

SITEBSi srl
**Rassegna
del bitume**

RIVISTA DEL SITEB-ASSOCIAZIONE ITALIANA BITUME ASFALTO STRADE

ESTRATTO DAL N° **22/94**

Temperatura ottimale per la preparazione dei conglomerati bituminosi

Mariano Cupo Pagano

Università di Roma "La Sapienza", Dipartimento di Idraulica Trasporti e Strade

Antonio D'Andrea

Università di Roma "La Sapienza", Dipartimento di Idraulica Trasporti e Strade

Andrea Ranchino

Università di Roma "La Sapienza", Dipartimento di Idraulica Trasporti e Strade

Temperatura ottimale per la preparazione dei conglomerati bituminosi

MARIANO CUPO PAGANO, ANTONIO D'ANDREA, ANDREA RANCHINO

Dipartimento di Idraulica, trasporti e strade, Università «La Sapienza», Roma

Introduzione

Una delle più importanti proprietà tecnologiche dei bitumi, particolarmente utile per le applicazioni in campo stradale, è la termoplasticità, ossia la variazione dello stato di consistenza in funzione della temperatura.

Durante l'impasto con gli aggregati e la stesa del conglomerato finito, infatti, il legante deve avere una viscosità piuttosto bassa (circa 200 cSt), tale da permettere il perfetto ricoprimento di ogni elemento dell'aggregato e tale da manifestare un effetto lubrificante durante l'azione di costipamento. La riduzione di viscosità si ottiene elevando la temperatura a circa 150 °C per i bitumi tradizionali ed a circa 180 °C per i bitumi modificati («additivati» con polimeri).

La permanenza alle alte temperature induce però la rapida evaporazione delle frazioni leggere, come le componenti flussanti o quelle più bassobollenti, nonché l'ossidazione delle frazioni aromatiche. Questo secondo fenomeno, dovuto sia a reazioni di deidrogenazione, sia a reazioni di combinazione chimica dell'ossigeno dell'aria con i componenti del bitume, provoca l'agglomerazione di una parte delle molecole idrocarburiche in molecole più complesse, ad elevato peso molecolare (asfalteni e molecole a maggiore grado di aromaticità).

Poiché il bitume è costituito da componenti diversi tra loro (asfalteni, resine, oli e idrocarburi aromatici), che possono rimanere in equilibrio colloidale solo se sono rispettati determinati rapporti di quantità, l'esposizione alle alte temperature favorisce una modifica di tale equilibrio, generando una variazione delle caratteristiche fisico-meccaniche; ne conseguono l'indurimento e l'irrigidimento del legante, tanto più pronunciati quanto maggiore è la sensibilità del bitume, più alta la temperatura e più prolungata l'esposizione.

Recenti studi sulla cinetica dell'ossidazione dei composti aromatici e sulla tendenza all'evaporazione delle sostanze volatili mostrano che una riduzione della temperatura di impasto del conglomerato avrebbe effetti posi-

tivi sulla conservazione delle caratteristiche qualitative del bitume.

Tale riduzione di temperatura non è però proponibile per tutti i bitumi tradizionali (non modificati), perché questi comprendono sia i bitumi classici da distillazione, cosiddetti straight-run (SR), per i quali la viscosità ottimale (circa 200 cSt) si raggiunge soltanto alla temperatura di circa 150 °C; sia quelli originati da procedimenti di raffinazione di varia natura, quali i bitumi derivati da visbreaking (VS), di cui è ricco il mercato italiano e per i quali la viscosità ottimale per l'impasto si raggiunge ad una temperatura sensibilmente inferiore.

Fino ad oggi, nella scelta dei bitumi stradali si è sempre fatto riferimento esclusivamente ai valori della penetrazione a 25 °C omettendo di controllare gli effettivi valori della viscosità.

Attualmente, in relazione ai differenti processi di trattamento del greggio, e ad eventuali operazioni di correzione mediante flussaggio, o di aggiunta di piccole dosi di polimeri, si può verificare che bitumi commerciali caratterizzati dallo stesso valore di penetrazione a 25 °C, possono manifestare viscosità anche molto differenti già alla temperatura ambiente, con esaltazione della diversità alle alte temperature.

Qualora si limitasse la temperatura di impasto ai valori minimi richiesti per la lavorabilità della miscela, si otterrebbe, grazie alla minore evaporazione e ossidazione, un sensibile contenimento dei fenomeni chimico-fisici che producono l'invecchiamento del bitume. Si garantirebbe così una migliore funzionalità ed una più lunga vita utile delle sovrastrutture stradali. Nel contempo si conseguirebbe un'economia sui costi di impianto, a seguito della minore richiesta di energia per il riscaldamento degli aggregati e per lo stoccaggio a caldo del legante, nonché una drastica diminuzione delle emissioni tossiche durante l'impasto e la stesa, tenuto conto che una riduzione di solo 10 °C abbatte a circa la metà l'emissione di idrocarburi policiclici dal conglomerato.

Tab. 1 - Caratteristiche dei bitumi esaminati.

