



**UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE**  
Dipartimento ICEA – Sezione Infrastrutture

Progetto di Ricerca 2010/2011:

**Valutazione delle Prestazioni e Sviluppo di  
Geomembrane Bituminose Rinforzate con  
Fibra di Vetro per Applicazioni Stradali**

## **Sintesi Rapporto Finale**

Committente: **INDEX S.p.A.**

Responsabile: **Prof. Ing. Francesco Canestrari**  
Ordinario di Strade, Ferrovie e Aeroporti  
Università Politecnica delle Marche

---

Ancona, 03 gennaio 2012

## Indice

<u>Premessa</u> .....	<u>3</u>
<u>1. Definizione del problema</u> .....	<u>4</u>
<u>2. Sintesi del programma sperimentale</u> .....	<u>7</u>
<u>3. Presentazione dei principali risultati sperimentali</u> .....	<u>12</u>
3.1 NATURA DELLA MESCOLA BITUMINOSA DELLA GEOMEMBRANA.....	12
3.2 RETE DI RINFORZO.....	14
3.3 MESCOLA AUTO-TERMO-ADESIVA .....	17
3.4 ANALISI AGGREGATA DEI RISULTATI.....	19
<u>4. Conclusioni</u> .....	<u>22</u>



## Premessa

Il presente documento contiene la sintesi dei principali risultati conseguiti nel corso di una sperimentazione svolta nell'ambito di una convenzione di ricerca stipulata tra la società Index S.p.A. ed il Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Architettura (ICEA) dell'Università Politecnica delle Marche.

Il responsabile scientifico del progetto di ricerca è il prof. Francesco Canestrari Ordinario nel SSD ICAR/04 (Strade, Ferrovie e Aeroporti), titolare dei corsi di Progetto di Strade e di Gestione e Manutenzione delle Pavimentazioni Stradali nella Facoltà di Ingegneria dell'Università Politecnica delle Marche.

Il principale obiettivo della sperimentazione è consistito nella valutazione e sviluppo di una geomembrana rinforzata con rete in fibra di vetro allo scopo di esaltare le prestazioni a taglio e a flessione di sistemi bituminosi bistrato.

Ai fini della quantificazione del beneficio derivante dall'utilizzo di tali sistemi di rinforzo è richiesta, infatti, la valutazione congiunta della capacità di garantire una adeguata resistenza nei confronti della fessurazione di riflessione e delle sollecitazioni di trazione indotte per flessione nella sovrastruttura, abbinata alla verifica del mantenimento di adeguati livelli di continuità a taglio all'interfaccia.

A tale proposito, nel presente documento di sintesi vengono riassunti i contenuti consultabili in forma dettagliata nel Rapporto Finale di Ricerca, al fine di rendere immediatamente accessibili i principali risultati conseguiti nel corso del primo anno di sperimentazione.

In particolare, nel primo paragrafo viene definito il contesto legato al risanamento della portanza di pavimentazioni stradali esistenti nell'ambito del quale si colloca il progetto di ricerca in oggetto.

Nel secondo paragrafo si riassumono le attività di ricerca svolte fornendo una breve descrizione delle apparecchiature e delle metodologie di analisi dei dati sperimentali ottenuti.

I principali risultati conseguiti sono illustrati nel terzo paragrafo in cui si richiamano alcuni grafici e tabelle significativi a supporto delle evidenze sperimentali emerse che hanno consentito di ottenere **precisi orientamenti per la produzione di geocompositi ottimizzati**.

Sulla base di tali indicazioni nel quarto paragrafo sono elencate le conclusioni maturate al termine del progetto di ricerca in oggetto.



# 1. Definizione del problema

Il problema della manutenzione del patrimonio viario esistente sta assumendo progressivamente maggiore rilievo in considerazione della crescente domanda di trasporto su strada che si accompagna ad un inevitabile processo di degrado delle infrastrutture stradali.

Considerata l'evoluzione incontrollata del fenomeno e gli effetti che ne derivano in termini di sicurezza oltre che di qualità dell'offerta di trasporto, il problema di garantire soluzioni ottimali da un punto di vista tecnico-economico, volte al ripristino delle caratteristiche funzionali delle pavimentazioni stradali, ha recentemente assunto la portata di una vera e propria emergenza a livello internazionale nel settore dell'ingegneria delle infrastrutture viarie.

