



SCARTI DI POLIETILENE NELLA COMPOSIZIONE DI MISCELE BITUMINOSE PER MICROTAPPETI A CALDO

Bernardo Celauro

Dipartimento di Ingegneria delle Infrastrutture Viarie
Università degli Studi di Palermo
Viale delle Scienze, 90100 Palermo
Tel: +39 091.488062 - Fax: +39.091.487068
E-mail: celauro@ing.unipa.it

Adriano Di Francisca

Dipartimento di Ingegneria delle Infrastrutture Viarie
Università degli Studi di Palermo
Viale delle Scienze, 90100 Palermo
Tel: +39 091.488062 - Fax: +39.091.487068
E-mail: difradri@katamail.com

Anna Granà

Dipartimento di Ingegneria delle Infrastrutture Viarie
Università degli Studi di Palermo
Viale delle Scienze, 90100 Palermo
Tel: +39 091.488062 - Fax: +39.091.487068
E-mail: annainge@libero.it

SCARTI DI POLIETILENE NELLA COMPOSIZIONE DI MISCELE BITUMINOSE PER MICROTAPPETI A CALDO

BERNARDO CELAURO – Dipartimento di Ingegneria delle Infrastrutture Viarie –
Università di Palermo
ADRIANO DI FRANCISCA – Dipartimento di Ingegneria delle Infrastrutture Viarie –
Università di Palermo
ANNA GRANA' – Dipartimento di Ingegneria delle Infrastrutture Viarie –
Università di Palermo

SOMMARIO

Nell'ambito degli studi sull'impiego produttivo degli scarti di materie plastiche sono presentati i risultati di un'indagine sperimentale su due collaudate miscele bituminose per microtappeti a caldo francesi, additivate con plastiche da scarti industriali (polietilene a bassa densità). Vengono evidenziate le prestazioni meccaniche offerte dalle miscele "additivate" per confronto con analoghe miscele confezionate, sia con solo bitume puro, sia con bitume modificato con polimeri SBS. Inoltre, con riferimento ad una particolare composizione (splittmastixasphalt per tappeti sottili), gli effetti prodotti dal polietilene a bassa densità sono messi a confronto con quelli ottenuti impiegando, come additivo, fibre di cellulosa.

ABSTRACT

This paper explains about productive use of plastic materials from industrial scraps; especially the results of an experimental test on two bituminous mixes for French microsurfacing, worked with addition of plastic materials from industrial scraps (low-density polyethylene) are presented. The mechanical performances of aforesaid mixes are also compared with analogous mixes made by whether only pure bitumen or bitumen improved with SBS polymers. Moreover, with regard to a particular composition (splittmastixasphalt for microsurfacing), the effects of low-density polyethylene are compared with ones improved by cellulose fibres.

1. PREMESSA

I microtappeti a caldo rappresentano una delle più vantaggiose tecniche per la manutenzione degli strati d'usura di pavimentazioni stradali in buono stato strutturale. Essi sono convenientemente utilizzati anche nelle nuove costruzioni, laddove la necessità di ridurre il consumo d'aggregati lapidei di qualità elevata (così come richiesto per gli strati d'usura) porta ad operare una netta separazione tra la funzione strutturante portante e quella di superficie. Ciò permette, infatti, di impiegare strati d'usura di spessore molto modesto, mediamente di 15-20 mm. I microtappeti a caldo garantiscono in opera elevati livelli d'aderenza e di macrorugosità superficiale, sia a breve, sia a lungo termine. Con le miscele a granulometria più fine (0/6 mm) i microtappeti a caldo permettono, inoltre, d'ottenere superfici stradali a bassa emissione acustica, come nel caso dei conglomerati bituminosi drenanti [17].

Oggi si hanno diversi esempi d'applicazione dei microtappeti a caldo. In Italia può farsi riferimento all'esperienza della Società Autostrade S.p.a; in Francia i conglomerati

bituminosi per strati molto sottili (BBTM) sono utilizzati da oltre un decennio, sia nella viabilità ordinaria, sia in quella autostradale.

Sebbene concepite, inizialmente, per assolvere a funzioni prevalentemente strutturali, possono farsi appartenere alla categoria dei microtappeti a caldo [17] anche due particolari famiglie di conglomerati bituminosi previste dalle norme svizzere: i conglomerati macrorugosi MR 6 e MR 11 [7], e gli splittmastixaphalt SMA 6 [6]. La differenza principale di queste ultime tecniche rispetto a quelle appositamente concepite per essere stese in strati molto sottili consiste nel più elevato contenuto di mastice necessario per saturare i vuoti di uno scheletro minerale che, in queste miscele, è costituito per più del 70% in peso da graniglia e da pietrischetto.