Caratteristiche	SR84	VB70	VB101	VB148	SR169	BP67	BP34	BP36
Penetrazione 25°C (dmm)	84	70	101	148	169	67	34	36
Penetrazione 10°C (dmm)	32	23	30	27	47	16	15	8
Penetrazione 35°C (dmm)	227	242	317	—	—	155	71	72
Penetrazione 40°C (dmm)	404	370	473	—	—	242	105	126
Punto di rammollimento Tpa(°C)	44	46	43	44	37	56	66	62
Suscettibilità termica h	0.0515	0.0504	0.0494	0.0385	0.0563	0.0347	0.0334	0.0364
Indice di penetrazione IP	-1.55	-1.43	-1.35	0.24	-2.1	0.93	1.19	0.62
Modulo di rigidità S (N/m ²)	7.10 ⁶	7.10 ⁶	3.10 ⁶	1.10 ⁶	8.10 ⁵	6.10 ⁶	1,5.10 ⁷	8.10 ⁶
Duttilità 25°C (cm)	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100
Duttilità 15°C (cm)	>100	32.5	77	>100	>100	—	—	—
Viscosità dinamica 60°C (Pa·s)	206	103	92.6	57	88.6	—	—	—
Viscosità dinamica 80°C (Pa·s)	31.4	12.5	10.6	5.6	6.3	—	—	—
Viscosità cinematica 110°C (cSt)	1685	873	713	361	869	—	—	—
Viscosità cinematica 150°C (cSt)	193	99	92	67	119	754	676	683
Viscosità cinematica 180°C (cSt)	—	—	—	—	—	267	228	203
Viscosità cinematica 135°C (cSt)	447	206	174	109	223	1724	1728	1497

La ricerca

Allo scopo di valutare l'entità del beneficio derivante da una opportuna scelta delle temperature da adottare negli impianti di conglomerazione, si è indagato sugli effetti prodotti dal «Rolling Thin Film Oven Test» (RTFOT ASTM 10 2872) su campioni di bitumi diversi, sottoponendoli a prova anche a temperature inferiori a quella standard di 163 °C.

La prova, ideata per simulare in laboratorio le conseguenze provocate dalle operazioni di impasto e stesa, e una delle più accreditate ed usate in campo internazionale ed è normalizzata anche dal CNR (B.U. 54/77: perdita per riscaldamento - volatilità - in strato sottile).

Sono stati messi a confronto in totale otto leganti bituminosi, rappresentativi delle proprietà di tre famiglie di prodotti: due campioni di bitume da distillazione, tre campioni di bitume da visbreaking e tre campioni di bitumi modificati industriali di commercializzazione europea, così come forniti dalle varie raffinerie.

I bitumi da distillazione (SR), selezionati tra quelli di migliore qualità, possono essere considerati come termine di paragone, in quanto riflettono i comportamenti tradizionalmente osservati in molti anni di studio e di applicazione; tutte le specifiche di norma sono, in effetti, scaturite facendo riferimento alle conoscenze acquisite su bitumi di questa famiglia.

I bitumi da visbreaking (VB), la cui produzione è molto aumentata in questi ultimi anni, non sono oggetto di una specifica normativa e vengono considerati, dagli utilizzatori, alla stessa stregua dei bitumi da distillazione, rispetto ai quali presentano però diversità

sostanziali sotto molteplici punti di vista.

I bitumi modificati (BP) sono il risultato della più recente tecnologia, che ha consentito l'ottenimento di leganti di elevate caratteristiche reologiche, in grado di assicurare la stabilità anche ai tappeti drenanti.

Per la caratterizzazione dei campioni sono state effettuate alcune prove previste dalle norme CNR-UNI e ASTM:

- Penetrazione a 25 °C (CNR n. 24/71);
- Punto di rammollimento (palla-anello, CNR n. 25/78);
- Duttilità a 25 °C (CNR n. 44/74) e a 15 °C;
- Viscosità cinematica a 135 °C (ASTM D 2170);
- Viscosità dinamica (ASTM D 3205).

Sono stati inoltre calcolati il modulo di rigidità mediante l'abaco di Van der Poel e l'indice di invecchiamento (rapporto tra le viscosità cinematiche a 135 °C misurate dopo e prima dell'invecchiamento).

Le differenze tra i bitumi commerciali esaminati

In Tab. 1 sono stati raccolti i risultati sperimentali relativi ai parametri sopra descritti.

Eseguendo le prove di penetrazione e di viscosità anche a temperature diverse da quelle standard, sono stati ricavati il grafico «penetrazione-temperatura» di fig. 1 e quello «viscosità cinematica-temperatura» di fig. 2. Mentre nel primo non si osserva una sostanziale differenza di comportamento tra le varie famiglie di legante, ottenendosi (per bitumi della stessa classe di «penetrazione») un valore di suscettibilità termica non troppo differente (come risulta anche dai valori dell'in-

dice di penetrazione), il secondo grafico mostra chiaramente le diverse caratteristiche di fluidità alle alte temperature, tipiche di ogni famiglia. Si distinguono infatti tre campi di viscosità relativi ai tre tipi di bitumi studiati: caratterizzato dai più elevati valori della viscosità, si osserva il campo nettamente distinto dei bitumi modificati; in posizione centrale, quello dei bitumi da distillazione e, più in basso, quello dei bitumi da visbreaking.

