le scorie contengono metalli nocivi ed oggi il loro uso è proibito, ma le strade esistenti possono inquinare le falde acquifere.

È stato dimostrato che è possibile diminuire vistosamente il rilascio dei metalli spruzzando «schiuma bituminosa» sul manto stradale (2:10).

Questa tecnica, che può essere applicata senza scaldare, si è mostrata molto più efficace del cemento e di speciali agenti stabilizzanti.

Per verificare i risultati, acqua e percolato vengono regolarmente analizzati ogni sei mesi.

Una struttura multistrato, fra cui uno bituminoso, è stata scelta per coprire un deposito di scorie radioattive (2:06). Poiché questa struttura deve essere impermeabile e durare almeno 300 anni, la scelta è stata fatta in base ad accurati studi di permeabilità e di biodegradabilità.

Conclusioni

Nonostante la complessità dei materiali bituminosi è stato fatto un grande sforzo per applicare metodi scientifici allo studio di questi prodotti sia per caratterizzarli che per comprendere le loro proprietà reologiche in relazione al comportamento.

Il sistema più utilizzato per migliorare le prestazioni dei bitumi è quello della additivazione.

L'aggiunta di additivi sembra inevitabile quando si dispone solamente di bitumi di cattiva qualità e quando, nonostante la buona qualità del bitume, si richiedono prestazioni particolari in condizioni di utilizzo molto difficili. Nonostante gli sforzi compiuti, esistono ancora molte ambiguità riguardo alle correlazioni fra le caratteristiche dei bitumi modificati ed il loro comportamento dopo che sono stati miscelati all'inerte.

Le prove reologiche sembrano molto promettenti per predire il comportamento dei bitumi tal quali e modificati, ma i risultati ottenuti spesso non sono confrontabili in quanto dipendono dalla procedura e dal tipo di strumentazione usata. Probabilmente questo è dovuto all'influenza di fattori come la geometria del provino e la quantità di campione; solo raccogliendo tutti i risultati delle prove in un'unica banca dati si potrebbe forse arrivare ad una soluzione del problema.

Gli studi condotti nell'ultimo decennio sulla tossicità dei bitumi e dei loro fumi hanno evidenziato un rischio piuttosto basso sia per la salute dell'uomo che dell'ambiente. E invece emerso che i bitumi potrebbero rappresentare una interessante soluzione ad alcuni problemi ambientali come lo smaltimento di particolari rifiuti considerati tossici.

Bitumi e tecnologia

Introduzione

Lo sviluppo della tecnologia dei bitumi stradali interessa soprattutto il dimensionamento e la costruzione

delle pavimentazioni e la formulazione e le caratteristiche dei conglomerati bituminosi.

Prodotti innovativi come gli asfalti drenanti e gli «stone mastic», i rivestimenti a bassissimo spessore, hanno trovato, negli ultimi anni, ampio impiego in tutti i Paesi europei.

Anche le emulsioni bituminose, il cui uso può ridurre l'inquinamento atmosferico ed il consumo energetico, sono state oggetto di numerosi studi che hanno portato ad un notevole sviluppo tecnologico.

I progressi compiuti nella formulazione delle miscele bituminose e nei saggi usati per valutarne le prestazioni vengono considerati alla luce dei risultati del programma SHRP, appena conclusosi, e delle esigenze del CEN, il Comitato di normalizzazione europeo nel settore bitumi e conglomerati.

Fino ad oggi ogni Paese europeo ha sviluppato procedure proprie più o meno avanzate, ma probabilmente solo dopo che saggi e apparecchiature saranno stati uniformati si potrà migliorare la qualità dei risultati.

Bitumi modificati

L'aggiunta di additivi, come fibre o polimeri, ai bitumi per migliorarne le prestazioni è ormai diventata una prassi comune.

a) fibre

Le fibre come additivi per bitumi hanno conosciuto, negli ultimi 10 anni, un grande sviluppo in molti Paesi europei. Lana di roccia e vetro, amianto e cellulosa vengono utilizzate per i seguenti impieghi:

- strati sottili per rivestimenti destinati a ripristinare la rugosità superficiale (es. asfalti «split mastics» e «stone mastics»)
 - strati a basso spessore, a basso contenuto di vuoti ed elevata resistenza alla fatica
 - conglomerati drenanti ad alto contenuto di vuoti
- Samans e coll. (3:18) confrontano le caratteristiche (natura chimica, dimensioni, densità etc.) di alcune fibre e dimostrano che, quando si scelgono correttamente quantità e tipo di fibra, si ottiene un effetto migliorativo ed una elasticità a bassa temperatura in molti casi più soddisfacente di quella delle miscele bituminose additivate con polimeri.

