

Il "semi-tiepido" ovvero qualcosa ancora sui conglomerati a bassa temperatura

The "semi - warm", or something more about low temperature mix

MARIO BONOLA
Consulente

Riassunto

Sempre più spesso si parla di conglomerati "tiepidi", "a bassa energia" o "a bassa temperatura" e le tecniche per produrli sono sempre più numerose e in continua evoluzione. Questi materiali innovativi costituiscono senz'altro la nuova frontiera nel settore delle pavimentazioni stradali e rappresentano l'argomento che sta più appassionando i ricercatori. Con i termini "tiepidi", "a bassa energia" e "a bassa temperatura" si indicano tutti quei materiali di nuova generazione che coniugano il carattere ecologico del conglomerato a freddo con le prestazioni del conglomerato a caldo e al tempo stesso abbattano sostanzialmente l'impatto ambientale per tutta la filiera produttiva: dall'impianto al cantiere.

Questo articolo si propone di approfondire una tecnologia relativamente recente, ma già largamente sperimentata in Francia, che consente di scendere ulteriormente al di sotto di quelle temperature tipiche rappresentanti la soglia media del conglomerato "tiepido", a "bassa energia o "a bassa temperatura" (120-130 °C per il confezionamento, 90-100 °C per la stesa).

Summary

More and more often we speak about "warm", "low energy" and "low temperature" asphalt and the techniques for their production are more and more numerous and continuously in evolution. These innovative materials undoubtedly constitute the new frontier of road pavement sector and represent a very exciting subject for the researchers. With the terms "warm", "low energy" and "low temperature" we indicate all new generation materials combining the environmental character of the cold mix asphalt with the performance of the hot mix asphalt reducing substantially at the same time the environmental impact of the whole production line: from the asphalt plant to the job site.

This paper deepens the aspects of a technology, relatively recent but already widely experimented in France, that enables to further drop below those typical temperatures representing the average threshold of the warm mix asphalt (120-130 °C for manufacturing, 90-100 °C for laying down).

1. Premessa

I più noti processi per produrre conglomerati a bassa temperatura sono quelli che hanno avviato questo nuovo percorso sul terreno dello sviluppo tecnologico dell'industria delle pavimentazioni stradali. In particolare si tratta di tecniche che utilizzano additivi organici o minerali (cere o zeoliti), o tecniche che prevedono il doppio impiego di bitume molle e schiuma di bitume

duro o la sola schiuma di bitume con inerti parzialmente scaldati [4].

Queste tecniche consentono riduzioni della temperatura al confezionamento, nell'ordine dei 30-40 °C rispetto alla tecnica tradizionale (160-170 °C) con un risparmio di energia per il riscaldamento degli inerti valutabile nell'ordine del 20 e il 25% [1-3].

Esistono però anche altre tecnologie in cui il risparmio dell'energia necessaria al riscaldamento degli inerti è »

maggiore e può raggiungere il 40-50 % [5-7]. Il bilancio energetico teorico è confermato dai dati di consumo rilevati all'impianto, al termine del confezionamento [12].

Il passaggio delle temperature di fabbricazione da 160 °C a meno di 100 °C costituisce una vera e propria novità tecnologica resa possibile da un nuovo approccio ai conglomerati.

La possibilità di economizzare all'impianto fino al 50% dell'energia fossile costituisce un fattore reale di competitività a vantaggio dei conglomerati semi-tiepidi, specie se rapportato all'onerosità e alle incertezze del costo dell'energia petrolifera o gassosa. In una prospettiva di sviluppo sostenibile, uno degli obiettivi strategici delle imprese stradali è certamente quello della riduzione delle emissioni, in particolare dei Gas a Effetto Serra; per ogni tonnellata di conglomerato semi-tiepido, a seconda dell'impianto e della tecnica adottata, si ottiene una riduzione delle emissioni da 7 a 10 kg di CO₂. Questo fatto si inquadra nel sistema di limitazione delle emissioni di Gas a Effetto Serra, anticipando il futuro sistema di scambio di quote d'emissione di CO₂ [13]. Il riconoscimento dei crediti d'emissione (v. Trattato di Kyoto) da ultimo potrà, attraverso la rivendita delle eccedenze, accentuare concretamente la competitività di questi conglomerati.