La viscosità cinematica risente, quindi, molto nettamente della maggiore o minore omogeneità e stabilità colloidale del bitume. Per i bitumi modificati ad alto tenore di «additivo», nei quali la struttura del legante è costituita da una fase continua polimerica con isole disperse di bitume, si registrano alti valori della viscosità anche in corrispondenza di elevate temperature, fatto che comporta la necessità, per l'impasto e la stesa, del riscaldamento a circa 180 °C.

I due bitumi da distillazione, rispettivamente 84 dmm e 169 dmm di penetrazione, che possono essere considerati come termine di paragone, si situano nella zona centrale del diagramma.

I bitumi da visbreaking, caratterizzati da una fase colloidale piuttosto disomogenea, si situano molto più in basso nel diagramma; già il campione più duro (pen. 25 °C = 70 dmm) manifesta viscosità più basse del bitume da distillazione meno duro (pen. 25 °C = 169 dmm). Questo fatto è indice di una «fluidità» molto maggiore, che i bitumi da visbreaking posseggono in conseguenza proprio del particolare procedimento produttivo che li ha generati.

Appaiono molto interessanti anche i risultati dello studio della duttilità a diverse temperature. In Tab. 1 si osserva chiaramente una drastica riduzione della duttilità per i campioni VB70 e VB101, (che si portano da valori superiori ai 100 cm a valori rispettivamente di 32,5 e 77 cm), quando la temperatura di prova venga abbassata da 25 °C (come suggerito dalla norma CNR) a 15 °C.

Questi risultati confermano quanto era già stato messo in evidenza da alcuni studi riportati in letteratura: il valore della duttilità a bassa temperatura può essere messo in relazione con le caratteristiche colloidali del bitume; in particolare, bassi valori di duttilità indicano un equilibrio colloidale critico (o che evolve comunque verso situazioni caratterizzate da minore stabilità e minore peptizzazione).

La suscettibilità all'indurimento dopo RTFOT

Alla caratterizzazione dei bitumi si è fatta seguire l'applicazione sistematica della procedura di invecchiamento

simulato RTFOT, che è stata condotta a 163 °C, per 85 minuti, secondo la normativa; in aggiunta a questa prova, si è condotto un RTFOT prolungato a 150 minuti, allo scopo di ottenere gli andamenti tendenziali delle varie caratteristiche, all'aumentare del tempo di esposizione alla temperatura elevata.

Lo studio delle caratteristiche fisico-meccaniche elencate precedentemente, in corrispondenza dei due stati di invecchiamento, e il confronto di questi valori con quelli dei campioni non invecchiati sono riassunti nelle figg. 3, 4, 5, 6, 7 e 8, nelle quali si osserva rispettivamente l'evoluzione, a 25 °C, del punto di rammollimento, della viscosità cinematica a 135 °C, della viscosità dinamica a 80 °C, del modulo di rigidità ed infine dell'indice di invecchiamento.

In questi grafici, l'esistenza di una forte suscettibilità alle operazioni di impasto e stesa è denunciata da forti variazioni nei valori dei vari parametri con il progredire della durata della prova, e quindi da elevate pendenze delle rette di regressione.

Dall'osservazione di tutti i grafici è possibile dedurre che i leganti che sembrano subire in maniera più pronunciata l'indurimento dovuto al RTFOT sono i bitumi da visbreaking, in quanto per ogni parametro mostrano una più evidente variazione rispetto alle altre famiglie.

I bitumi modificati sembrano essere meno suscettibili all'invecchiamento, rispetto ai bitumi da visbreaking. Il fatto può essere però analizzato criticamente e messo in relazione con il meccanismo con il quale la procedura RTFOT, così come è stata concepita, provoca l'evaporazione delle componenti volatili e l'ossidazione degli idrocarburi aromatici. Parametro fondamentale ai fini del risultato è la fluidità che il bitume assume alla temperatura di prova. Essa infatti permette il rinnovo del film di bitume esposto all'aria durante la rivoluzione della bottiglia in ogni suo giro. È ragionevole attribuire almeno una parte della minore sensibilità riscontrata a seguito del RTFOT per i bitumi modificati al fatto che essi sono, a 163 °C, molto più viscosi degli altri tipi di bitume. E comunque senz'altro positiva l'influenza che la presenza dei polimeri ha sull'ossidabilità e, quindi, sulla suscettibilità all'invecchiamento dei bitumi modificati.