Un interessante studio teorico elaborato dagli AA sulle correlazioni fra la morfologia di questi materiali e le loro prestazioni dimostra la validità dei risultati ottenuti.

L'aggiunta di fibre minerali riduce inoltre la tendenza

alla deformazione del conglomerato soggetto a traffico pesante (3:01) e la formazione di profonde fessurazioni sul manto stradale (3:02).

Nel primo caso le prestazioni migliori si ottengono con l'uso combinato di polimeri e fibre minerali, nel secondo è necessario incorporare nel bitume corte fibre sintetiche e d'acciaio: i problemi di corrosione si evitano inserendo l'acciaio negli strati profondi.

b) polimeri

L'SBS è certamente fra i polimeri più largamente usati per migliorare le proprietà dei bitumi ed in particolare la suscettibilità termica.

I bitumi modificati mostrano minore deformabilità ad alta temperatura e maggiore flessibilità e resistenza alla rottura a bassa temperatura (3:05,07).

Secondo Judycky (4:27) l'uso di bitumi modificati con elastomeri stirene-butadiene carbossilati produce, nella costruzione di tutti gli strati della pavimentazione, miglior resistenza alla deformazione e alla rottura, notevole aumento della resistenza alla fatica degli strati bituminosi e nessuna variazione nella capacità di sopportare i carichi.

Gli effetti sono comunque più evidenti, rispetto ai bitumi non additivati, in condizioni estreme (bassa ed alta temperatura, bassa portanza degli strati inferiori della pavimentazione).

Le analisi sono state condotte su pavimentazioni di strade a traffico molto pesante, leggero e molto leggero. Anche la gomma proveniente da vecchi copertoni o altri prodotti di scarto può essere trasformata in un buon additivo per bitumi (3:06).

Nonostante le difficoltà che si incontrano nel trattare in modo appropriato e nel disperdere nel bitume questo materiale residuale, che per la sua resistenza e durata costituisce un problema ambientale sempre crescente, il riutilizzo rappresenta un'allettante soluzione per il suo smaltimento.

Le modalità di confezionamento e di posa in opera modificano le proprietà dei bitumi additivati con polimeri (3:36).

I risultati mostrano che la maggior parte delle modificazioni strutturali avvengono nell'impianto di miscelazione dove, oltre all'ossidazione del bitume, si produce una parziale degradazione del polimero con variazione della distribuzione dei pesi molecolari.

Il bitume modificato mantiene comunque caratteristiche prestazionali nettamente diverse da quelle del bitume non additivato.

Rivestimenti bituminosi

La richiesta del mercato e lo sviluppo della tecnologia hanno portato alla formulazione di materiali bituminosi per pavimentazioni dalle caratteristiche e prestazioni sempre più avanzate.

Le maggiori innovazioni riguardano i conglomerati porosi e drenanti, i rivestimenti a bassissimo spessore e le emulsioni.

c) conglomerati porosi

I conglomerati porosi, che consentono una migliore tenuta di strada sul bagnato e assorbono il rumore, offrono maggiore sicurezza e conforto all'automobilista. L'interesse crescente per questo tipo di manto stradale ha fatto nascere nuovi bitumi modificati che consentono di ottenere rivestimenti più duraturi.

Brulé e coli. hanno studiato l'influenza delle proprietà del bitume (tal quale e modificato con polimeri) e dell'aggregato sulle caratteristiche meccaniche e sulla sensibilità all'acqua dei conglomerati porosi.

L'aggiunta di fibre minerali migliora le proprietà meccaniche, ma i risultati più interessanti si ottengono con miscele EVA-fibre minerali.