Rispetto ai tradizionali tappeti d'usura, le composizioni più utilizzate per la realizzazione dei microtappeti a caldo presentano:

- una più elevata percentuale di granulati (frazione > 2 mm), che può arrivare fino all'80 % del peso totale della miscela;
- una discontinuità nell'assortimento granulometrico, che può essere semplice (nel campo 2/4 o 4/6 mm) o doppia (nei campi 1/2 mm e 4/6 mm);
- impiego di bitumi modificati con polimeri;
- percentuali di bitume corrispondenti al campo degli elevati moduli di ricchezza in legante (come ordine di grandezza, K maggiori di 3,70);

L'elevato dosaggio in bitume ed il particolare assortimento granulometrico di queste miscele rendono necessaria l'aggiunta di speciali additivi addensanti, per strutturare il bitume, in modo anche di evitarne la colatura e garantire così l'omogeneità e la lavorabilità degli impasti bituminosi.

Nello studio, tra i diversi additivi addensanti è stato considerato il polietilene a bassa densità da scarto industriale, già dimostratosi molto efficace per il miglioramento della resistenza all'accumulo di deformazione permanente per fluage di miscele bituminose chiuse, destinate a strati di usura [19].

Per quanto riguarda la composizione delle miscele, inoltre, sono state prese a riferimento formulazioni per microtappeti a caldo ampiamente collaudate su pavimentazioni in esercizio. Nel caso particolare degli splittmastixasphalt, le proprietà addensanti e strutturanti del polietilene sono state messe a confronto con quelle delle fibre di cellulosa, notoriamente utilizzate quali agenti stabilizzanti del legante.

2. IMPIEGO NELLE MISCELE PER MICROTAPPETI A CALDO

La sperimentazione ha riguardato, in particolare, due composizioni di miscele bituminose per tappetini molto sottili riconducibili ai BBTM dei tipi 1 e 2 della Norma francese NF P 198-37; gli assortimenti granulometrici sono riportati nella **Tabella 1** e nella **Figura 1**.

Serie UNI Crivelli e setacci	Passante [%]	
	Tipo 1	Tipo 2
Crivello 15 mm	100	100
Crivello 10 mm	100	58
Crivello 5 mm	29	20
Setaccio 2 mm	29	15
Setaccio 0.4 mm	19	8
Setaccio 0.18 mm	14	6
Setaccio 0.075 mm	8	4

Tabella 1 – Assortimenti granulometrici delle miscele studiate

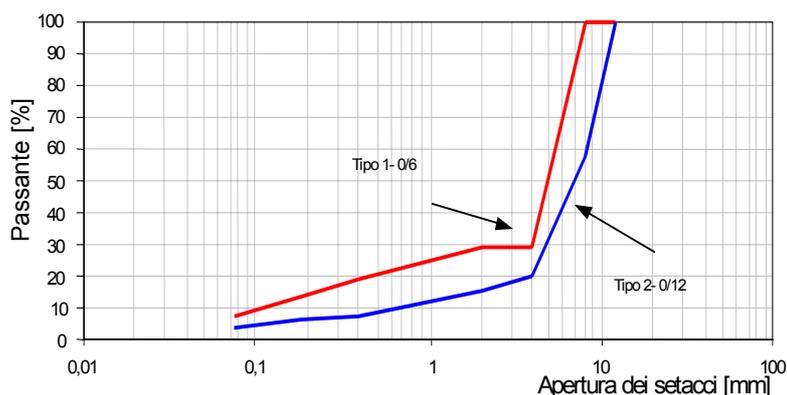


Figura 1 – Rappresentazione delle granulometrie delle miscele studiate

La composizione del microtappeto Tipo 1 presenta una granulometria 0/6 mm, con discontinuità nella frazione 2/4 mm; quella del Tipo 2 ha, invece, un assortimento granulometrico 0/12, più esteso, semidiscontinuo e con un più basso contenuto in sabbia rispetto alla composizione precedente.

L'aggregato lapideo utilizzato per le due miscele, compreso il filler, è della stessa natura ed è costituito dai prodotti di frantumazione di un calcare le cui principali proprietà sono riportate nella **Tabella 2**.

TIPO DI PROVA	NORMA C.N.R.	
Coeff. Los Angeles (C) [%]	N° 34/73	20,6
Indice di appiattimento [%]	N° 95/84	13,70
Vuoti Rigden del filler [%]	N° 122/88	35
Potere rigidificante [°C]	N° 123/88	9

Tabella 2- Caratteristiche fisiche e meccaniche dell'aggregato lapideo

Per il confronto delle prestazioni delle miscele sono stati previsti due diversi tipi di legante (**Tabella 3**):

- un bitume puro, della classe B 60/70, impiegato per il confezionamento della miscela di riferimento, indicata con (B);
- un bitume modificato con SBS-R, a struttura radiale, nelle miscele indicate con BPM.

Le caratteristiche reologiche, da prove classiche, dei due tipi di legante sono date nella **Tabella 3**.