In tale contesto, il ripristino della portanza nelle sovrastrutture stradali esistenti rappresenta la più diffusa causa di intervento a tutti i livelli, dalle autostrade alla viabilità di minore importanza gestita da enti locali.

L'esigenza di ottimizzare i costi di intervento, abbinata alle difficoltà che di norma si incontrano nella rimozione completa delle sovrastrutture ed alla necessità di non violare le quote esistenti del piano viabile, hanno determinato nel tempo crescente interesse e consenso nei riguardi della applicazione di sistemi di rinforzo sotto forma di geosintetici di varia natura.

La varietà delle soluzioni disponibili in termini di geometria (forma e dimensioni), materiali e tecniche costruttive, ha avuto ripercussioni non sempre positive da un punto di vista applicativo poiché spesso l'assenza di un know-how tecnico-scientifico ha determinato il non corretto impiego dei prodotti. Non è un caso, infatti, che a livello europeo sia stato attivato uno specifico progetto di ricerca riguardante il rinforzo delle pavimentazioni stradali con reti metalliche e geosintetici (COST 348), il cui principale obiettivo consiste nel raggiungere un adeguato livello di conoscenze necessarie per la corretta scelta dei materiali, la definizione di appropriati criteri di dimensionamento e l'individuazione di efficaci metodi di misura per la verifica delle prestazioni.

Numerose sono, inoltre, le iniziative nel settore stradale che a livello internazionale (es. RILEM TC 237-SIB/TG4) vedono impegnati in attività sperimentali ricercatori di molti Paesi allo scopo di fornire, in chiave scientifica, risposte in termini applicativi riguardanti le potenzialità ed i benefici derivanti dalla installazione di elementi di rinforzo nelle pavimentazioni.

Nell'ambito dell'ampia varietà di geosintetici presenti sul mercato, **i geocompositi ottenuti dalla combinazione di geomembrane e geogriglie rappresentano delle opzioni promettenti per il "rinforzo" di pavimentazioni stradali flessibili.**



Le *geomembrane*, infatti, garantiscono l'impermeabilizzazione della superficie sulla quale vengono installate preservando gli strati sottostanti da infiltrazioni di acqua ed inibendo, al contempo, il cosiddetto "effetto pumping", cioè la risalita in superficie di acqua e particelle fini provenienti dagli strati non legati profondi in combinazione con la spinta esercitata dal passaggio dei carichi veicolari (figura 1.1).

Le geomembrane, inoltre, se confezionate con materiali di caratteristiche opportune, svolgono anche una funzione di interstrato di assorbimento delle tensioni (*Stress-Absorbing Interlayer*) conferendo alle pavimentazioni maggiori caratteristiche di resistenza e durabilità. Tale incremento di prestazione è principalmente riconducibile alla riduzione per rilassamento degli sforzi parassiti che si generano all'interfaccia fra due strati di conglomerato bituminoso a causa di movimenti differenziali degli strati stessi responsabili dell'innescio di fessure di riflessione o di fessurazioni termiche.

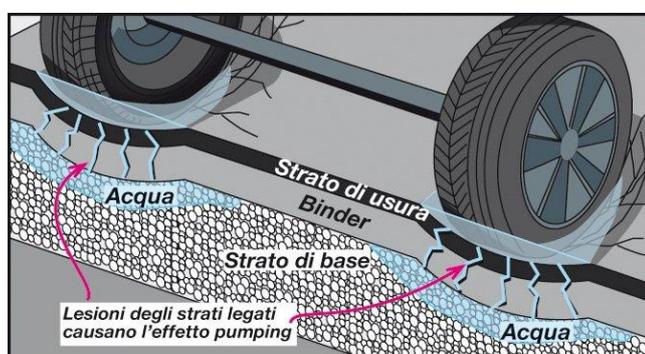


Figura 1.1 – Effetto "Pumping"

Le *geogriglie*, da parte loro, conferiscono al materiale geocomposito un sensibile incremento delle proprietà meccaniche di trazione svolgendo, all'interno della pavimentazione, la funzione di rinforzo vero a proprio incrementandone la vita utile. Un sistema di rinforzo, infatti, se propriamente selezionato ed installato, permette di contribuire all'assorbimento delle tensioni e delle deformazioni che si creano all'interno della sovrastruttura stradale per effetto dei carichi dovuti al traffico ed alle azioni termiche migliorando le proprietà meccaniche della pavimentazione stessa in termini, principalmente, di resistenza alla fessurazione e all'accumulo di deformazioni permanenti (figura 1.2).