Insieme ai conglomerati porosi è nato anche il concetto di «strutture riserva» che consentono di prevenire gli effetti delle piogge torrenziali assorbendo l'acqua per un tempo sufficiente ad evitare lo straripamento dei collettori e rilasciandola poi più lentamente.

Queste strutture possono essere usate sia per aree urbane, soprattutto parcheggi, sia per strade con traffico pesante che presentano particolari problemi in caso di pioggia.

Sono costituite da 30-40 cm di materiale poroso (fino al 30% di porosità) ricoperto superficialmente con uno strato di bitume, generalmente modificato, mescolato con inerte poroso.

Il progetto di queste pavimentazioni è determinato dalla priorità che si intende dare alle molteplici funzioni che esse svolgono: drenaggio dell'acqua in caso di forti piogge, riduzione del rumore da traffico, antinquinamento quando trattengono particelle solide contenenti sostanze tossiche.

Goacolou (3:19) descrive inoltre un sistema per mantenere puliti i pori di questi strati.

La forma dell'aggregato influenza notevolmente la permeabilità dei manti porosi; inerti irregolari possono peggiorare alcune prestazioni di questo tipo di materiali, ma ne migliorano altre come la permeabilità (3:27). Approfondire le correlazioni fra la composizione delle miscele, le caratteristiche meccaniche del materiale e la

capacità drenante può essere un sistema poco costoso per ottimizzare le prestazioni.

d) rivestimenti a bassissimo spessore

I rivestimenti molto sottili sono stati applicati per la prima volta in Francia nel 1988 e da allora hanno costituito il rivestimento di milioni di m² di strade, con grande varietà di traffico e di clima (3:14,15,17).

I controlli eseguiti durante quattro anni hanno fornito risultati molto promettenti.

Questo rivestimento contribuisce alla manutenzione delle superfici a costi ragionevoli, e presenta ottime caratteristiche di aderenza e permeabilità.

I rivestimenti a bassissimo spessore sono costituiti da due strati: uno, di interfaccia, formato da un bitume ad elevato contenuto di polimero applicato sotto forma di emulsione e uno, superficiale, ultrasottile (10 - 20 mm) costituito da aggregato a granulometria molto discontinua rivestito di bitume additivato con polimeri. Si posano in opera con una macchina apposita che applica simultaneamente i due strati.

e) emulsioni

Problemi ambientali, di salute e di sicurezza contribuiranno probabilmente a sostituire parzialmente le miscele a caldo attualmente usate per la costruzione delle strade con l'uso del bitume a freddo sotto forma di emulsione (es. strade urbane).

Le emulsioni, oltre a non produrre inquinamento, diminuiscono i costi di costruzione e possono essere usate in regioni lontane dagli impianti di produzione di miscele a caldo.

Esse rappresentano pertanto un interessante settore di studio che dovrebbe trovare sviluppo nei prossimi anni, dopo un periodo di abbandono.

Secondo Marchal e coli. (3:09) per ottenere buone prestazioni da emulsioni a freddo è necessario tener conto di molte caratteristiche come: velocità di rottura in presenza di aggregato, adesività, stabilità allo stoccaggio e viscosità.

Anche la natura, la concentrazione e la distribuzione granulometrica dell'emulsionante giocano un ruolo importantissimo sulla qualità dell'emulsione.

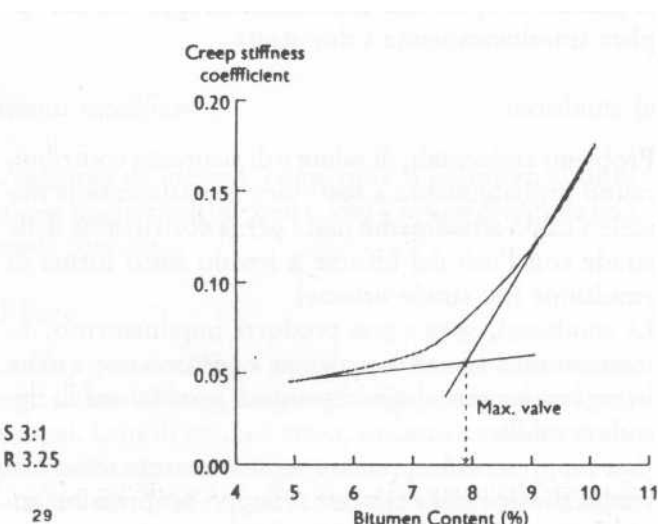
Rivestire in modo uniforme particelle sia grosse che piccole di un certo aggregato risulta sempre difficile ed inoltre il materiale ricoperto può essere stoccato solamente quando il legante contiene una quantità di flussante sufficiente a conferirgli malleabilità. Questi problemi possono però essere superati formulando in modo corretto l'emulsione, vale a dire scegliendo opportunamente le dimensioni delle particelle ed il tipo di emulsionante.