TIPO DI PROVA	Norma CNR	B 60/70	SBS-R
Penetrazione a 10 °C [dmm]	-	-	19
Penetrazione a 25 °C [dmm]	B.U. n. 24/71	67	40
Penetrazione a 40 °C [dmm]	-	-	131
Temperatura PA [°C]	B.U. n. 35/73	47	64
Punto di rottura Fraass [°C]	B.U. n. 43/74	-10	-12
IP (Pfeiffer)		-1	-
I.P. (10°/25°/40°C)		-	+2,51

Tabella 3 – Caratteristiche dei bitumi utilizzati

A partire dai due assortimenti granulometrici, prima presentati, sono state confezionate otto miscele, come specificato nella **Tabella 4**.

Miscela (sigla)	Assortimento granulometrico	Tipo di Bitume	Dosaggio Bitume [%]	Additivo (PEBD)	
				Dosaggio [%]	Pezzatura [mm]
B1	Tipo 1	B 60/70	6,5	-	-
BPM1		SBS-R		-	-
B1A1		B 60/70		1	0/2
B1A2		B 60/70		1	2/4
B2	Tipo 2	B 60/70	5,0	-	-
BPM2		SBS-R		-	-
B2A1		B 60/70		1	0/2
B2A2		B 60/70		1	2/4

Tabella 4 – Quadro di riferimento delle miscele studiate

Per l'additivo plastico (come già detto PEBD, con peso specifico $\gamma_a=0,92 \text{ gr/cm}^3$ e Temperatura di fusione $T_f = 139^\circ\text{C}$) sono state considerate due granulometrie differenti: una granulometria fine (0/2 mm) ed una grossa (2/4 mm). Per il tasso di additivazione in plastica si è considerato, invece, un solo dosaggio (l'1% in peso sugli aggregati) che come visto da precedenti esperienze, si colloca nell'intorno dei valori ottimali per questo genere di miscele [19].

Si fa notare che le caratteristiche dei due tipi di legante utilizzati come pure i loro dosaggi, rispondono alle specifiche richieste dalla norma NF P 98-137 per i tappetini molto sottili francesi (BBTM 1 e 2). Ai valori di dosaggio in bitume considerati corrispondono moduli di ricchezza in legante piuttosto elevati ($K_1=4,00$ e $K_2 =3,60$, rispettivamente, per le miscele Tipo 1 e Tipo 2).

Le conoscenze acquisite per le miscele bituminose con assortimento granulometrico ad elevato contenuto di graniglia, simile a quello per i conglomerati drenanti, hanno fatto ritenere poco significativo lo studio del contenuto ottimale di legante basato sulle metodologie classiche e, principalmente, sulla Marshall [16]; infatti, nell'intorno dei valori di dosaggio in bitume consigliati la stabilità Marshall presenta notevole dispersione. Ciò, in quanto le variazioni di contenuto di legante producono una diversa saturazione dei vuoti intergranulari, senza, tuttavia, comportare variazioni significative nello spessore delle pellicole di legante (dipendente, invece, dalla consistenza del legante) e, quindi, senza incidere sulla resistenza meccanica delle miscele. Tenuto conto di ciò, il criterio di scelta dei dosaggi in legante per le miscele in studio ha preso in considerazione esigenze diverse legate alla posa in opera, alla resistenza all'azione dell'acqua (spogliamento) ed all'invecchiamento.

La valutazione degli effetti prodotti dai due leganti utilizzati e dall'aggiunta degli scarti di polietilene è stata fatta, tuttavia, mediante prove di rottura Marshall e di trazione indiretta a 25°C che, sebbene non interpretabili come nel caso di miscele per strati d'usura tradizionali, rendono comunque conto della capacità delle stesse miscele di contrastare in opera le dislocazioni nello scheletro litico e, quindi, il mantenimento dell'integrità superficiale (macrotestitura in primo luogo).

2.1 I risultati sperimentali

Per ciascuna composizione riportata nella **Tabella 4** sono stati preparati dei provini Marshall in accordo alle modalità di confezionamento previste dalla norma CNR B.U. 30/73.

Nelle miscele additivate con plastiche l'additivo polimerico è stato aggiunto direttamente nella vasca di miscelazione prima del bitume e, quindi, del filler, curando la sua omogenea distribuzione nella miscela.

In **Tabella 5** sono riportati i risultati dello studio Marshall per le miscele bituminose del Tipo 2.

Miscela	S [N]	Vv [%]	s [mm]
B2	6.978	16,60	2,54
BPM2	9.808	17,08	3,72
B2A1	11.124	16,58	3,34
B2A2	9.624	17,50	3,6

Tabella 5 – Risultati della prova Marshall (2x75) per le miscele del Tipo 2

Dall'esame dei dati si evince che le miscele contenenti polietilene nella frazione 0/2 mm (B2A1) offrono resistenze Marshall sensibilmente più elevate, sia rispetto alla miscela di riferimento, sia rispetto a quelle confezionate con bitume modificato (**Figura 2**). La resistenza Marshall delle miscele contenenti polietilene nella frazione 2/4 mm è invece confrontabile con quella ottenuta con l'impiego di bitume modificato (BPM2). Si fa rilevare, inoltre, che le percentuali dei vuoti nelle differenti miscele sono elevate e prossimi a quelli di conglomerati drenanti. La loro bassa dispersione, inoltre, permette confronti ben significativi.