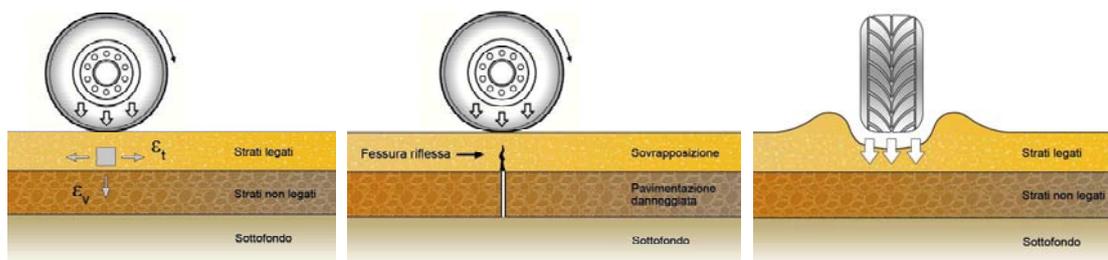


Figura 1.2 – Principali meccanismi di dissesto nelle pavimentazioni flessibili

Sulla base di quanto premesso, nell'ambito del progetto di ricerca in oggetto il principale obiettivo è consistito nell'ottimizzare la composizione di geocompositi, ottenuti dalla combinazione di geomembrane e geogriglie, attraverso l'analisi di sistemi bituminosi bistrato, preparati con tradizionali conglomerati bituminosi chiusi per strati di usura e/o per strati di collegamento (binder), caratterizzati dalla presenza di diversi tipi di interfaccia.

Lo sforzo derivante da tali attività risulta giustificato dalla ragionevole certezza che, come accennato in precedenza, attraverso il corretto impiego di sistemi di rinforzo si possa ottenere una riduzione dei costi grazie al prolungamento della vita utile delle pavimentazioni stradali.

Nel seguito si riporta una sintesi dei principali risultati ottenuti nel corso degli studi effettuati rimandando al Rapporto di Ricerca Finale per maggiori dettagli ed approfondimenti in merito a modalità di prova, preparazione dei campioni, materiali utilizzati, programma sperimentale, tecniche di analisi dei dati, commenti approfonditi ai risultati, prospettive future di ricerca.



## 2. Sintesi del programma sperimentale

Come già anticipato, per il confezionamento dei campioni da testare in laboratorio sono stati utilizzati dei tradizionali conglomerati bituminosi chiusi per strati di usura e/o per strati di binder, contraddistinti da assortimento granulometrico e contenuto di bitume paragonabile.

La realizzazione dei sistemi bistrato ha previsto l'utilizzo di una apparecchiatura denominata Roller Compactor per la preparazione di piastre bituminose aventi dimensioni in pianta pari a  $300 \times 300 \text{ mm}^2$  ed altezza variabile. Tale strumentazione di laboratorio, conforme alla normativa UNI EN 12697-33, è in grado di simulare le operazioni di compattazione effettivamente eseguite in sito.

In particolare, dopo la realizzazione del primo strato dello spessore di 30 mm è stata effettuata la preparazione dell'interfaccia mediante applicazione, se prevista, di materiale bituminoso (mano d'attacco) con funzione adesiva e, successivamente, dello specifico geocomposito da testare. La piastra bistrato è stata, quindi, completata mediante la compattazione dello strato superiore di spessore pari a 450 mm. Dalle piastre così confezionate si sono, infine, ricavati dei provini cilindrici ( $\varnothing = 95 \text{ mm}$ ) per prove di taglio all'interfaccia, oppure prismatici ( $305 \times 90 \times 75 \text{ mm}^3$ ) per prove di tipo flessionale.