Serfass e coli. (3:16) propongono un doppio processo di miscelamento per risolvere le difficoltà derivanti dalla distribuzione non omogenea del legante che tende a rivestire gli inerti più piccoli.

Questi, miscelati a freddo o a caldo con il bitume, vengono aggiunti agli inerti più grossi precedentemente rivestiti con il legante.

Si ottengono così emulsioni più uniformi che possono essere usate subito oppure stoccate e che, secondo prove fatte nel corso di 4 anni, forniscono, sul campo, prestazioni nettamente superiori a quelle ottenute con il processo tradizionale.

Poiché oggi non esiste una normativa universale per la composizione delle emulsioni fredde dense, Nikolaides e coll. (3:25) propongono una metodologia che utilizza l'apparecchiatura Marshall e consente di formulare questo tipo di emulsioni in modo da ottenere ottime prestazioni.



Formulazione di miscele per uso stradale

Da uno studio condotto su campioni prelevati da 8 autostrade svizzere aperte al traffico nel periodo 1966-1975 (3:37), si può comprendere quanto la formulazione delle miscele e la costruzione della pavimentazione determini la qualità e la durata della strada.

Le prove standard attualmente a disposizione non sono in grado di predire in modo soddisfacente il comportamento di miscele bituminose durante l'utilizzo. Questo ha favorito lo sviluppo di nuove procedure e prove di laboratorio che rispondono meglio all'impellente necessità di correlazione fra risultati analitici e prestazioni in loco. Solo con tale premessa è infatti possibile scegliere la formulazione che meglio soddisfa le necessità specifiche.

f) procedure analitiche e saggi di laboratorio

Franken e Vanelstraete (3:03) presentano una procedura analitica ed un programma di calcolo che consentono di prevedere i vuoti negli aggregati minerali e quindi di scegliere la miglior combinazione rispetto alla durata e alla stabilità.

In Francia sono stati messi a punto due metodi che, combinati, permettono di ottimizzare la formulazione delle miscele in termini di «compattezza» e di resistenza alla deformazione, due proprietà in antitesi tra loro (3:11).

Le caratteristiche meccaniche delle miscele sono da correlarsi con quelle strutturali della pavimentazione ed in particolare al tipo ed allo spessore degli strati. Questo concetto viene esemplificato nella memoria di Lesage (3:10) che considera una pavimentazione stradale costituita da un «corpo» (strato di collegamento) e da una «pelle» (strato superficiale).

Se si riesce a rinforzare il corpo rendendolo «muscoloso» e flessibile, si può assottigliare la pelle.

Ciò è possibile con particolari bitumi molto duri (pen. 25 a 25 °C) aventi caratteristiche simili a quelle dei bitumi modificati e comportamento termico a bassa temperatura confrontabile con quello di materiali a pen. 60/70.

Le miscele bituminose ricche in aggregato grosso e a granulometria discontinua (Splitmastic Asphalts) resistono meglio alla deformazione (3:23).

La durata di questi prodotti migliora se si crea un mastice (bitume e aggregato) che costituisce un film di legante che rallenta l'ossidazione e facilita il costipamento durante la posa in opera.