Proposta di un metodo di miscelazione a basso impatto

I risultati ottenuti mostrano che i bitumi da visbreaking sono, ad un tempo, meno viscosi ad alta temperatura e più sensibili all'invecchiamento, probabilmente in relazione ad una minore omogeneità e stabilità col-

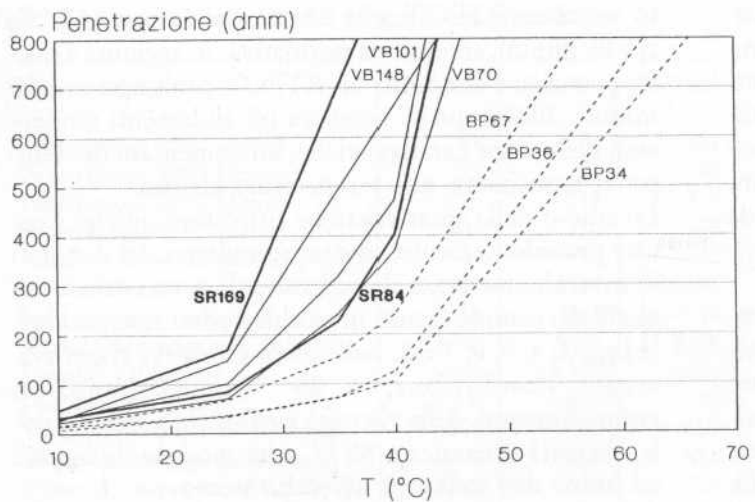


Fig. 1 - Andamento della penetrazione in funzione della temperatura.

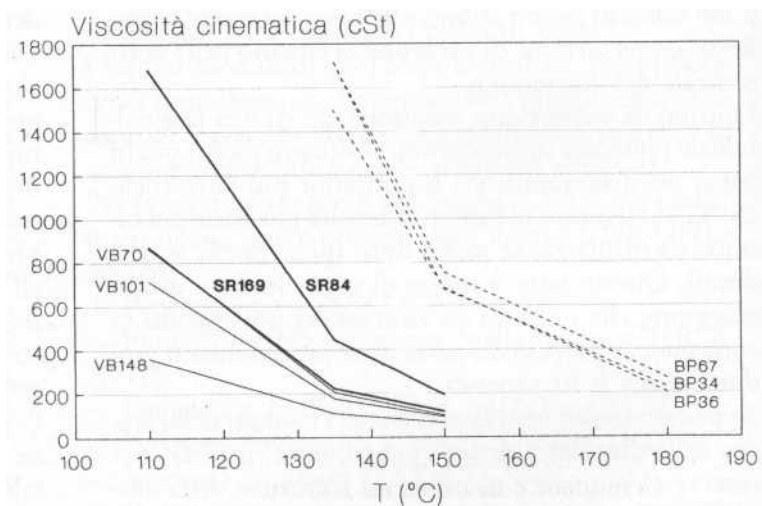


Fig. 2 - Andamento della viscosità cinematica in funzione della temperatura.

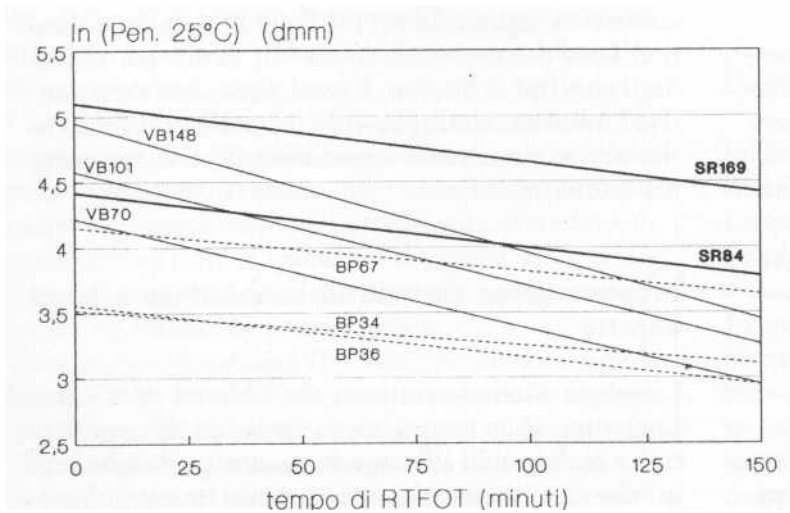


Fig. 3 - Variazione della penetrazione a 25 °C in funzione della durata del RTFOT.

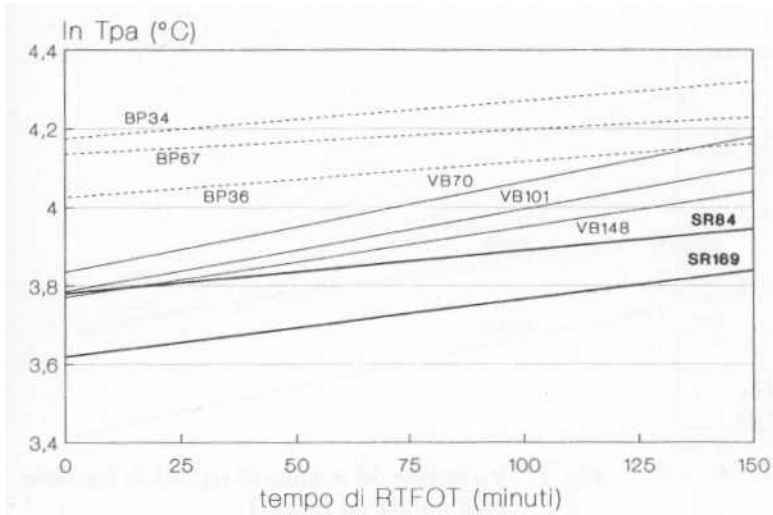


Fig. 4 - Variazione del punto di rammollimento in funzione della durata del RTFOT.