Figura 2.1 – Roller Compactor

Nel caso specifico, la combinazione di 8 differenti geocompositi (ottenuti variando la natura della miscela della geomembrana, oltre alla tipologia e posizione del rinforzo – figura 2.2) con 4 differenti trattamenti della superficie di posa del geosintetico (nessuna mano d'attacco, emulsione bituminosa modificata, primer bituminoso di speciale formulazione con 2 diversi tempi di maturazione) hanno portato complessivamente allo studio in laboratorio di 18 *diverse configurazioni di prova*.

Parallelamente sono stati analizzati, a titolo di confronto con i risultati ottenuti dagli studi di laboratorio presentati nel presente documento, anche dei campioni realizzati in sito con configurazioni simili.

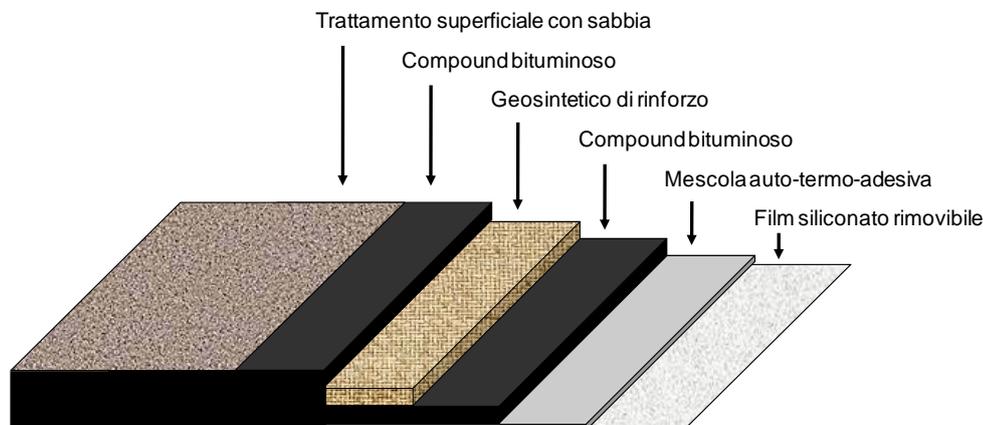


Figura 2.2 – Schema esemplificativo della composizione di un geocomposito

Per quanto riguarda i *protocolli sperimentali*, nel corso dell'indagine di laboratorio sono state adottate tre diverse tipologie di prova:

- *Prova di taglio ASTRA (Ancona Shear Testing Research and Analysis)*, conforme alla normativa UNI/TS 11214, per la valutazione della resistenza a taglio di interfacce bituminose (figura 2.3);
- *Prova statica di flessione su 3 punti 3PB (3-Point Bending test)*, per la determinazione della resistenza flessionale dei sistemi bistrato rinforzati (figura 2.4);
- *Prova dinamica di flessione su 4 punti 4PB (4-Point Bending test)*, per la determinazione della resistenza ai carichi ciclici dei sistemi bistrato rinforzati (figura 2.5).

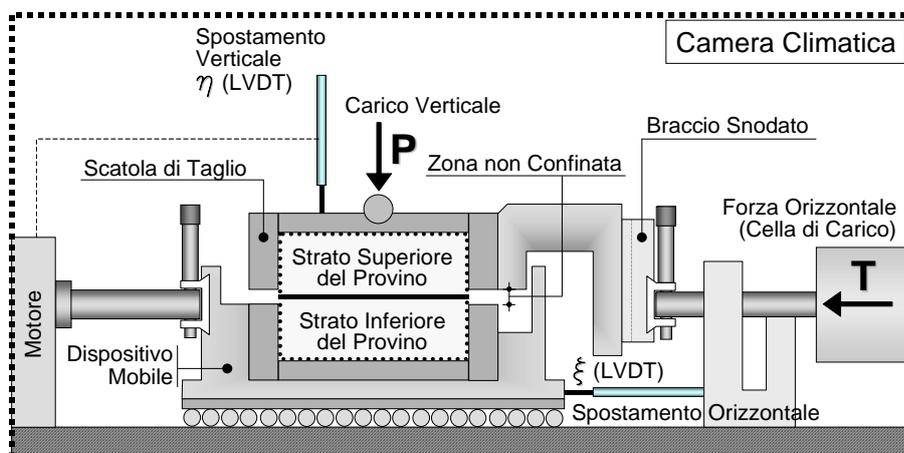


Figura 2.3 – Prova di taglio diretto ASTRA



Figura 2.4 – Prova statica di flessione 3PB



Figura 2.5 – Prova dinamica flessionale 4PB

L'apparecchiatura ASTRA (figura 2.3) consiste in una scatola di taglio diretto che presenta delle analogie con lo strumento usualmente utilizzato nell'ambito della meccanica dei terreni.