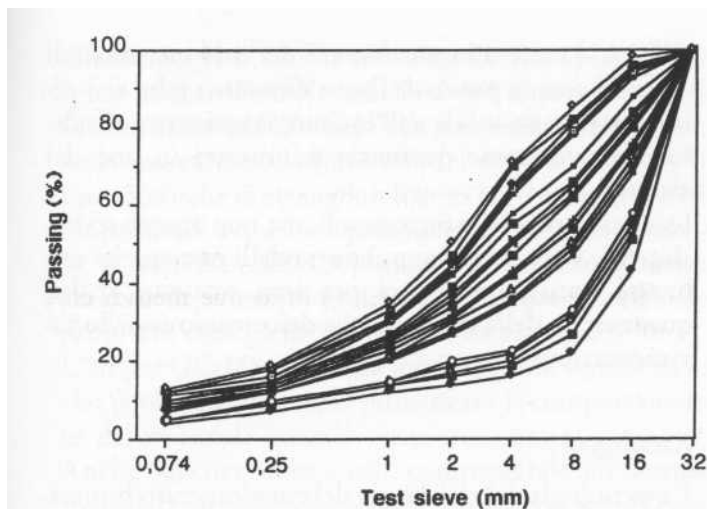
Per migliorare le proprietà reologiche del mastice vengono utilizzati numerosi materiali fra cui cellulosa, fibre minerali, terra di diatomee e polimeri sintetici.

I risultati mostrano che le prestazioni migliori si ottengono con mastici additivati con polimeri.

Tarbjrn (4:33) illustra un nuovo metodo per verificare la resistenza all'usura delle pavimentazioni prendendo in considerazione qualità e massima dimensione dell'aggregato minerale, tipo di pavimentazione e di bitume, velocità dei veicoli.

Provini di conglomerato, preparati in laboratorio in condizioni realistiche e controllate, sono stati collocati sia su un manto stradale esistente che in un simulatore di traffico ed esaminati durante un periodo di 4 anni. I risultati ottenuti sono perfettamente correlabili.

La tendenza alla segregazione delle miscele e le loro proprietà meccaniche più importanti possono essere misurate mediante semplici attrezzature utilizzando sia campioni preparati in laboratorio che «carote» prelevate dalle strade (4:32,36). Proprietà e durata delle pa-



Segregazione in laboratorio (VTI); base stradale svedese.

vimentazioni sono valutate da Eriksen e coli. mediante metodi microscopici (4:04).

Azevedo e coli. (4:2B) suggeriscono una nuova metodologia per determinare rapidamente le proprietà di resistenza alla fatica di miscele bituminose.

Schweg e coli. (4:35) riferiscono sul comportamento di miscele bituminose, dopo 4 anni di servizio, per quanto riguarda le caratteristiche geometriche, le condizioni delle superfici, le deformazioni e lo stato di degradazione del manto stradale.

I risultati ottenuti da misure fatte «in loco» e da prove di laboratorio, eseguite su campioni prelevati dalle pavimentazioni, mostrano che non esistono differenze evidenti di comportamento fra bitumi classici e additivati con polimeri.

Tuttavia l'uso di questi ultimi sembra indispensabile per migliorare il rischio di fessurazioni. Fra le tecniche proposte per rallentare la propagazione delle fessurazioni che compaiono sulle carreggiate a causa dei fenomeni di dilatazione, la più efficace sembra essere quella che associa un sottile strato superficiale di materiale bituminoso ad uno intermedio, posato direttamente sulla pavimentazione fessurata costituito da sabbia e legante (4:09).

Questo «complesso», molto efficiente nei riguardi della fessurazione, può però generare problemi di stabilità, soprattutto sotto il traffico pesante: è quindi molto importante trovare delle condizioni che riescono a conciliare le due proprietà.

Meunier (4:13) e Goacolou (4:16) utilizzano come sistema per ridurre le fessurazioni membrane molto deformabili anche a bassa temperatura, protette da uno strato bituminoso steso a freddo. Presso l'Istituto per la Ricerca e Costruzione di Ottawa (4:03) è stato elaborato un apparecchio che consente di valutare i risul-

tati delle tecniche di riparazione come la chiusura delle fessurazioni.