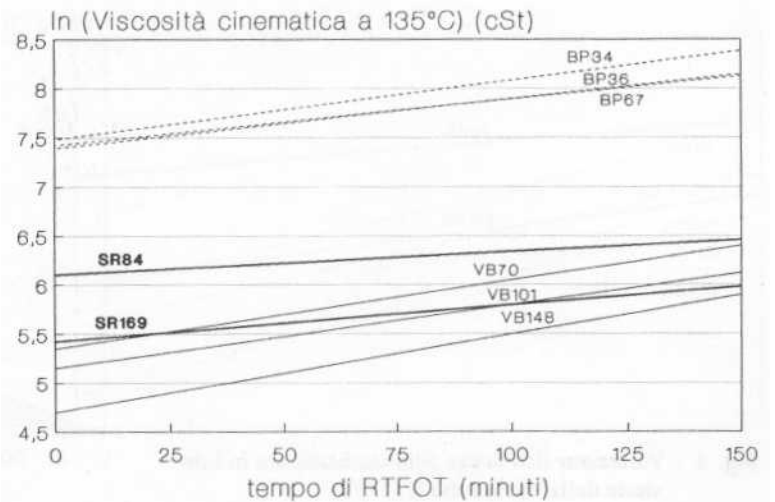


Fig. 5 - Variazione della viscosità cinematica a 135 °C in funzione della durata del RTFOT.

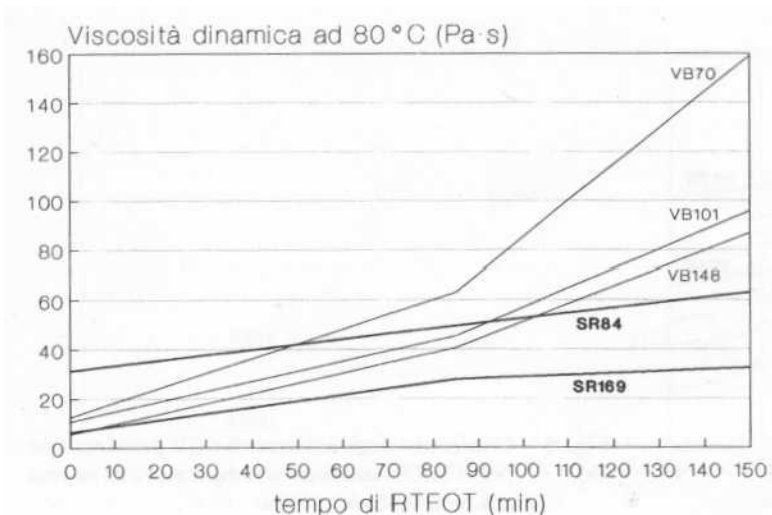


Fig. 6 - Variazione della viscosità dinamica a 80 °C in funzione della durata del RTFOT.

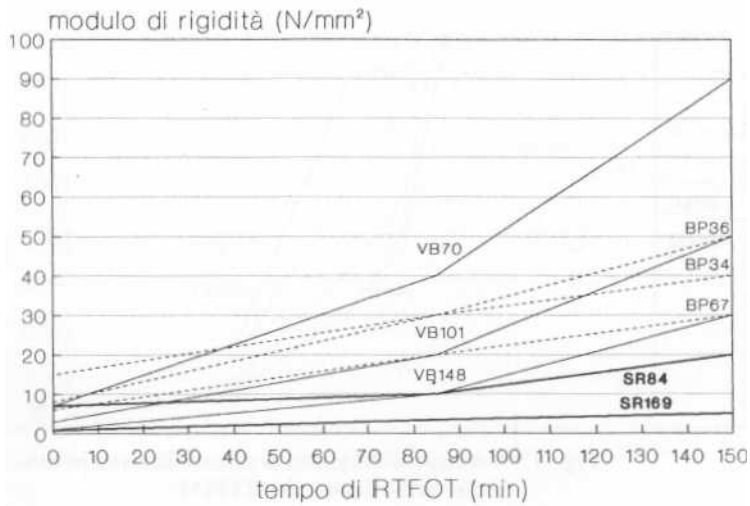


Fig. 7 - Variazione del modulo di rigidità in funzione della durata del RTFOT.

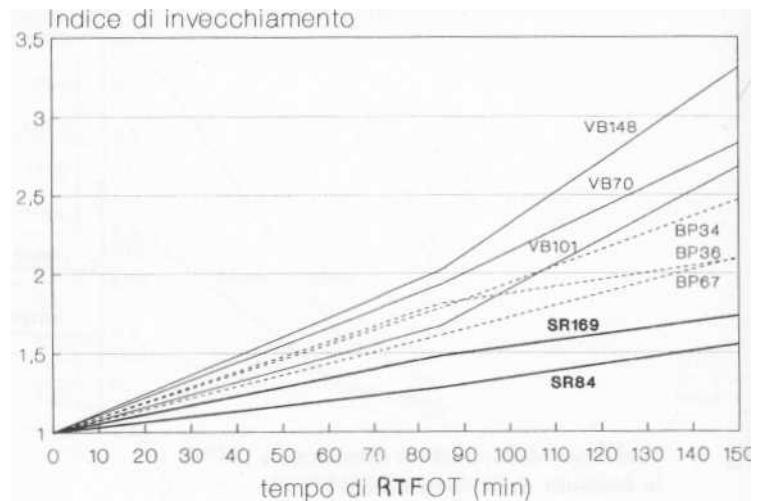


Fig. 8 - Variazione dell'indice di invecchiamento in funzione della durata del RTFOT.