Il provino bituminoso bistrato cilindrico è posizionato all'interno di due semiscatole separate da una zona non confinata nella quale risiede l'interfaccia del provino. Durante la prova, una semiscatola trasla a velocità costante pari a 2.5 mm/min, con la contestuale applicazione di un prefissato sforzo in direzione normale al piano in cui giace l'interfaccia, mentre l'altra semiscatola rimane fissa. Il sistema di acquisizione permette di misurare gli spostamenti verticali ed orizzontali nonché di ricavare lo sforzo di taglio all'interfaccia  $\tau$  durante l'esecuzione della prova.

La prova statica di flessione 3PB (figura 2.4) consiste nel posizionare un provino prismatico all'interno di un apposito telaio di carico attraverso il quale trasmettere una sollecitazione flessionale mediante l'applicazione di uno spostamento costante pari a 50.8 mm/min.

Attraverso la misurazione del carico e dello spostamento in mezzeria è possibile ricavare valori caratteristici di seguito elencati attraverso i quali analizzare le prestazioni dei sistemi testati:

- *carico massimo*  $P_{max}$ , raggiunto in corrispondenza dello spostamento  $\delta$  (figura 2.6-sx), situazione che rappresenta il momento in cui avviene la fessurazione alla base del provino;
- *energia dissipata per la fessurazione*  $D$ , cioè l'area sottesa alla curva carico-spostamento fino al raggiungimento di  $P_{max}$  e quindi della fessurazione (figura 2.6-sx);
- *energia complessiva di rottura*  $T$ , cioè l'area sottesa dall'intera curva carico-spostamento fino alla rottura completa del provino (figura 2.6-dx).

Da quanto premesso si evince come l'energia dissipata  $D$  tenga conto principalmente della *resistenza all'innescio della fessurazione*, mentre la tenacità  $T$  fornisca una attendibile indicazione riguardante la *resistenza alla propagazione della fessurazione* e, quindi, la *duttilità del sistema*.

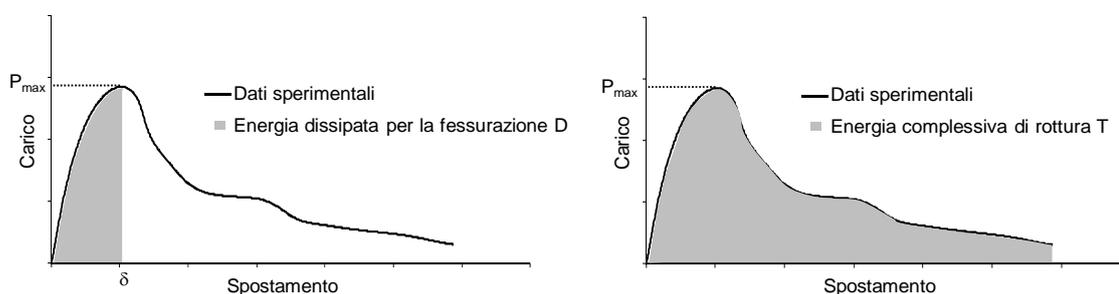


Figura 2.6 – Analisi dei risultati prova statica 3PB

La prova dinamica di flessione 4PB (figura 2.5) consiste nell'applicazione di sollecitazioni dinamiche in controllo di carico attraverso una sollecitazione di tipo sinusoidale di frequenza pari ad 1 Hz.

Lo studio dell'evoluzione nel tempo della deformazione verticale permanente in mezzeria permette di risalire alla resistenza dei sistemi rinforzati nei confronti dei carichi ciclici. In particolare, viene definita una rottura convenzionale del sistema bistrato corrispondentemente al punto di flesso della curva carico-spostamento. Tale punto è determinato analiticamente mediante l'impiego di un modello matematico capace di interpolare i dati sperimentali misurati nel corso della prova (figura 2.7). Per ipotesi si assume che tale punto di flesso corrisponda convenzionalmente all'inizio della fase di propagazione delle fessure che conduce, col susseguirsi dei carichi, alla completa rottura del provino.

