

REOLOGIA DO BETUME DE BORRACHA: ANÁLISE DA ZERO SHEAR VISCOSITY

1. INTRODUZIONE

I modelli fisici e matematici che descrivono il comportamento dei materiali stradali, al fine di prevedere e studiare le prestazioni che essi sono in grado di offrire in opera nel tempo, sono diventati sempre più affidabili e sempre più utilizzati. Ciò scaturisce dalla possibilità che detti modelli possano essere direttamente sperimentati mediante l'uso di apparecchiature tecnologicamente sempre più avanzate e raffinate.

La reometria applicata ai bitumi stradali consente infatti di validare e di quantificare la risposta reologica dei leganti con sempre maggiore accuratezza.

Tutto questo in un momento storico in cui anche in Europa, così come avvenuto negli Stati Uniti, si assiste ad una evoluzione delle prescrizioni normative e delle specifiche tecniche da un approccio semi-empirico ad un approccio razionale, basato sullo studio delle proprietà di flusso dei bitumi.

Proprio le misure reologiche possono offrire formidabili indicazioni sul comportamento di bitumi che nascono come prodotti speciali, meno diffusi ma dalle enormi possibilità di impiego, come il bitume modificato con polverino di gomma di pneumatico riciclato [1]. È questo il classico esempio in cui la prassi costruttiva, in alcuni casi, ha anticipato la formulazione teorica. È questo il caso dove un'idea ha trovato pratica applicazione prima della piena comprensione delle leggi comportamentali del materiale impiegato e dove i risultati in opera non hanno deluso le aspettative. La diffusione di quello che prende comunemente il nome di bitume modificato con polverino di pneumatico, mediante la cosiddetta via umida, richiede un preciso inquadramento normativo, sia per essere classificato e conosciuto, sia per essere qualificato eminentemente come materiale da costruzione secondo le direttive della Comunità Europea.

La recente attività del CEN (Comitato Europeo di Normalizzazione) nel campo dei bitumi stradali è orientata alla formulazione di un nuovo impianto normativo e migliorare così le condizioni di progetto, al fine di incrementare prestazioni e vita utile delle sovrastrutture stradali. Nel presente articolo si vuole analizzare il comportamento del bitume modificato con polverino alla luce delle prime indicazioni della bozza di normativa europea prEN15325 (Bitumen and bituminous binders: determination of zero-shear viscosity using a shear stress rheometer. Creep Mode), studiata per i bitumi tradizionali e per i bitumi modificati con

polimeri ma non ancora applicata al caso dei bitumi modificati con polverino di pneumatico riciclato, materiale caratterizzato da uno specifico comportamento viscoelastico.

2. TEST DI CREEP STATICO E CONCETTO DI ZERO-SHEAR VISCOSITY

La Zero Shear Viscosity è la viscosità del materiale misurata per sollecitazioni statiche, caratterizzate da sforzo di taglio di bassa entità ($\tau = \tau_0 \rightarrow 0$) e lungo tempo di applicazione, in modo da ottenere il raggiungimento dello stato di flusso stazionario ($dy/dt \rightarrow \text{cost}$). La viscosità determinata in queste condizioni, tipiche di una prova di creep, può considerarsi una proprietà intrinseca del materiale, indipendente dallo stato di tensione, per cui teoricamente costituisce un parametro univoco di correlazione con gli ammaloramenti dovuti a scorrimenti viscosi ed accumulo di deformazioni plastiche (ormaiamento) [2, 3].

Il concetto di Zero Shear Viscosity (ZSV) nasce quindi dall'esigenza di esprimere il contributo parziale del legante nei riguardi della resistenza all'ormaiamento delle pavimentazioni stradali, principale fenomeno di degrado alle alte temperature di esercizio.

In letteratura sono presenti diverse metodologie sperimentali per la determinazione della ZSV, tutte fondate sull'utilizzo del reometro a taglio dinamico (Figura 1), ma riferite a diverse condizioni di prova [4].



Figura 1 – Reómetro dinâmico de corte da Università di Parma (Italia).