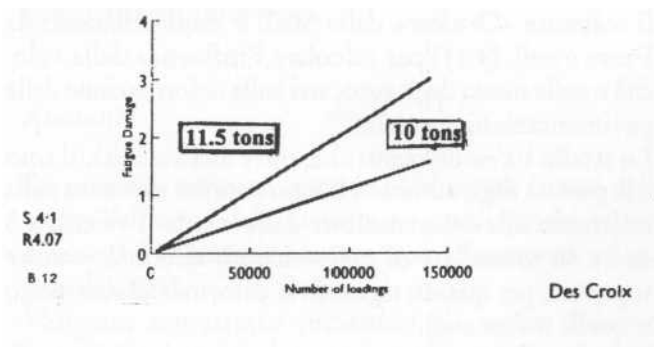
Anche se i metodi di laboratorio non possono sostituire le prove fatte «in loco», in questo caso si ottengono risposte attendibili sul comportamento di sistemi e materiali utilizzati per il ripristino delle pavimentazioni.

g) modelli matematici

Sono stati presentati molti metodi di calcolo per simulare sovrastrutture stradali, confrontarle e determinare le loro capacità portanti (4:16,30,32).

In alcuni sistemi è anche possibile paragonare i costi e, inserendo alcuni parametri specifici, considerare situazioni particolari come la protezione contro il gelo (4:06).

Un programma di calcolo consente di prevedere la durata della pavimentazione in funzione dei vari parametri che vengono inseriti in 4 diversi «database»: struttura, materiali, temperatura e traffico (4:07).



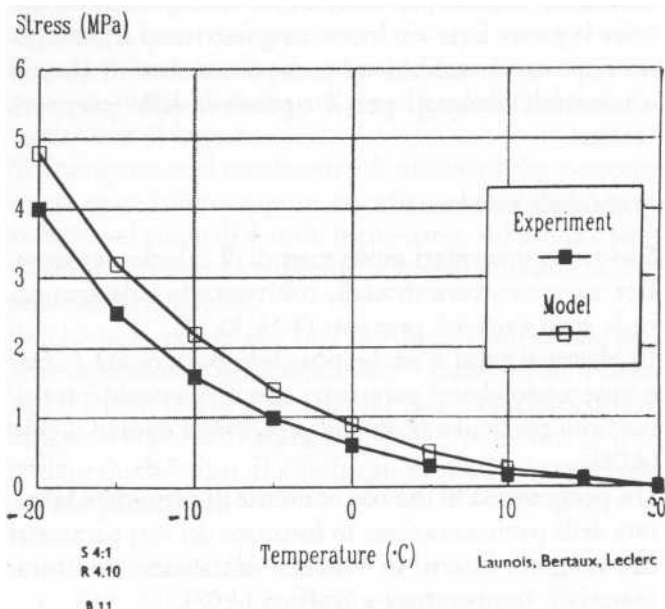
Influenza del numero dei carichi e del carico sull'asse sul danno da fatica.

La memoria presenta due esempi: uno riguarda gli effetti della temperatura sulla tendenza alla deformazione della pavimentazione ed i benefici che si ottengono con bitumi modificati, l'altro dimostra che, aumentando il carico massimo per asse da 10 a 11.5 tonnellate, la durata della pavimentazione si dimezza.

Launois e coli. (4:10) presentano un modello computerizzato per calcolare lo stress termico indotto dai cicli di temperatura notte-giorno sulle pavimentazioni. Il modello consente di paragonare diversi bitumi in condizioni climatiche differenti.

Lo stress termico a cui è sottoposta una miscela bituminosa, durante un ciclo di temperatura è stato calcolato con questo programma e misurato sperimentalmente. Anche se i risultati sono soddisfacenti, ancora mol-

to resta da fare per predire la durata di una pavimentazione rispetto allo stress termico.

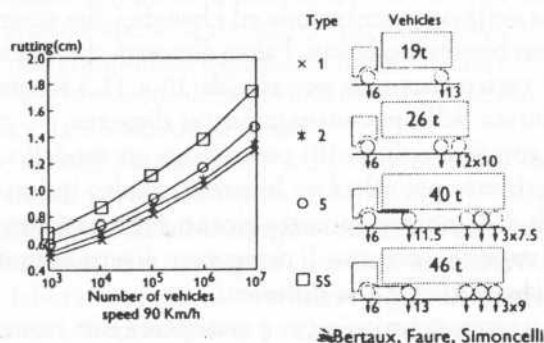


Stress indotto dalla temperatura.