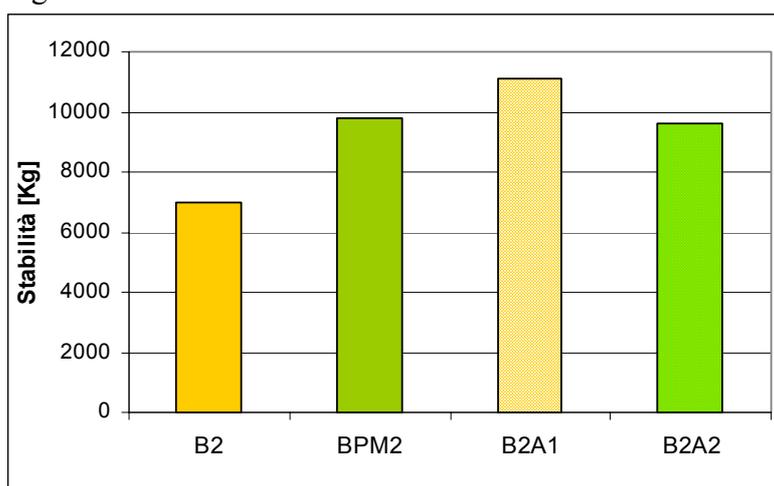


Figura 2 – Stabilità Marshall ottenuta con miscele per microtappeti Tipo 2

Considerazioni analoghe valgono per i risultati Marshall delle miscele del Tipo 1 (**Tabella 6**). Anche in questo caso i più elevati valori di stabilità si ottengono con la miscela contenente scarti di polietilene, di pezzatura minuta; tuttavia, la dimensione dell'additivo polimerico ha qui un'influenza molto modesta. Ciò è dovuto

probabilmente all'elevato modulo di ricchezza in bitume previsto per le miscele in questione ($K=4,00$), cosa che garantisce in ogni caso una completa interazione fisica tra l'additivo polimerico ed il legante.

Questi risultati confermano, peraltro, le conclusioni di studi precedenti dove era già stata evidenziata per le miscele additivate con plastiche l'influenza positiva di moduli di ricchezza in legante elevati [19].

Miscela	S [N]	V _v [%]	s [mm]
B1	9.889	8,32	3,20
BPM1	10.893	8,70	3,72
B1A1	13.178	8,20	2,96
B1A2	13.377	8,20	4,10

Tabella 6 – Risultati della prova Marshall (2x75) per le miscele del Tipo 1

I risultati delle prove di rottura per trazione indiretta (a 25°C) effettuate sulle miscele già oggetto dello studio Marshall, sono presentate in **Tabella 7**.

Le miscele confezionate con bitume modificato offrono valori di resistenza a trazione indiretta di poco maggiori rispetto a quelli ottenuti con le miscele confezionate col solo bitume puro.

Le resistenze a trazione indiretta delle miscele additivate sono, invece, nettamente più alte ed evidenziano anche una forte dipendenza dalla composizione granulometrica. Infatti, mentre con le miscele del Tipo 2 si registrano incrementi di resistenza a trazione del 25% circa, nel caso delle miscele del Tipo 1, a prescindere dalla pezzatura del polietilene utilizzato, si ottengono incrementi di resistenza a trazione anche maggiori del 60%. Ciò conferma ancora una volta l'influenza positiva degli elevati moduli di ricchezza in legante per le miscele additivate con scarti di polietilene.

Miscela Tipo 2	σ_t [kg/cm ²]	V _v [%]	Miscela Tipo 1	σ_t [kg/cm ²]	V _v [%]
B2	9,82	15,58	B1	11,27	8,05
BPM2	11,26	16,41	BPM1	12,42	9,21
B2A1	12,29	17,25	B1A1	17,73	8,87
B2A2	12,54	17,89	B1A2	17,96	8,95

Tabella 7 – Risultati delle prove di trazione indiretta (a 25°C) per i due tipi di miscela

Lo studio sperimentale sulle miscele in questione è stato completato con prove d'impronta, condotte alla temperatura di 60°C, in accordo alla metodologia CNR BU 136/91. I risultati di queste prove sono rappresentati nelle **Figure 4 e 5**.

In questa particolare configurazione di prova, le migliori prestazioni si ottengono con le miscele confezionate con il bitume modificato. Per queste ultime si registrano, infatti, le deformazioni verticali (impronte) più basse. L'additivazione con plastica delle miscele del Tipo 1 darebbe luogo a modesti miglioramenti mentre per quelle del Tipo 2 si avrebbe un peggioramento delle prestazioni rispetto alla miscela di riferimento.

Tuttavia è da evidenziare che la prova d'impronta, concepita inizialmente per la caratterizzazione dei Gussasphalt, si presta ancora per caratterizzare conglomerati densi cioè ricchi in mastici, mentre da più parti è stato osservato che presenta una scarsa affidabilità nel caratterizzare miscele aperte a scheletro litico grossolano come quelle in argomento [11].