In quest'ottica l'industria stradale, già con i conglomerati fabbricati sotto i 130 °C, contribuisce al raggiungimento degli obiettivi posti dallo sviluppo durevole in termini di riduzione delle emissioni, obiettivi che verranno ancor più centrati grazie alla maggiore efficienza delle tecnologie innovative di ultima generazione che abbattano la temperatura al di sotto dei 100 °C.

2. I conglomerati semi-tiepidi: metodo di confezionamento

In un impianto di asfalto, l'essiccazione degli inerti richiede un grande dispendio energetico.

La chiave di volta di questo nuovo processo come rappresentato schematicamente in **Fig. 1** consiste in un essiccamento «parziale» dello scheletro granulare in modo da eliminare solo una parte dell'acqua naturale residua negli inerti e in un rivestimento sequenziale dei grani costituenti la miscela con il bitume [5 e 11]. L'operazione viene effettuata separando in 2 due linee distinte il caricamento degli inerti in impianto. Una linea contiene solo la frazione più grossolana degli inerti che viene immessa nel tamburo essiccatore, l'altra solo la frazione più fine che non entra nell'essiccatore ma, al contrario, viene inviata direttamente nel miscelatore a

Tab. 1 Risparmio energetico rispetto al confezionamento di conglomerati a caldo

Conglomerato a caldo	M (kg)		Temperature °C		Energia Termica Q (MJ)		
	Mat. secco	Acqua	T _i	T _f	Mat. secco	Acqua	Totale (mat. secco + acqua)
Inerti umidi	618,3	6,2	10	160	77,6	17,1	94,8
Sabbia umida	322,9	13,5	10	160	40,5	36,9	77,4
Bitume	53,8		130	170	4,5		4,5
Totale							176,7

Conglomerato a caldo	M (kg)		Temperature °C		Energia Termica Q (MJ)		
	Mat. secco	Acqua	T _i	T _f	Mat. secco	Acqua	Totale (mat. secco + acqua)
Inerti umidi	618,3	6,2	10	130	62,1	16,8	78,9
Sabbia umida	322,9	13,5	10	10	0	0	0
Bitume	53,8		130	170	4,5		4,5
Totale							83,4

RISPARMIO DI ENERGIA DI RISCALDAMENTO 53%

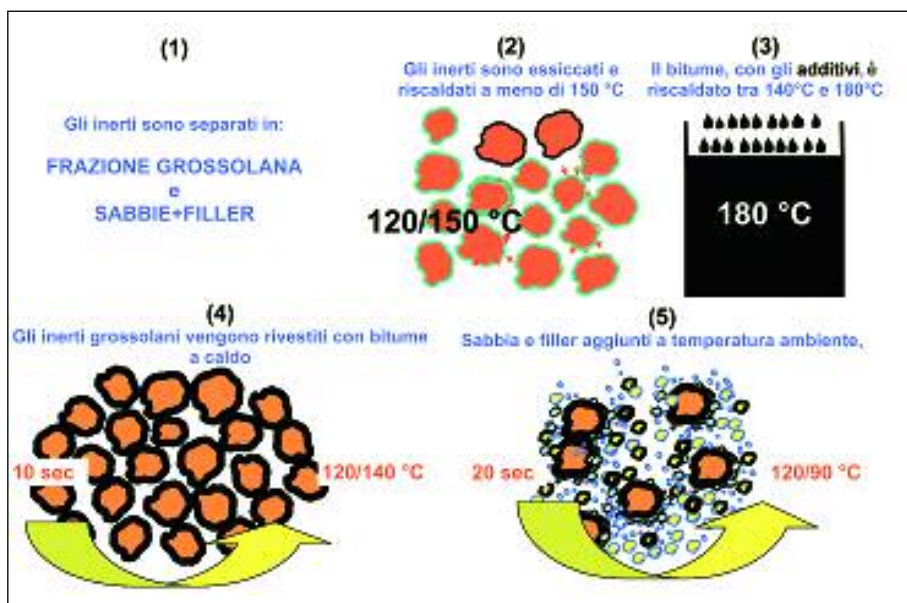


Fig. 1 Schema di confezionamento del conglomerato con rivestimento sequenziale

temperatura ambiente e a un'umidità prestabilita. Mediante questa parzializzazione, l'acqua residua, distribuita sulla parte esterna delle sabbie e dei fini, a contatto con il bitume a 180 °C fa schiumare naturalmente il legante, inducendo così l'espansione spontanea dello stesso. Il tutto avviene all'interno del mescolatore ed è favorito dall'impiego di additivi speciali che facilitano la formazione di schiuma di bitume. Si genera pertanto l'aumento immediato della superficie specifica del legante interagente con gli inerti e quindi si ottiene una diminuzione della viscosità apparente il che ovviamente agevola la lavorabilità della miscela. Come più volte accennato, l'umidità ha un ruolo fondamentale nel processo semi-tiepido in quanto influisce sulla schiumabilità del legante, sulla lavorabilità della miscela e quindi, in ultima analisi, sulla sua compatibilità sotto l'azione dei rulli, pertanto a secondo dei casi può rendersi necessario un apporto di acqua supplementare.