Il metodo scelto dal CEN, di seguito dettagliatamente esposto, prevede di effettuare la misurazione del modulo di deformabilità ($J = \gamma/\tau$), al raggiungimento dello stato di flusso stazionario, ottenuto per lungo tempo di carico e temperatura costante (Figura 2).

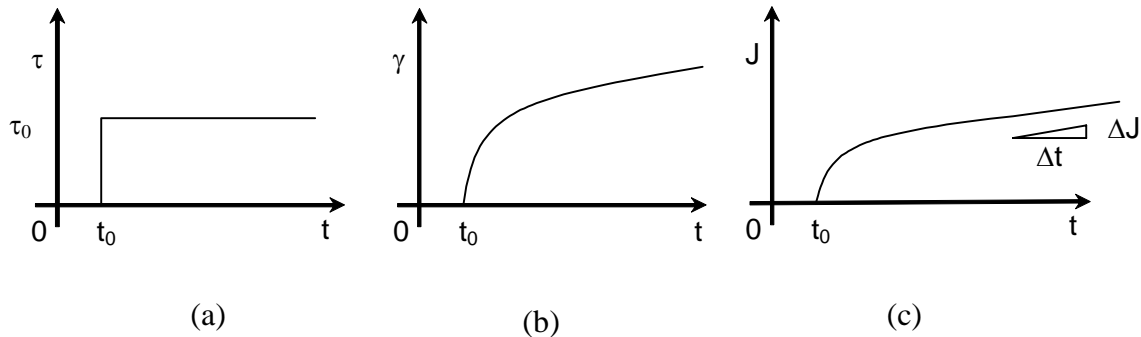


Figura 2 – Prova di creep: diagrammi di carico (a), deformazione (b) e compliance (c).

Il risultato finale è la media delle misurazioni effettuate negli ultimi 15 minuti di una prova concepita per durare da 1 a 4 ore, secondo l'equazione:

$$ZSV = \Delta t / \Delta J = 900 / (J_f - J_{15}) \quad [\text{Pa}\cdot\text{s}]$$

Dove J_{15} rappresenta il modulo di compliance, espresso in Pa^{-1} , rilevato a 15 minuti dalla fine dell'applicazione del carico, J_f è il modulo di compliance, espresso in Pa^{-1} , rilevato al termine della prova e 900 è l'intervallo di tempo fra le due misurazioni espresso in secondi.

Nel seguito si esamina l'approccio proposto, evidenziando i presupposti teorici ed alcune evidenze sperimentali emerse dall'applicazione nel caso di bitumi modificati con polverino.

3. INDAGINE SPERIMENTALE

3.1 Materiali di prova

I bitumi utilizzati nella sperimentazione sono costituiti da un bitume tradizionale B50/70 (Temperatura di palla-anello di 50°C) modificato con polverino di pneumatico riciclato in laboratorio nelle percentuali dello 0%, 16% e 20% in peso di gomma sul peso del bitume, non sottoposti ad alcun processo di invecchiamento artificiale.

3.2 Configurazione di prova del reometro a taglio dinamico

La configurazione del reometro adottata in questa indagine è rappresentata dalla coppia di sensori piatto-piatto con diametro di 25 mm e distanza fra i piatti (gap) di 2 mm. La

temperatura per lo svolgimento delle prove è stata posta pari a 60°C, così come suggerito dalla norma. Il condizionamento della temperatura è stato ottenuto attraverso una cella Peltier. La deviazione massima ammessa rispetto alla temperatura imposta è stata pari a $\pm 0,1^\circ\text{C}$.

Una ulteriore peculiarità del reometro adottato è quella di avere un sistema di sospensione ad aria degli organi di rotazione, dove gli attriti interni sono estremamente limitati.

3.3 Impostazione della prova di Zero-Shear Viscosity

La normativa suggerisce di eseguire, in via preliminare alla successiva prova di creep, una curva di flusso a 60°C dove diversi gradini di carico, compresi in genere fra 30 e 1000 Pa, permangono per tempi stabiliti. Tale procedura consente di evidenziare un eventuale comportamento non newtoniano dei bitumi che di volta in volta possono essere studiati, quantificando il valore della tensione da applicare nella vera e propria prova di creep [5]. Nel caso in esame, per i tre bitumi esaminati, è stato individuato in 50 Pa il valore di carico da imporre durante la prova.