Tra l'altro, le differenze osservate tra le diverse miscele risultano confrontabili con la dispersione che generalmente si ha per questo tipo di prova [21].

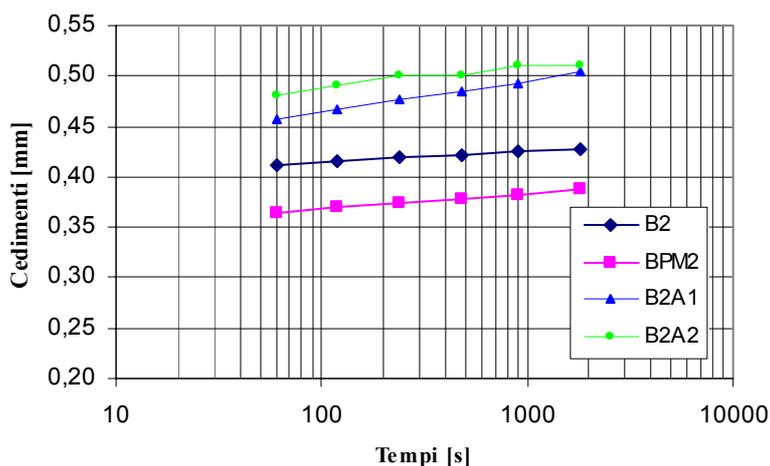


Figura 4- Risultati della prova d'impronta per le miscele Tipo 2

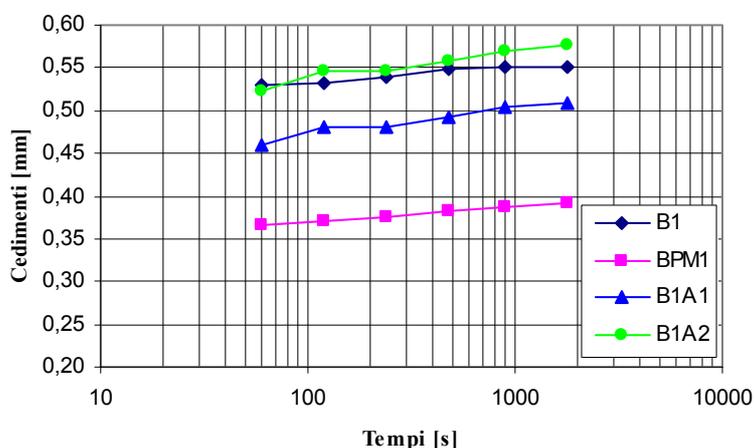


Figura 5- Risultati della prova d'impronta per le miscele Tipo 1

3. LE PLASTICHE DA RICICLO COME ADDITIVO ADDENSANTE

Questa parte della sperimentazione è stata condotta allo scopo di verificare l'effetto strutturante del polietilene nelle miscele bituminose chiuse per strati d'usura, che comportano elevati dosaggi in bitume com'è il caso delle fibre degli Splittmastixasphalt.

Com'è noto, gli splittmastixasphalt sono miscele bituminose a scheletro "pietroso"

composte per oltre il 70 % in peso d'aggregati lapidei con dimensione superiore a 2mm. I vuoti intergranulari sono riempiti da elevate quantità di mastice. Per evitare problemi di colatura, specie durante il trasporto e la posa in opera degli impasti, si richiede che questi siano additivati con un opportuno agente stabilizzante (generalmente fibre), anche quando s'impiegano bitumi duri o modificati con polimeri [12].

Allo scopo, si è assunta a riferimento una classica formula si splittmastixasphalt (SMA 11) così come previsto dalla norma SNV 640 432, valutando gli effetti prodotti dalla presenza o meno dell'additivo polimerico che è stato utilizzato come sostituto delle fibre di cellulosa.

Come componenti delle miscele (bitume, natura degli aggregati lapidei additivo) sono stati considerati gli stessi materiali già utilizzati per i microtappeti. Pertanto, i bitumi, l'aggregato lapideo e le plastiche sono quelli già presentati rispettivamente nelle Tabelle 2 e 3 e nel § 2, mentre l'assortimento granulometrico degli SMA 11 è dato nella **Tabella 8**.

Le caratteristiche fisiche delle fibre di cellulosa sono, invece, presentate nella **Tabella 9**.