Per adeguare alla tecnologia in questione un impianto d'asfalto tradizionale, non importa se continuo o discontinuo [9-11], fisso o mobile, oltre alla movimentazione della frazione fina separata da quella grossolana, le modifiche da apportare riguardano l'installazione, lungo proprio la linea d'alimentazione dei fini al mescolatore, di un dispositivo che consenta l'irrorazio-

ne di una quantità calibrata di acqua in modo che il contenuto finale in acqua residua del conglomerato semi-tiepido a 95 °C è sia compreso tra 0,1 e 0,6%.

Con la tecnica del confezionamento a 95 °C è possibile produrre ogni tipo di conglomerato caratterizzato da curve granulometriche sia continue che discontinue e, a tale riguardo, giova aggiungere che sono state effettuate produzioni di conglomerati mediante riciclaggio di materiale fresato.

Una volta confezionato, il conglomerato semi-tiepido presenta un differenziale termico ridotto rispetto all'ambiente circostante, il che riduce gli scambi termici rispetto

alle tecniche tradizionali, pertanto è possibile il suo stoccaggio per molte ore successive alla fabbricazione, specie se in tramogge coibentate, oppure potrà essere trasportato a distanze maggiori.

All'impianto durante il confezionamento e il carico sui camion, come su strada durante la stesa e compattazione, risulta evidente l'assenza di fumi, alla cui abbondanza invece le tecnologie tradizionali a caldo ci hanno abituato sui cantieri di lavoro per le pavimentazioni stradali.

3. La messa in opera

La messa in opera di conglomerati "semitiepidi" o a "bassa temperatura" è una tecnica che, per quanto recente, non presenta particolari difficoltà rispetto a quella tradizionale a caldo e pertanto non entra in conflitto con il *know how* acquisito dalle imprese stradali tradizionali, basti considerare ad esempio il fatto che i mezzi di stesa e di compattazione sono gli stessi di quelli utilizzati abitualmente sui cantieri di conglomerati bituminosi a caldo tradizionali.

3.1. Trasporto

Anche per questa fase dei lavori vanno rispettate le rego- ➤

le generali adottate nel trasporto dei conglomerati a caldo; la copertura con teloni è altrettanto necessaria in quanto la ventilazione indotta determinerebbe l'evaporazione di parte dell'acqua residua presente nella miscela con conseguente abbassamento della sua temperatura e quindi la riduzione della lavorabilità su strada, il che interessa ovviamente sia la stesa che la compattazione. Come accennato la differenza di temperatura tra l'ambiente circostante e il conglomerato tiepido è ovviamente inferiore rispetto al caso dei conglomerati a caldo. Nel caso di una temperatura esterna di 15 °C, la durata massima possibile del trasporto si raddoppia incrementando di conseguenza il raggio d'azione degli impianti [14]. Ovviamente non va dimenticato il fatto che esiste sempre un limite minimo della temperatura di stesa che sarà definito in base a ciascuna formulazione della miscela di conglomerato (Fig. 2).