La maggiore difficoltà, riscontrabile in generale in tutti i bitumi ad alta modifica, anche di produzione industriale, è legata alla definizione del tempo di creep. Se nel caso dei bitumi naturali il tempo di un'ora è sufficiente per il raggiungimento dello stato stazionario, si è invece rilevato come per i leganti modificati occorra quasi sempre un tempo maggiore e non sempre ben definibile. Sono stati adottati tempi diversi, pari a 1, 4 e 8 ore, per lo svolgimento della prova di creep.

4. ANALISI DEI RISULTATI

4.1 Le prove di Zero Shear Viscosity

Nello svolgimento delle prove di creep si è innanzitutto tenuto conto dell'applicazione integrale della metodologia proposta dal CEN (prEN 15325 draft 08.2005) ed, in un secondo momento, si è cercato di estendere la procedura d'indagine sulla base delle misurazioni sperimentali.

Le misure eseguite in questa fase hanno riguardato l'andamento in funzione del tempo delle più importanti grandezze che descrivono il comportamento dei materiali sottoposti ad azioni nel regime continuo: deformazioni angolari $\gamma(t)$, tasso di scorrimento $d\gamma/dt$, modulo di compliance $J(t)$ e viscosità $\eta(t)$.

I risultati ottenuti sono stati diversi in funzione del tipo di bitume. Nel caso del bitume tradizionale (Figura 3) e del bitume a bassa modifica (Figura 4) è stata raggiunta la condizione di flusso stazionario, come individuato dall'andamento del modulo di compliance,

crescente con legge lineare nel tempo. In queste condizioni la viscosità che si misura tende ad assumere, nell'intervallo di calcolo (pari agli ultimi 900 secondi di prova), un valore costante, che rappresenta la ZSV del materiale.

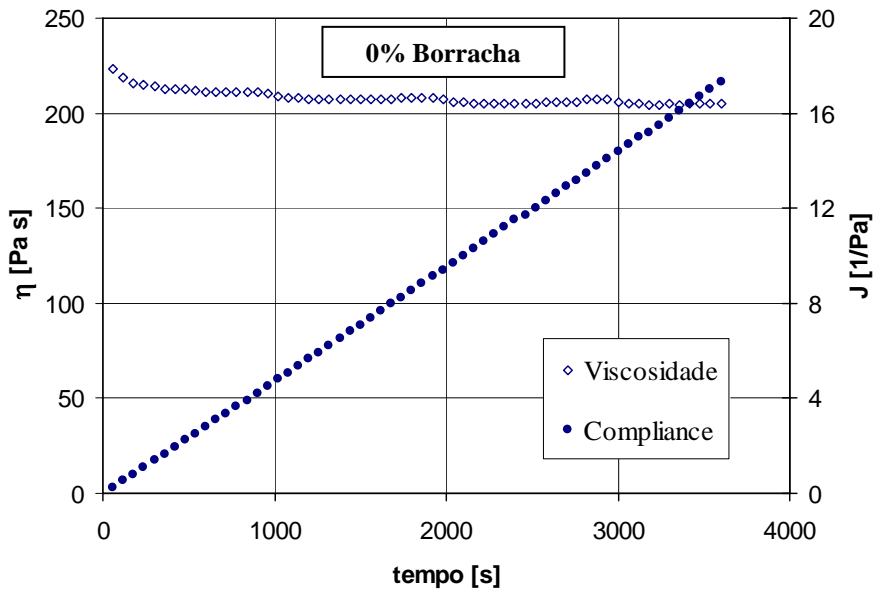


Figura 3 – Andamento della viscosità e del modulo di compliance a 60°C per il bitume privo di polverino ($t = 3600$ secondi).