Crivelli e Setacci UNI [mm]	Passante [%]
Crivello 15	100
Crivello 10	70
Crivello 5	34
Setaccio 2	24
Setaccio 0,4	14
Setaccio 0,18	12
Setaccio 0,075	10

Tabella 8 - Assortimento granulometrico della miscela SMA 11

Diametro	20-40 μm
Lunghezza	0,9-1,1 mm
Massa volumica apparente	900 Kg/m^3

Tabella 9 - Caratteristiche fisiche delle fibre di cellulosa

3.1 Piano sperimentale

Il piano sperimentale, in questo caso, ha considerato miscele di base confezionate con tre diversi dosaggi in bitume (6,0 – 6,6 – 7,2 %), scelti all'interno dell'intervallo di riferimento assegnato dalla precitata norma svizzera. Per ciascun dosaggio in bitume, oltre alla formulazione base sono state confezionate miscele additate con l'1,0 % (rispetto al peso dell'aggregato lapideo) di PEBD nella pezzatura 0/2 (la granulometria del PEBD era piuttosto uniforme, essendo costituita per circa l'80% d'elementi della dimensione di 1,00 mm). Il confronto è stato effettuato con miscele di pari composizione, additate col 0,3 % di fibre di cellulosa.

Nello stabilire le percentuali d'additivazione in plastica ed in fibre di cellulosa si sono considerati i rapporti d'equivalenza individuati in precedenti studi tra questi due materiali. È stato dimostrato, infatti, che per ottenere uno stesso potere addensante e, quindi, un'eguale capacità di fissaggio del bitume sull'aggregato lapideo occorre tener conto di un rapporto 1 a 3 in peso tra fibre di cellulosa e fibre sintetiche come quelle utilizzate.

Miscela (sigla)	Tipo di Bitume	Dosaggio Bitume [%]	Additivo	
			Fibre di cellulosa [%]	PEBD [%]
B1	B 60/70	6,0	-	-
B2		6,6	-	-
B3		7,2	-	-
B1f		6,0	0,3	-
B2f		6,6	0,3	-
B3f		7,2	0,3	-
B1p		6,0	-	1,0
B2p		6,6	-	1,0
B3p		7,2	-	1,0

Tabella 10 – Composizione delle miscele studiate

La valutazione delle prestazioni meccaniche ha previsto:

- prove di rottura Marshall alla temperatura standard;
- prove di rottura nella configurazione di trazione indiretta a bassa e ad alta temperatura (10°C e 40°C).

3.2 Risultati

Le miscele non additivate, specie quelle con la percentuale di bitume più elevata, hanno manifestato difficoltà nell'impasto a causa della colatura del bitume, che difficilmente veniva fissato dall'aggregato lapideo.

Questa difficoltà di lavorazione spariva in presenza dei due additivi, sia nel caso delle fibre, sia nel caso del polietilene finemente macinato.

I risultati delle prove effettuate sono presentate nelle **Tabelle 11 e 12**.

Riguardo alla percentuale dei vuoti si fa notare che non si hanno scostamenti significativi tra miscele additivate e non e che tutti i valori assunti da questa grandezza si collocano nei limiti d'accettabilità previsti per gli splittmastixasphalt ($V_v = 2 - 4\%$).

Trattandosi di miscele chiuse, la stabilità Marshall, com'era da aspettarsi, decresce al crescere della percentuale di bitume. Le miscele additivate con fibre di cellulosa non evidenziano miglioramenti di prestazione meccanica, ciò che era pure prevedibile dato che questo genere di fibre non svolge un ruolo strutturale e che la loro azione si esaurisce, dopo il raffreddamento dello strato compattato [12]. L'apporto strutturante del polietilene è, invece, evidente. Per le miscele additivate, soprattutto per quelle confezionate con i più elevati dosaggi in bitume si può apprezzare un forte incremento di stabilità. Nonostante l'elevato contenuto in bitume ($K > 4,35$), le miscele additivate con l'1% di scarti di polietilene fanno registrare valori di rigidezza, superiori a 300 Kg/mm.

I risultati delle prove di rottura per trazione indiretta, sia a bassa che ad elevata temperatura, confermano i risultati della prova Marshall (**Tabella 12**). Anche per queste condizioni di prova le miscele additivate con fibre di cellulosa non evidenziano miglioramenti prestazionali rispetto alle miscele con solo bitume. Le miscele additivate con gli scarti di polietilene fanno registrare, invece, valori di resistenza a trazione indiretta che nel caso delle alte temperature d'esercizio (40°C) e dei dosaggi in bitume più elevati superano del 50% circa quelli ottenuti per miscele non additivate.

Alle basse temperature l'incremento delle prestazioni meccaniche raggiunge valori

del 10% circa confermando l'effetto benefico prodotto dall'additivazione dei conglomerati bituminosi.

L'utilizzo delle granulometrie più fini per la plastica d'additivazione oltre ad accrescere le resistenze meccaniche permette di fissare efficacemente un maggior quantitativo di bitume e, quindi, di estendere l'impiego delle plastiche anche ai conglomerati drenanti o ai microtappeti e, comunque, ai conglomerati aperti impiegati negli strati d'usura che per resistere efficacemente all'aggressione atmosferica ed a quella dell'acqua richiedono elevati moduli di ricchezza in bitume.