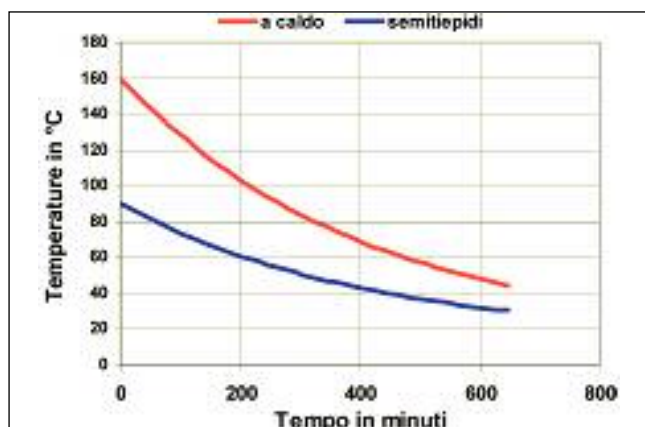


Fig. 2 Curva tipiche di raffreddamento per conglomerati a caldo e semitiepido

3.2. Stesa

Anche in questo caso prima della stesa occorre realizzare una mano d'attacco che, conferendo una continuità materiale agli strati della sovrastruttura, contribuisce alla resistenza e alla durabilità della pavimentazione stradale, non importa se realizzata con tecniche a caldo o a freddo. Pertanto possono essere utilizzati gli stessi tipi di emulsione bituminosa impiegati per strati di pavimentazione realizzati con tradizionale conglomerato a caldo. Come visto, la temperatura minima di stesa: dipende dalla formulazione del conglomerato compreso l'additivo utilizzato.

Per bitumi puri di penetrazione superiore a 35 1/10 mm tale temperatura si colloca generalmente tra i 60 e i 70 °C. Diverso è il caso di bitumi caratterizzati da penetrazione più bassa o modificati con polimeri, uno studio specifico consentirà di determinare caso per caso questo valore di soglia.

Per lo spandimento del materiale la problematica è analoga a quella dei loro omologhi a caldo. Considerata la sensibile differenza di viscosità con i conglomerati tiepidi, è necessario uno scrupoloso rispetto del mantenimento, a livello costante, del riempimento della camera di ripartizione della vibrofinitrice e della corretta altezza da terra della coclea di distribuzione così come la sua «immersione» nella massa di materiale defluente.

3.3. Compattazione

A parità di formulazione della miscela, la compattazione del conglomerato tiepido è analoga a quella dei conglomerati a caldo. Ovviamente la sequenza delle passate deve essere calibrata in funzione della formulazione adottata per la miscela.

In Francia, tutti i conglomerati, siano essi a caldi o a bassa temperatura, sono compattati mediante un adeguato rullo gommato seguito sempre da un rullo metallico. Rispetto ai conglomerati a caldo, ovviamente, quelli semi-tiepido (compattati a 70-80 °C) riscaldano di meno i pneumatici del rullo gommato. Questo fatto implica che tali rulli gommati debbano essere equipaggiati con una efficiente barra spruzzatrice di liquido anti-collante.

Va poi precisato che l'energia di compattazione necessaria può essere leggermente superiore a quella dei conglomerati a caldo tradizionali, il che eventualmente si traduce in qualche passata supplementare. Per una compattazione più efficace talora vengono utilizzati opportuni additivi, spesso di origine vegetale e biodegradabili, i quali congiuntamente all'umidità residua nella miscela, circa lo 0,5%, rendono più agevole questa fase di lavoro.

Va sottolineato infine che al termine del processo di raffreddamento le caratteristiche meccaniche raggiunte dal conglomerato risultano definitive.

3.4. Giunto longitudinale

Anche il giunto di costruzione che si crea fra lo strato preesistente (freddo) adiacente a quello in corso di stesa

(«semi-tiepido») richiede la stessa lavorazione adottata nel caso dei conglomerati a caldo tradizionali.

3.5. Igiene dell'ambiente

Con i conglomerati semi-tiepidi le temperature di confezionamento e di stesa sono quasi dimezzate (**Fig. 3**), pertanto per gli operai addetti alla lavorazione praticamente scompaiono sia il rischio di ustioni sia la intensa sensazione di caldo, specie durante i periodi estivi.

La sostanziale scomparsa di fumi e odori riduce ulteriormente problemi e fastidi alle squadre di stesa e anche alla popolazione che vive e opera in prossimità dei cantieri di lavoro. I cassoni dei camion, gli alimentatori e la coclea della finitrice, le pale e i rastrelli utilizzati dagli operai restano sempre molto puliti grazie anche alla leggerissima condensazione in finissime goccioline del vapore acqueo sulle pareti metalliche. Questo fatto determina un minore impiego di solventi per la pulizia delle attrezzature.



Fig. 3 Temperatura di stesa e compattazione

4. Alcune cifre

Con la nuova tecnica semi-tiepida descritta in questo articolo, a tutt'oggi, sono state prodotte presso 21 differenti impianti circa 40.000 tonnellate di conglomerati che sono stati stesi su 68 diversi cantieri di lavoro. Di questi impianti, appositamente attrezzati (18 francesi e 3 spagnoli), 8 sono del tipo continuo e 13 del tipo discontinuo. Le miscele prodotte sono tutte comprese nella gamma granulometrica 0/6-0/20 e gli inerti impiegati sono stati di diversa natura mineralogica (**Fig. 4**).