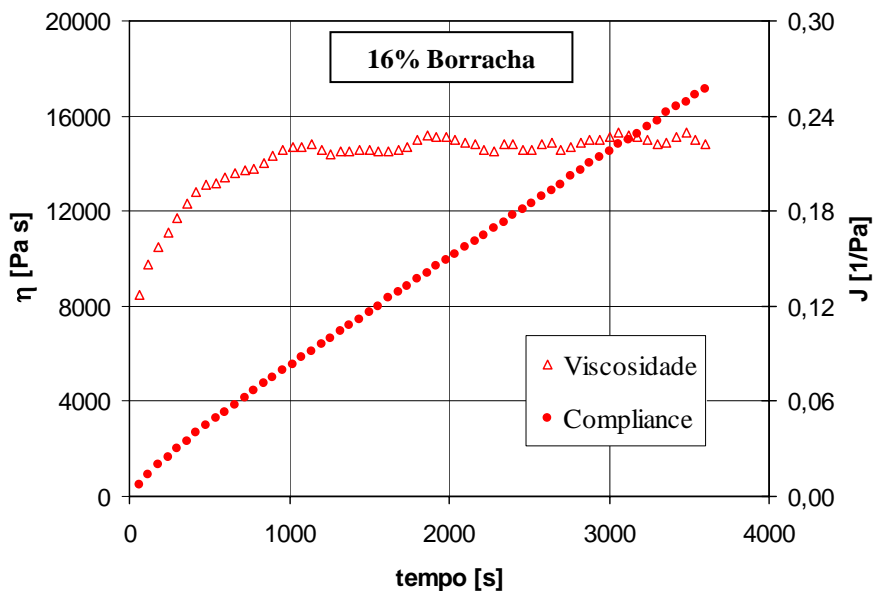


Figura 4 – Andamento della viscosità e del modulo di compliance a 60°C per il bitume con 16% di polverino ($t = 3600$ secondi).

Nel caso del bitume modificato con il 20% di polverino, sebbene la prova sia stata protratta fino a 4 ore (14400 secondi), come suggerito per i bitumi modificati con polimeri, non si

raggiunge un effettivo stato stazionario e, per l'intera durata della prova, si registra un andamento della viscosità sostanzialmente variabile (Figura 4).

La prova di creep con tempi più lunghi, pari ad 8 ore (Figura 5), mostra come la condizione di stazionarietà del flusso sembra più vicina.

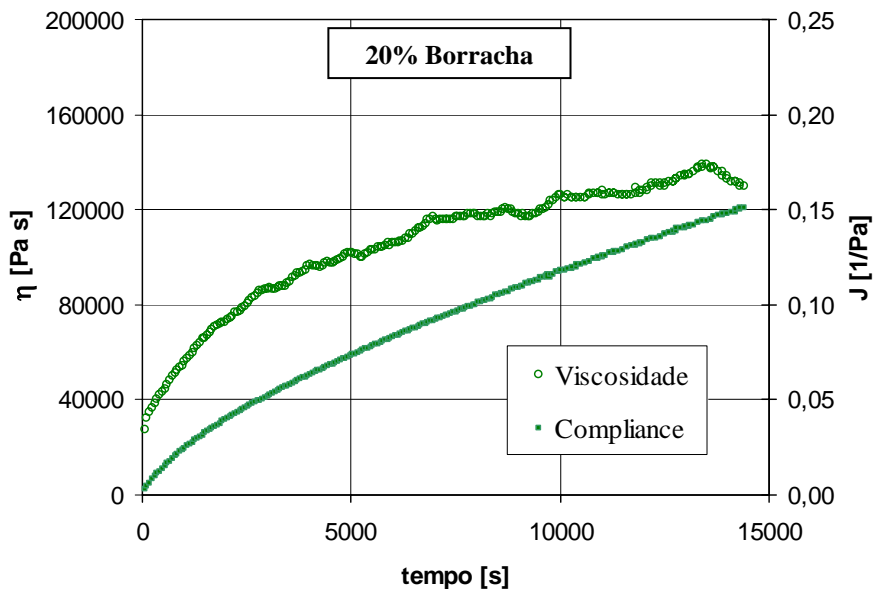


Figura 4 – Andamento della viscosità e del modulo di compliance a 60°C per il bitume con il 20% di polverino ($t = 14400$ secondi).