Miscela	S (Kg)	s (mm)	R (Kg/mm)	V _v (%)
B1	910	3,40	268	3,84
B2	793	3,10	256	3,65
B3	731	3,20	228	3,09
B1f	884	3,2	276	3,21
B2f	819	3	273	2,66
B3f	785	3,2	245	1,93
B1p	1066	3,2	333	3,57
B2p	1033	3,2	323	3,62
B3p	1029	3,4	303	3,00

Tabella 11 – Risultati dello studio Marshall (2x75 colpi)

Miscela	V _v (%)	σ_{40} (Kg/cm ²)	σ_{10} (Kg/cm ²)
B1	3,84	5,39	33,28
B2	3,65	3,87	29,98
B3	3,09	4,02	28,50
B1f	3,21	5,31	32,27
B2f	2,66	3,51	28,49
B3f	1,93	4,21	29,92
B1p	3,57	6,26	34,25
B2p	3,62	5,93	33,31
B3p	3,00	6,29	31,08

Tabella 12 – Risultati dello studio Marshall (2x75)

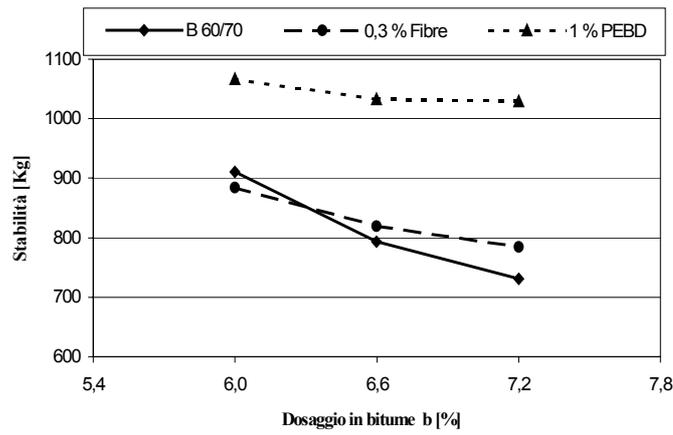


Figura 6- Stabilità Marshall in funzione del tasso in bitume

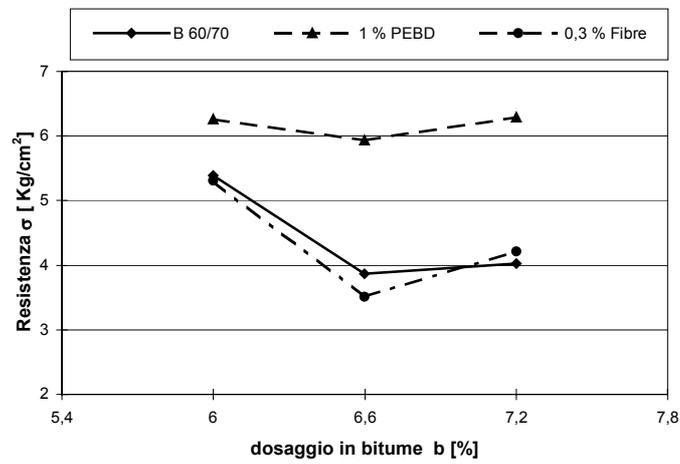


Figura 7- Resistenza a trazione indiretta a 40°C

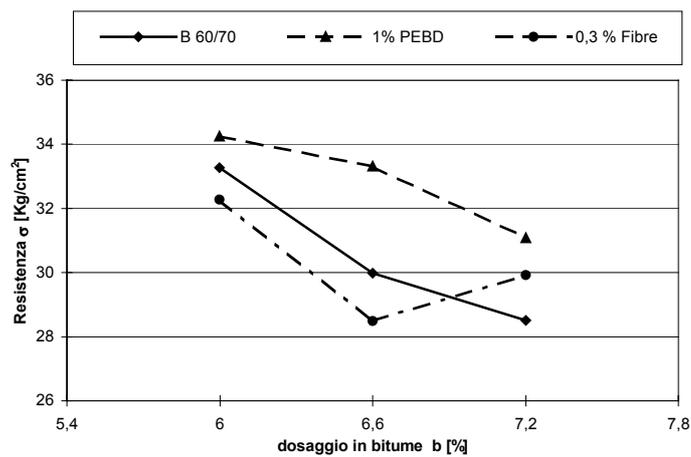


Figura 8- Resistenza a Trazione indiretta a 10°C

4. Considerazioni conclusive

Nella memoria sono presentati i risultati di un'indagine di laboratorio volta a valutare la possibilità di estendere l'utilizzo di scarti di polietilene a bassa densità alla formulazione di miscele bituminose per microtappeti a caldo.

I risultati della sperimentazione hanno evidenziato che l'aggiunta di detto tipo di plastica produce un forte accrescimento della resistenza al fluage e della resistenza a trazione indiretta, sia nel caso di miscele confezionate con solo bitume puro tradizionale, sia di miscele confezionate con bitume modificato con SBS-R a struttura radiale.