Il software «Orniere» della Shell è stato utilizzato da Faure e coli. (4:11) per calcolare l'influenza della velocità e della massa degli autocarri sulla deformazione delle pavimentazioni stradali.

Lo studio ha evidenziato che, oltre alla velocità, il tipo e la portata degli autocarri hanno enorme rilevanza sulla resistenza alla deformazione delle strade (i veicoli a 5 assi e 40 tonnellate di carico hanno effetti di 4 volte superiori, per quanto riguarda la deformazione, rispetto a quelli a due assi).

Il rischio di deformazione può essere notevolmente diminuito utilizzando bitumi ad alto indice di penetrazione (+0,5). Nugteren e coll. (4:24) hanno applicato due modelli denominati Shell e BRRC per prevedere la deformabilità di 5 miscele bituminose olandesi, ricavando però risultati differenti.



Influenza sulle deformazioni calcolata col Software ORNIERE Shell.

Gli AA. hanno allora utilizzato dei dati sperimentali ottenuti con la prova di flusso dinamico (che si è dimostrata molto valida nell'indicare la resistenza alla deformazione) come parametri da inserire in uno dei modelli.

I risultati sono stati ragionevoli, ma non ancora soddisfacenti, a dimostrazione che i modelli matematici utilizzati non sono idonei per una accurata analisi quantitativa della tendenza alla deformazione delle pavimentazioni.

Riciclaggio

La tecnologia del riciclaggio del conglomerato bituminoso è in grande sviluppo in quanto presenta indubbi vantaggi economici ed ecologici.

Le tecniche di riciclaggio si dividono in due categorie: a caldo e a freddo.

h) a freddo

Il riciclaggio a freddo è basato sulla miscelazione del materiale recuperato e macinato con una speciale emulsione di bitume modificato, che restituisce flessibilità e proprietà meccaniche al bitume preesistente e consente di realizzare un prodotto finale riciclato avente le stesse proprietà meccaniche di un conglomerato nuovo.

La miscelazione del materiale può essere fatta «in loco» con una serie di macchine che compiono l'intera operazione di riciclo senza interruzione e restituiscono la strada pronta per l'uso (4:20).

In questo caso la miscelazione fornisce materiali della stessa qualità di quelli prodotti a caldo, ma con il vantaggio di minori emissioni.

Il riciclo a freddo è stato ampiamente applicato, con diverse tecnologie, negli USA, in Francia e in Svezia, con lo scopo di ripristinare superfici stradali di vario tipo.

I risultati ottenuti sono molto soddisfacenti e spesso questa tecnica si è dimostrata più conveniente di altre. Prima di ogni operazione è però necessario analizzare il bitume presente nello strato da riciclare, gli aggregati e, con opportuni saggi, determinare le caratteristiche dell'emulsione bituminosa e dei nuovi aggregati, per ottimizzare la formulazione delle miscele secondo le esigenze specifiche.

i) a caldo

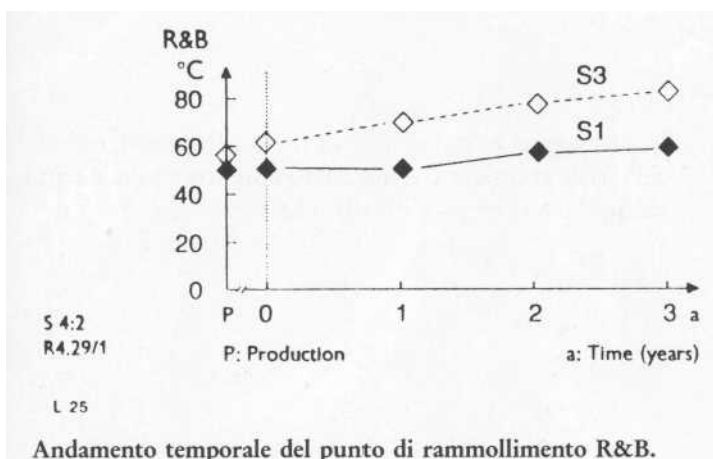
Nel riciclaggio a caldo il materiale rimosso dalla pavimentazione viene mescolato a caldo con nuovo aggregato e nuovo bitume in impianti fissi di conglomerazione.