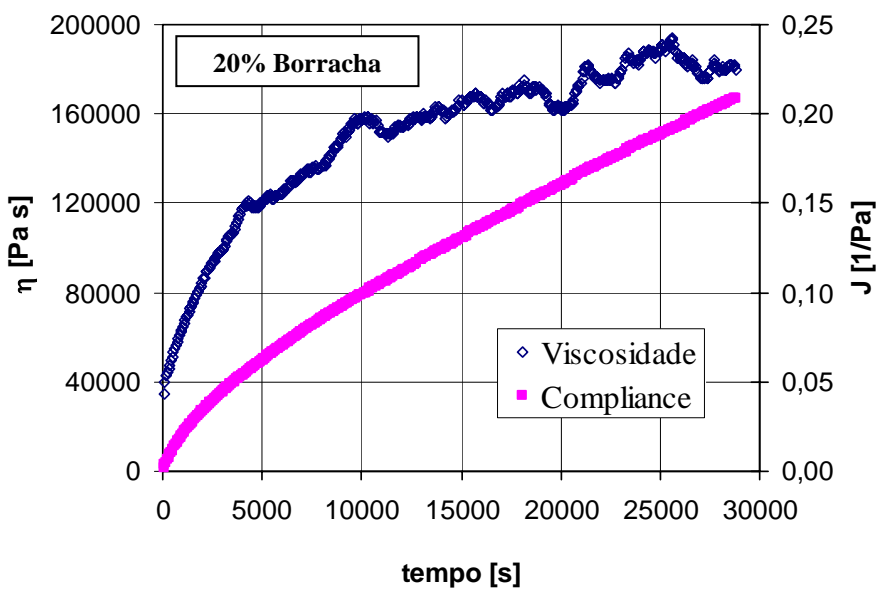


Figura 5 – Andamento della viscosità e del modulo di compliance a 60°C per il bitume con il 20% di polverino ($t = 28800$ secondi).

La variabilità dei valori di viscosità osservata, attribuibile alla natura stessa del legante, non ha influito negativamente sull'affidabilità del risultato, in quanto è stato comunque possibile determinare un valore univoco di ZSV. Se si analizza infatti la formula proposta dalla normativa CEN per il calcolo di ZSV:

$$ZSV = \Delta t / \Delta J \quad [\text{Pa}\cdot\text{s}]$$

si può notare come, tramite essa, la determinazione del valore di ZSV sia fondata sull'ipotesi che la derivata prima della funzione $J(t)$ effettuata rispetto al tempo sia costante e, quindi, che $J(t)$ sia rappresentabile, all'interno dell'intervallo di calcolo, con una funzione lineare del tipo:

$$J(t) = at$$

Conseguentemente risulta valida la seguente equivalenza:

$$\Delta t / \Delta J = 1/(dJ/dt) = \tau/(d\gamma/dt) = \eta \rightarrow ZSV$$

Il calcolo proposto prescinde quindi dall'analisi dell'effettivo andamento delle proprietà del legante durante l'intera estensione dell'intervallo di calcolo e la ZSV così valutata risulta essere funzione unicamente dei valori assunti da J in corrispondenza degli estremi di tale intervallo.

Nel caso dunque del bitume con una importante percentuale di polverino (20%) si nota come, durante i 900 secondi finali, possa essere considerata corretta l'ipotesi di linearità della funzione $J(t)$, pur non realizzandosi una effettiva stabilizzazione del valore di viscosità [6].

5. CONCLUSIONI

Il processo di definizione delle nuove specifiche tecniche europee sui bitumi stradali costituisce è un argomento che, seppur in continua e proficua discussione, sta prefigurando un carattere di modernità e di completezza delle trattazioni. Il contributo del presente articolo consiste nell'aver applicato ai bitumi modificati con polverino di pneumatico riciclato l'approccio attualmente proposto dal CEN per la valutazione della Zero Shear Viscosity. Sebbene concepito per i soli bitumi tradizionali o modificati con polimeri, l'approccio normativo evidenzia una buona applicabilità ai bitumi modificati con polverino i quali presentano proprietà di flusso particolarmente sensibili alla percentuale di gomma inglobata. Percentuali di polverino dal 16% al 20% comportano una variazione del carattere newtoniano

del bitume, così come si riscontra spesso nel passaggio dal tipo soft a quello hard di bitumi modificati con polimeri di tipo stirenico [6].