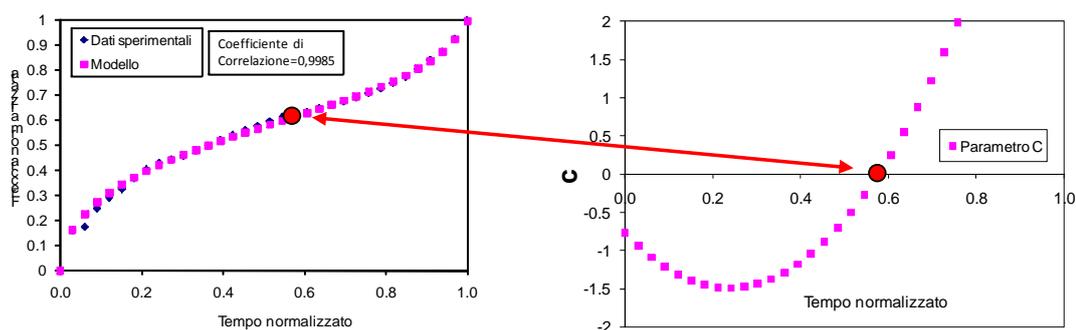


Figura 2.7 – Analisi dei risultati prova dinamica 4PB

Sulla base di quanto premesso è possibile affermare che le variabili analizzate durante lo studio in oggetto hanno consentito, in definitiva, di investigare l'influenza attribuibile alla diversa tipologia di interfaccia (al variare delle caratteristiche fisiche, geometriche e dimensionali del geocomposito e/o della modalità di posa in opera) sul comportamento flessionale e a taglio del sistema bituminoso bistrato attraverso l'impiego di specifici protocolli di prova.

Il beneficio derivante dall'utilizzo di sistemi di rinforzo richiede, infatti, la valutazione congiunta della capacità di garantire una adeguata resistenza nei confronti della fessurazione di riflessione e delle sollecitazioni di trazione indotte per flessione nella sovrastruttura, abbinata alla verifica del mantenimento di adeguati livelli di continuità a taglio all'interfaccia.

### 3. Presentazione dei principali risultati sperimentali

Nel presente paragrafo vengono illustrati i principali risultati conseguiti nel corso della sperimentazione di laboratorio svolta nell'ambito del progetto di ricerca in oggetto.

In particolare, nel seguito sono riportate (suddivise per argomenti) le principali evidenze sperimentali che hanno permesso di ottenere precisi orientamenti per la produzione di geocompositi ottimizzati.

#### 3.1 NATURA DELLA MESCOLA BITUMINOSA DELLA GEOMEMBRANA

I risultati sperimentali ottenuti nella prima parte del programma di ricerca in oggetto hanno permesso di evidenziare chiaramente come un geocomposito realizzato con una mescola bituminosa modificata con polimeri elastomerici sintetici di tipo SBS (Stirene-Butadiene-Stirene) **garantisca prestazioni decisamente superiori**, sia in termini resistenza a taglio all'interfaccia che di resistenza a carichi di tipo flessionale, rispetto ad un materiale analogo modificato con polimeri plastomerici di tipo APP (PoliPropilene Atattico).