Il legante usato è stato un bitume puro di classe 10/20, 20/30, 35/50 o anche 50/70 modificato con l'aggiunta di uno o due additivi multifunzionali al fine di ottimizzarne la schiumabilità, la qualità del rivestimento e quindi le prestazioni del prodotto finale.

Dal punto di vista della esecuzione dei lavori i 68 cantieri sono stati ampiamente soddisfacenti. La stesa è stata effettuata con macchinario e modalità identici a quelli impiegati con i conglomerati a caldo, salvo un leggero aumento della frequenza delle piastre vibranti della finitrice e dell'energia di compattazione (numero di passate dei rulli) al fine di garantire il grado di compattazione richiesto.

Giova sottolineare il fatto che, poiché il conglomerato viene steso a temperatura inferiore ai 100 °C, le sue caratteristiche di resistenza progrediscono rapidamente e raggiungono i valori definitivi in concomitanza con il suo completo raffreddamento, (quando si può procedere alla riapertura del traffico), il che può pertanto



Fig. 4 Superficie finita di un conglomerato semitiepido

avvenire in tempi rapidi. L'aspetto superficiale della pavimentazione è quello tradizionale e anche i livelli di macrotestitura misurati sono identici a quelli dei conglomerati a caldo di riferimento.

5. Prestazioni ed esigenze identiche ai conglomerati a caldo

Di seguito si riportano dei dati relativi alla formulazione di miscele adottate su alcuni dei lavori svolti in Francia. »

In particolare la Tab. 2 presenta due formulazioni per conglomerati semitiepidi 0/14 e 0/10 confezionati con aggregati dioritici e stesi nella zona di Seine-et-Marne (specificatamente a Episy e a Château-Landon). Lo studio è stato condotto in completa analogia a quelli per i conglomerati a caldo tradizionali, sulla base delle stesse prove di laboratorio, quali la prova con la pressa a taglio giratoria (attitudine alla compattazione), la prova Duriez (resistenza all'acqua), resistenza all'ormaiamento, misura del modulo di rigidità e resistenza a fatica.

Tab. 2 Formulazioni per conglomerati semitiepidi 0/10 e 0/14

Aggregati di	6/10 2/6	43,5% 23%	Aggregati di	6/10 +10/14 2/6	44% 21%
Noubleau	0/2	31,5%	Noubleau	0/2	33,5%
Filler		2%	Filler		1,5%
Bitume 35/50		5%	Bitume 35/50		4,5%
Giratoria	60 giri	11,5%	Giratoria		10,1%
Ormaiamento	3000 cicli	6,2%	Ormaiamento	3000 cicli	5,4%
DURIEZ	Compattazione		DURIEZ	Compattazione	91,9%
	R 105 Pa	71,9%		R 105 Pa	108,3%
	r 105 Pa	68%		r 105 Pa	88,5%
	r/R	0,95%		r/R	0,82%

I risultati ottenuti sui conglomerati realizzati secondo il nuovo procedimento a tiepido confrontato con quello a caldo di riferimento sono dello stesso ordine di grandezza e dunque giudicati molto soddisfacenti [8]. I due laboratori centrali dell'impresa francese sono attrezzati con il sistema di misura del modulo complesso o secante secondo la norma NF EN 12697-26 [15], in compressione diametrale.

Pertanto nell'ambito del monitoraggio di tratti sperimentali, misurazioni di compattazione e di modulo complesso (a 15 °C-10 Hz) o secante (a 15 °C - 0,02 s) sono state realizzate su carote prelevate in-situ. Questa prova è stata recentemente oggetto di una pubblicazione nella Revue générale des routes et des aérodromes (RGRA) [16].

6. Conclusioni

Tutti i conglomerati a tiepido o a basse temperature compresi questi "semi-tiepidi" di nuova concezione (schiumatura di bitume mediante acqua contenuta

nella frazione sabbiosa) rispondono a uno sforzo risultante da concetti progettuali basati su criteri di ecocompatibilità.