In analogia con quanto riscontrato proprio nel campo dei bitumi modificati di tipo hard, per i bitumi con il 20% di polverino di pneumatico il regime stazionario dello stato di flusso a bassi sforzi di taglio risulta non raggiungibile in modo rapido. I tempi di 4 ore non consentono di ottenere un valore univoco di ZSV ma l'esperienza condotta suggerisce un tempo più lungo, almeno prossimo ad otto ore. Tempi di 1 ora sono certamente sufficienti per individuare il valore di ZSV di bitumi non modificati o che presentano percentuali più basse di polverino.

In ogni caso il valore numerico di ZSV, che ben si rapporta alla suscettibilità delle pavimentazioni all'ormaiamento, anche prescindendo dall'analisi critica dei diagrammi, discrimina in maniera netta fra leganti tradizionali e modificati con polverino.

Occorre inoltre notare come ai fini del progetto delle sovrastrutture la ZSV dovrebbe rappresentare un valido indicatore in grado di tradurre, a livello numerico e pratico, la resistenza allo scorrimento viscoso del legante, al fine di contrastare la formazione delle ormaie nelle pavimentazioni [7]. I valori rilevati in questa prova danno infatti una misura della grande differenza di velocità di deformazione che intercorre fra il caso dei bitumi tradizionali e quelli modificati quando sono sottoposti a carichi statici. Questo significa che a parità di carico, tempo di applicazione e temperatura il bitume modificato con polverino subisce una deformazione di entità molto minore rispetto al bitume tradizionale.

Dunque anche la determinazione della ZSV, che a breve entrerà nel novero delle grandezze di riferimento per gli operatori del settore stradale, è in grado di valutare quantitativamente l'evidente incremento prestazionale che si riscontra nell'utilizzo su strada dei bitumi modificati con polverino.

6. BIBLIOGRAFIA

[1] Antunes I., Giuliani F., Sousa J.B., Way G., “*Asphalt Rubber: bitume modificato con polverino di pneumatico riciclato*”, 4th International Congress “Valorization and recycling of industrial waste”, VARIREI 2005, Università degli Studi de l'Aquila, Italia, 27-30 June 2005.

[2] Clyne T. R., Marasteanu M. O., “*Inventory of Properties of Minnesota Certified Asphalt Binders*”, Research 2004-35 Final Report, Minnesota Department of Transportation, St. Paul, USA, April 2004.

[3] Antunes I., Giuliani F., Sousa J.B., “*Caracterização reológica de betumes modificados CRM sujeitos a envelhecimento artificial*”, Estrada 2004, 3º Congresso Rodoviário Português, “Gestao do sistema rodoviario”, CRP - Centro Rodoviário Português, Lisboa, Portugal, 24-26 Novembre 2004.

[4] Phillips M., Robertus C., “*Binder Rheology and Asphaltic Pavement Permanent Deformation; The Zero Shear Viscosity Concept*”, Proceedings of Eurasphalt & Eurobitume Congress, Strasbourg, France, 7-10 May 1996.

[5] Binard C., Anderson D., Lapalu L., Planche J.P., “*Zero Shear Viscosity of Modified and Unmodified Binders*”, Proceedings of Euroasphalt & Eurobitume Congress, Vienna, Austrian, 12-14 May 2004.

[6] Montepara A., Giuliani F., Merusi F., “*L’analisi reologica dei bitumi stradali secondo i nuovi indirizzi europei: determinazione sperimentale della zero-shear viscosity*”, Rivista “Rassegna del Bitume”, n. 52-06, Siteb, Roma, Italia, 2006.

[7] AA. VV., “*Bituminous Binder Testing and Specification – Proceedings*”, European BiTSpec Seminar, Brussels, Belgium, 12-13 June 2003.