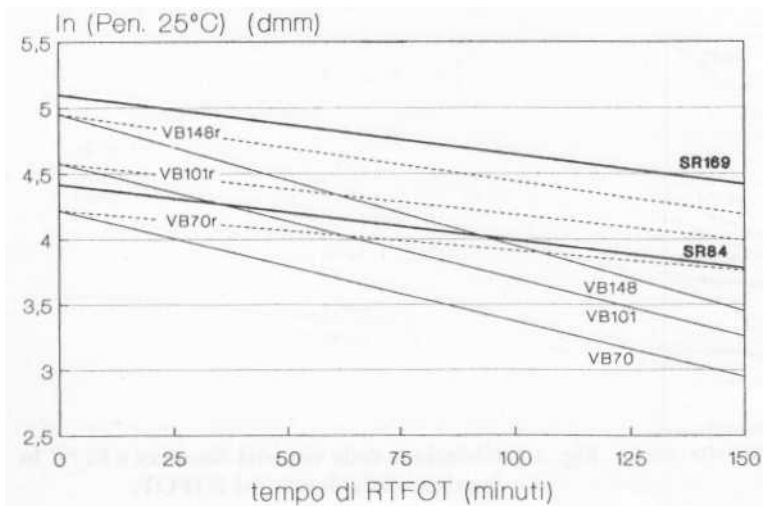


Fig. 9 - Confronto degli andamenti della penetrazione per RTFOT condotto a temperatura di norma e a temperatura ridotta.

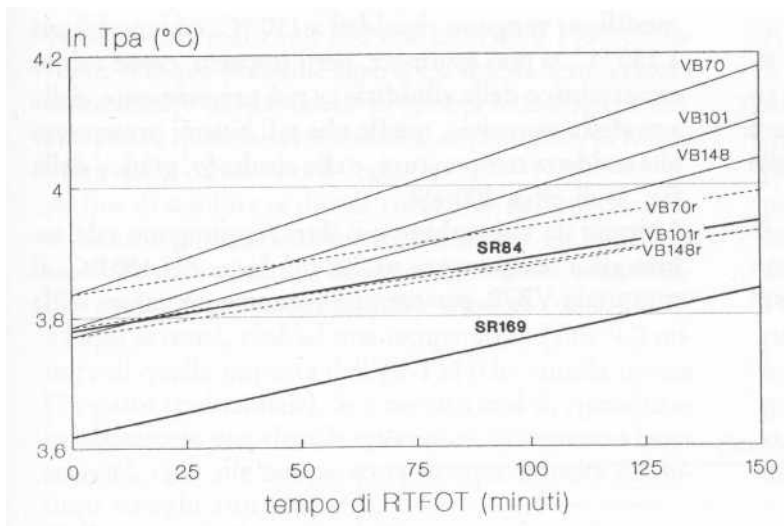


Fig. 10 - Confronto degli andamenti del punto di ram-mollimento per RTFOT condotto a tempe-ratura di norma e a temperatura ridotta.

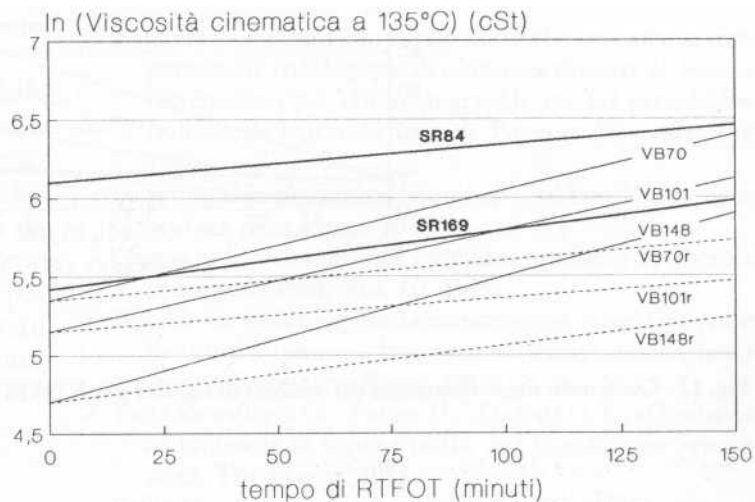


Fig. 11 - Confronto degli andamenti della viscosità ci-nematica a 135 °C per RTFOT condotto a tem-peratura di norma e a temperatura ridotta.