Nelle miscele bituminose a scheletro granulare (come gli splittmastixasphalt) l'impiego degli scarti di polietilene permette, inoltre, di risolvere efficacemente il problema della colatura del legante ad alta temperatura (nelle fasi di produzione e di posa in opera delle miscele) come permesso da altri tipi di fibra. In particolare, rispetto alle fibre di cellulosa, che esauriscono la loro azione quando il conglomerato diventa freddo, gli scarti di PEBD offrono il vantaggio di migliorare le prestazioni delle miscele durante l'esercizio della pavimentazione, risultando inoltre insensibili all'azione dell'acqua.

Se a queste considerazioni, di tipo prestazionale ed alla facilità con cui possono essere ottenute in impianto le miscele additivate, si aggiungono il più basso costo degli scarti polimerici rispetto agli altri additivi appositamente prodotti e la possibilità di smaltire in modo produttivo materie prime seconde, si comprende pure il beneficio economico ed ambientale permesso dall'impiego degli scarti di polietilene nei conglomerati bituminosi.

BIBLIOGRAFIA

- [1] A. Montepara, E. Santagata.
Caratterizzazione meccanica di conglomerati bituminosi aperti
Le Strade, marzo/aprile 1993.
- [2] O. Harders
Effect of mortar stabilizers in Splitt-Mastic-Asphalt
5th Eurobitume Congress, Stockholm, 1993.
- [3] Collège des Observateurs de la Direction des routes (1993),
Dossier thématique " Observatoire des techniques des chaussées" -SETRA/LCPC.
- [4] Enrobés hydrocarbonés à chaud
Guide d'application des normes pour le réseau routier
national (partie I e II) 1995, SETRA/LCPC
- [5] Y. Brosseaud
Les solutions d'entretien des coches de surfaces
Panorama technique et économique
RGRA n°742 juillet-Août 1996
- [6] SN 640432 a – Couches de roulement en Splittmastixasphalt - VSS Zurich, 1996
- [7] SN 640435a – Couches de surface en enrobés macrorugueux - VSS Zurich, 1996
- [8] Y. Brosseaud, R. Abadie, R. Legonin
Couches de roulement très minces et ultra-minces en matériaux bitumineux à
chaud. Bilan d'emploi et de comportement
Bull. des Lab. Ponts Chaussées jan-févr. 1997

- [9] Y. BROSSEAUD, J. BELLANGER
Les nouvelles formulations d'enrobés pour couches de roulement: évaluation de leurs caractéristiques de surface.
RGRA n°752 juin 1997
- [10] Quaderno AIPCR del XXIII Convegno Nazionale Stradale - Manutenzione e rafforzamento delle pavimentazioni: innovazioni, sperimentazioni tendenze.
Verona, 18/21 Maggio 1998.
- [11] A. Bucchi, G. Dondi et al.
Microtappeti drenanti con fibre: ottimizzazione con pressa giratoria - Atti del XXIII Convegno Nazionale Stradale Verona, Maggio 1998
- [12] Association Mondiale de la Route (AIPCR), "Emploi des liants bitumineux modifiés, des bitumes spéciaux et des bitumes avec additifs en techniques routières".
Séminaire International BITUMES MODIFIES - Roma, 17/19 juin 1998.
- [13] A. Bucchi, G. Dondi et al.
Microtappeti drenanti: controlli in fase di messa in opera con pressa giratoria - Atti del Convegno Nazionale S.I.I.V. – Adeguamento funzionale e manutenzione delle infrastrutture viarie Milano, Ottobre 1998
- [14] Autostrade s.p.a. Costruzione e Manutenzione delle Pavimentazioni: Norme Tecniche di Appalto Funzione Monitoraggio e Studi per la Manutenzione- Edizione 1998.
- [15] M. Bocci, M. Sparvoli.
Le fibre stabilizzanti negli splittmastix – Confronto prestazionale -Atti del Convegno Nazionale S.I.I.V. – Adeguamento funzionale e manutenzione delle infrastrutture viarie - Milano, Ottobre 1998
- [16] R. M. Recasens, F. P. Jiménez, C. F. Rodríguez
Aplicacion del ensayo BTB de traccion directa al estudio y dosificacion de microaglomerados
10° Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto – Sevilla 1999
- [17] B. Celauro, O. Giuffrè, A. Di Francisca
Tecnica di manutenzione delle pavimentazioni in strati sottili - i microtappeti a caldo - Selezione Tecnica - Settembre 2001
- [18] B. Celauro, O. Giuffrè, A. Di Francisca
Un sistema produttivo per lo smaltimento delle plastiche da scarti: l'impiego nei conglomerati bituminosi
Strade & Autostrade n. 5 - Settembre Ottobre 2001
- [19] B. Celauro, O. Giuffrè, A. Di Francisca
Indagine sperimentale su conglomerati bituminosi per strati di usura additivati con plastiche da scarti.
Strade & Autostrade n. 6 - Novembre Dicembre 2001
- [20] Criteri di formulazione di miscele bituminose per Splittmastixasphalt
"indagine sperimentale sulla ripetibilità della prova d'impronta" – Tesi di Laurea di: Cataldo La Marca – Palermo, Novembre 2001