Gli svantaggi di questa tecnologia sono: spese di trasporto, controllo delle emissioni dell'impianto e quantità del materiale di riciclo che può essere incorporato nella nuova miscela (non più del 40-50%).

I prodotti che si ottengono hanno però caratteristiche molto simili a quelle di conglomerati bituminosi nuovi. Woodside e coll. (4:38) hanno studiato i cambiamenti prodotti dopo anni di servizio sulla composizione e sulle proprietà reologiche del bitume da riciclare.

L'analisi GC-MS evidenzia modificazioni significative che però non sembrano influenzare il comportamento del materiale quando viene riutilizzato.

Anche Sanchez Caba e coll. confrontando un bitume standard con materiali riciclati trattati con agenti rigeneranti concludono che il comportamento, dopo 3 anni di servizio, è molto simile (4:29).



Andamento temporale del punto di rammollimento R&B.

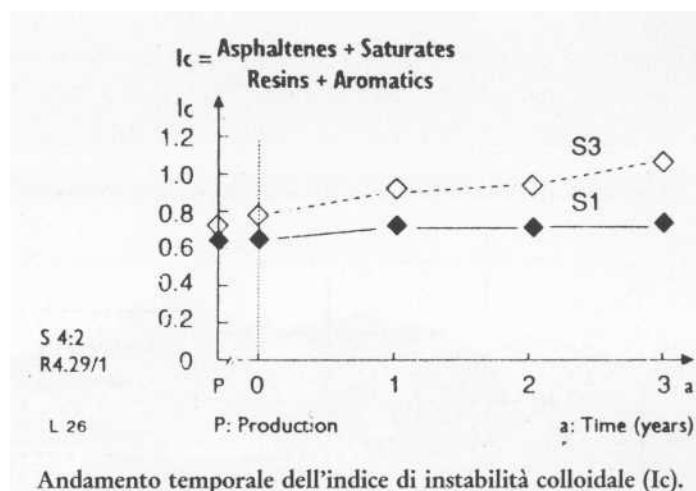
L'obiettivo principale di costruttori e utilizzatori è quello di disporre di pavimentazioni stradali sicure, silenziose e durature, anche in condizioni di traffico molto intenso.

Per ottenere questi risultati è indispensabile ottimizzare oltre alle scelte dei materiali, la qualità della costruzione.

Risulta quindi molto importante disporre di saggi di laboratorio in grado di simulare il comportamento in loco di bitumi e miscele e di programmi di calcolo affidabili che possano individuare la miglior soluzione. I saggi attualmente disponibili hanno raggiunto vari gradi di sofisticazione: il progetto SHRP ha indicato come «standard d'oro» il livello massimo, ma esistono anche «standard di bronzo» che richiedono procedure più semplici ed attrezzature meno costosi.

E quindi possibile passare da una condizione di «bassa tecnologia», come quella attuale, ad una più evoluta che consenta di affrontare in modo appropriato e con maggiori possibilità di successo situazioni diverse.

La manutenzione ordinaria e straordinaria e il raffor-



Andamento temporale dell'indice di instabilità colloidale (Ic).

zamento delle strade esistenti, fattori non meno importanti della costruzione, richiedono oltre ad una tecnologia avanzata, un'adeguata programmazione di interventi.

Anche se sono stati elaborati numerosi sistemi di «management» delle strade, spesso utilizzati in modo routinario, rimane ancora molto da fare per migliorare i modelli e i criteri che determinano l'adeguatezza e la priorità degli interventi.

Riassunto

La presente rassegna intende offrire una sintesi dello «stato dell'arte» della scienza e tecnologia dei bitumi emerso dal 5° Eurobitume tenutosi a Stoccolma nel giugno del 1993.

Vengono soprattutto presentati gli aspetti chimico-scientifici relativi ai bitumi tal quali e modificati e quelli tecnologici inerenti le applicazioni stradali dei conglomerati asfaltici.

Abstract

5th Eurobitume Congress, held in Stockholm in June 1993, presented a up to-date treatment of asphalt chemistry and behaviour.

The main goal of this review is to offer a synthetic overview of the new trends emerged in this congress concerning the chemistry and technology of paving asphalt mixes.