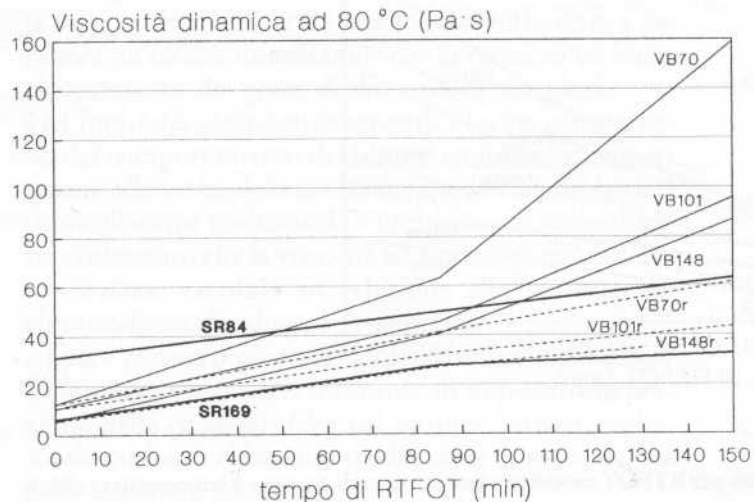


Fig. 12 - Confronto degli andamenti della viscosità di-namica a 80 °C per RTFOT condotto a tempe-ratura di norma e a temperatura ridotta.

loidale, dipendente dal processo di produzione. La maggiore fluidità, però, può essere sfruttata per ridurre la temperatura di impasto in centrale, così da ridurre l'impatto che questa operazione sembra avere sulla qualità del bitume e quindi sulla durabilità della sovrastruttura stradale.

Tenendo conto che tradizionalmente, ed anche secondo molti capitolati, per eseguire comodamente e con successo le operazioni di impasto e stesa, i bitumi non

modificati vengono riscaldati a 150 °C, ed i modificati a 180 °C, si può assumere, per l'impasto, come valore caratteristico della «fluidità» o, più precisamente, della «modesta viscosità», quello che tali bitumi presentano alle suddette temperature, e che risulta (v. grafico della fig. 2) di circa 200 cSt.

I bitumi da visbreaking più duri raggiungono tale valore già a temperature molto più basse dei 150 °C. Il campione VB70, per esempio, assume un valore della

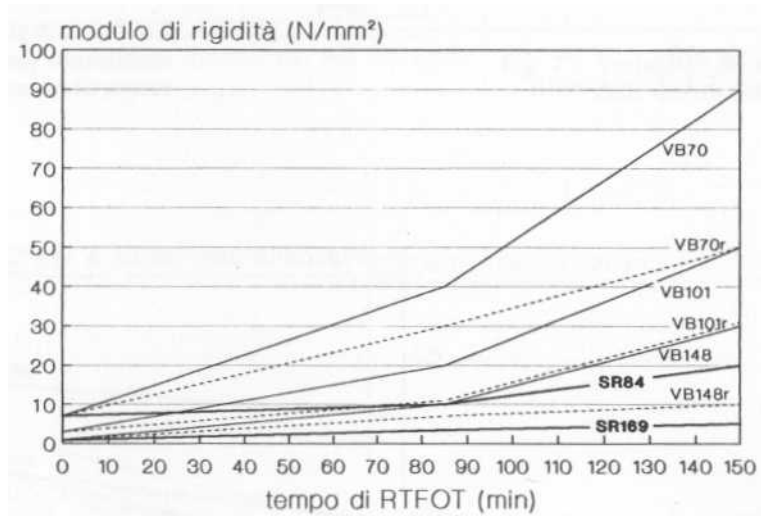


Fig. 13 - Confronto degli andamenti del modulo di rigidità per RTFOT condotto a temperatura di norma e a temperatura ridotta.

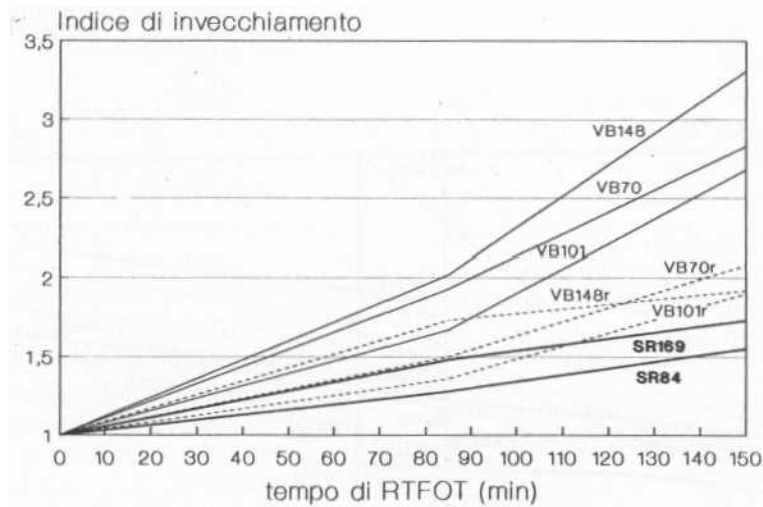


Fig. 14 - Confronto degli andamenti dell'indice di invecchiamento per RTFOT condotto a temperatura di norma e a temperatura ridotta.

viscosità cinematica di 200 cSt intorno a 135 °C. Sarebbe dunque possibile operare a questa temperatura senza alterare nessuna delle proprietà tecnologiche dell'impasto, quali la lavorabilità e, soprattutto, la miscibilità della carica con il legante.