La scelta a favore di questi conglomerati trova la sua motivazione sia per ragioni ecologiche che economiche. In effetti, sia il costo energetico (consumo di combustibile d'origine fossile), sia l'impatto ambientale (emissioni di Gas a Effetto Serra, ecc.) dei processi di confezionamento attualmente utilizzati sugli impianti di asfalto possono essere ridotti di circa la

metà evitando con le tecniche innovative un inutile surriscaldamento dei materiali e trattando con accortezza alla temperatura attorno ai 100 °C l'acqua libera e legata.

Questa soluzione necessita però di modifiche, seppur marginali, alle attrezzature industriali che riguardano il sistema di alimentazione e pesatura separate della frazione fina, nonché dovranno predisporre precisi controlli dell'umidità e delle temperature durante il processo produttivo. Le stesse

modifiche dovranno essere realizzate indifferentemente sia sugli impianti continui che su quelli discontinui.

7. Bibliografia

- [1] **G. C. Hurley, B. D. Prowell**, «Evaluation of Aspha-min® zeolite for use in warm mix asphalt» NCAT Report 05-04, National Center for Asphalt Technology, Auburn University, June 2005
- [2] **G. C. Hurley, B. D. Prowell**, «Evaluation of Sasobit® for use in warm mix asphalt» NCAT Report 05-06, National Center for Asphalt Technology, Auburn University, June 2005
- [3] **M. Lecomte, L. Achimastos, C. Leroux**, «Solutions tièdes, un besoin brûlant pour la planète», Revue générale des routes et des aérodromes (RGRA), n° 844, Novembre 2005
- [4] **M. Bonola, L. De Ferrariis**, «Conglomerati a bassa energia. Lo stato dell'arte» Rassegna del Bitume n° 54/06, numero speciale per Asphaltica 2006, Dicembre 2006

- [5] **A. Romier, M. Audéon, J. David, Y. Martineau**, «L'enrobage à basse énergie (EBE) aux performances des enrobés à chaud», RGRA, n° 831, Septembre 2004
- [6] **A. Romier, M. Audéon, J. David, Y. Martineau**, «Low-energy asphalt (LEA) with the performance of hot-mix asphalt (HMA)», European Roads Review, Special Issue, RGRA 2, Février 2004
- [7] **A. Romier, M. Audéon, J. David, Y. Martineau, F. Olard**, «Low-energy asphalt (LEA) with the performance of hot-mix asphalt», TRB Annual Meeting, Washington D.C., January 2006
- [8] **V. Gaudefroy, F. Olard, B. Cazacliu, C. de La Roche, E. Beduneau, J. P. Antoine**, «Laboratory investigations on the mechanical performances of foamed bitumen mixes using half-warm aggregates», TRB Annual Meeting, Washington D.C., January 2007
- [9] **J.-N. Onfield**, «Enrobés à basse température. Du laboratoire au chantier». Route Actualité, n° 148, Décembre 2005
- [10] «Enrobés à basse température (EBT): l'expérience de la communauté de communes de l'est Tourangeau (CCET)», Routes & Services, 1er Décembre 2005
- [11] **F. Olard, C. Le Noan, P. Huon**, «**E.B.T.®: les Enrobés à Basse Température**. Une nouvelle génération d'enrobés dans la gamme des produits routiers Appia», RGRA, n° 846, Février 2006
- [12] **J. Bonvallet**, «Les enrobés sont pluriels», RGRA, n° 799, Octobre 2001
- [13] **Directive 2003/87/CE** del parlamento europeo e del consiglio del 13 ottobre 2003 che stabilisce un sistema di scambio di quote d'emissione di gas a effetto serra nella Comunità e che modifica la direttiva 96/61/CE del Consiglio, Gazzetta ufficiale dell'Unione europea, 25 Ottobre 2003
- [14] **Y. Le Goff**, «Rappel sur les principes de base de la thermodynamique », journée d'information et d'échanges intitulée «Les revêtements bitumineux à basse calorie en milieu urbain», co-organizzato dall'Association des ingénieurs territoriaux de France (AITF), il Club d'échange d'expériences sur les routes départementales d'Ile-de-France et il Réseau scientifique et technique (RST) de l'Equipement (LROP), Parigi, 22 Novembre 2005
- [15] **NF EN 12697-26**, «Mélanges bitumineux – Méthodes d'essai pour mélange hydrocarboné à chaud – Partie 26: Rigidité», Décembre 2004
- [16] **F. Olard, F. Noël, F. Loup**, «Mesure du module en compression diamétrale des enrobés bitumineux au Centre d'études et de recherches (CER) d'Appia», RGRA, n° 844, Novembre 2005 ■