Al fine di stabilire se da tale riduzione dell'aggressione al bitume possa effettivamente derivare un beneficio sensibile sulla tendenza all'invecchiamento, quantificabile mediante parametri noti, si è condotto un RTFOT a bassa severità, cioè ad una temperatura (145 °C) minore di quella imposta dall'ASTM (che simula invece l'impasto tradizionale). Si è cercato così di riprodurre in laboratorio una virtuale operazione di impasto a bassa severità, cioè alla temperatura di equiviscosità dei bitumi straight run (200 cSt).

Nelle figure da 9 a 14 sono riportate le modificazioni delle caratteristiche fisico-meccaniche subite dai bitumi (da distillazione e da visbreaking) a seguito del RTFOT condotto a 163 °C, nonché le analoghe modificazioni subite dai bitumi da visbreaking a seguito del RTFOT condotto a 145 °C.

In questi grafici si può osservare come le variazioni delle caratteristiche dei bitumi da visbreaking trattati con temperature meno aggressive (rappresentate con trattaggio e con una «r» aggiuntiva alla sigla del tipo di bitume), risultino molto simili a quelle dei bitumi da distillazione.

È ragionevole, quindi, affermare che la riduzione di pochi gradi della temperatura di impasto può riportare entro limiti accettabili il processo di invecchiamento mostrato, dai bitumi da visbreaking, alle temperature usuali di lavorazione.

Conclusioni

Per la corretta esecuzione delle fasi di impasto e stesa dei conglomerati bituminosi è necessario che il legante venga portato ad avere una fluidità sufficiente a garantire un'intima miscelazione con la carica ed un buon ricoprimento dei grani di dimensioni maggiori.

Nei limiti dei campioni esaminati, l'esame comparativo del comportamento dei bitumi commerciali appartenenti alle tre famiglie dei bitumi modificati, dei bitumi da distillazione tradizionale e dei bitumi da visbreaking ha evidenziato che la viscosità ad alta temperatura è notevolmente variabile in relazione alla costituzione chimico-fisica dei diversi prodotti.

Appare pertanto possibile ipotizzare una regolazione della «temperatura di lavorazione all'impianto» in funzione delle caratteristiche del bitume trattato, realizzando così una riduzione sia dei costi di gestione, sia delle emissioni tossiche.

Ancora più netto e rilevante è il beneficio conseguibile in termini di minore aggressione al legante, con conseguente minore indurimento ed irrigidimento e migliore comportamento in opera, tenuto conto che proprio i bitumi «visbreaking», che raggiungono a temperature più basse il necessario valore ottimale di viscosità (200 cSt), appaiono essere anche i più sensibili all'invecchiamento.

I risultati delle prove «RTFOT» condotte sia alla temperatura prevista dalla normativa, sia a temperatura inferiore, consentono di esprimere un sicuro giudizio positivo in merito al beneficio ottenibile da un abbassamento della temperatura di lavorazione per il suddetto tipo di bitumi.

Bibliografia

- Ramond G. - Pastor M. - Brule B.: «Relation entre le comportement rhéologique des bitumes routiers et leur caractérisation par chromatographie sur gel perméable». Bulléin de liason du Lab. de Ponts et Chaussées 148, 1986.
- Giavarini C.: «Visbreaker bitumens», 3rd Eurobitume Symposium, The Hague 1985.
- Giavarini C.: «Stability of bitumens produced by thermal processes», Fuel, Vol. 60, 1981.
- Lenoble C.: «Rheology and microstructure of aged polymers modified bitumens», International Symposium «Chemistry of bitumens», Roma 1991.
- Van Goswilligen G. - Berger H. - De Bats H.T.: «Oxidation of bitumens in various tests», 3rd Eurobitume Symposium, The Hague, 1985.
- Ballie M. - Bononi A. - Lombardi B. - Samanos J. - Simoncelli J.P.: «Prévision du vieillissement du bitume à l'enrobage par l'essai RTFOT», 4th Eurobitume Symposium, Madrid 1989.
- Marville j. - Vershave A.: «A contribution à l'étude de l'évolution des bitumes à l'enrobage», 2nd Eurobitume Symposium, Cannes 1981.
- Giorgetti J.P. - Simoncelli J.P.: «Qualagon: l'approche Shell pour une meilleure appréciation du comportement des bitumes routiers», Révue générale des routes et des aérodromes, n. 670, 1990.
- Favre A. - Boulet R. - Behar F.: «Etude par simulation en laboratoire de l'opération de viscoréduction», Révue de l'Institut Français du Pétrole, Vol. 40, 1985.
- Huet J.: «Spectrographie infrarouge et composition chimique globale des bitumes en cours d'évolution dans des sections routières expérimentales», 4th Eurobitume Symposium, Madrid 1989.
- Choquet F.: «L'évolution des liants bitumineux dans le revêtement en service», 4th Eurobitume Symposium, Madrid 1989.