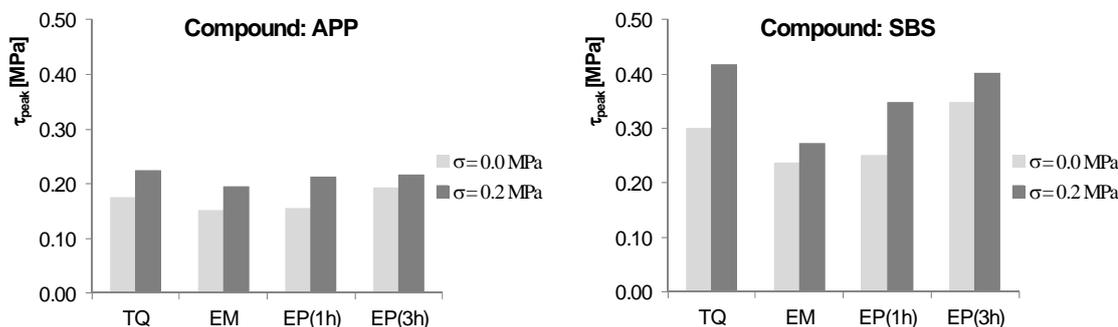


Figura 3.1 – Risultati prova ASTRA: influenza della natura del compound

A tale proposito, la figura 3.1 sintetizza i risultati ottenuti tramite prova di taglio diretto ASTRA eseguita su 2 sistemi bistrato rinforzati con 2 geocompositi analoghi la cui unica differenza risiede nella natura della mescola del compound (plastomerica APP in un caso ed elastomerica SBS nell'altro).

In particolare, gli istogrammi riportati in figura 3.1 esprimono il massimo sforzo di taglio all'interfaccia (resistenza di picco  $\tau_{peak}$ ) ottenuta applicando due diversi livelli di sforzo normale ( $\sigma = 0.0 - 0.2$  MPa) al variare delle condizioni della superficie di posa del geocomposito:

- TQ = tal quale;
- EM = emulsione bituminosa modificata;
- EP(1h) = primer bituminoso elastomerico con 1 ora di maturazione;

- EP(3h) = primer bituminoso elastomerico con 3 ore di maturazione.

È opportuno sottolineare, inoltre, come i risultati delle prove di taglio diretto ASTRA, ottenuti sui provini di laboratorio, siano stati confermati anche dalle prove effettuate su carote prelevate in sito da tronchi pilota, realizzati con i medesimi geocompositi.

Analogamente, la tabella 3.1 e la figura 3.2 illustrano le migliori prestazioni a flessione, ottenute mediante prova statica 3PB, del sistema rinforzato con geocomposito SBS, rispetto alla corrispondente configurazione in cui si è utilizzato il compound modificato con plastomeri APP, a conferma dei risultati ottenuti dalle prove di taglio.

Come è possibile osservare, infatti, il sistema rinforzato con geocomposito SBS ha mostrato non solo maggiori prestazioni pre-fessurative (carico di rottura  $P_{max}$  ed energia dissipata D), ma anche maggiore resistenza alla propagazione delle fessure tradotta da più elevati valori di duttilità (energia dissipata a rottura T).

Natura del compound	$P_{max}$ kN	$\delta$ mm	D Nxm	T Nxm
APP	4.10	2.61	7.24	17.14
SBS	4.45	2.63	7.99	20.59

Tabella 3.1 – Risultati prova statica 3PB: influenza della natura del compound

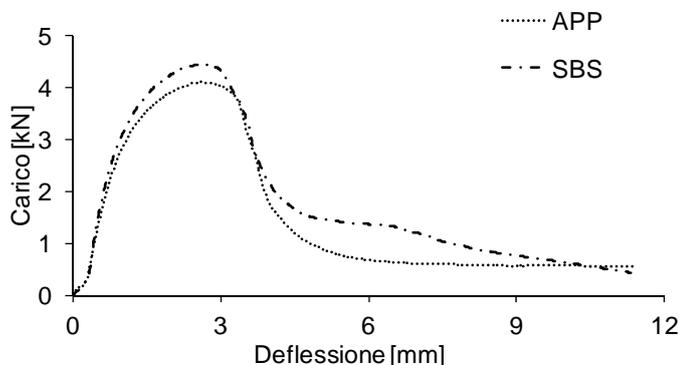


Figura 3.2 – Risultati prova statica 3PB: influenza della natura del compound

### 3.2 RETE DI RINFORZO

Occorre premettere che le prove ASTRA all'interfaccia non hanno evidenziato particolare influenza della rete di rinforzo (natura e posizione) inserita all'interno della geomembrana sulle prestazioni a taglio dell'interfaccia rinforzata.

Tale risultato è da ritenere attendibile in quanto (come evidenziato al §3.1) è ragionevole pensare che siano molto più influenti, in termini di resistenza a taglio, le caratteristiche della geomembrana che risulta a diretto contatto, inferiormente e superiormente, con i due strati di conglomerato bituminoso che danno origine all'intero sistema all'interfaccia.

Le prove ASTRA sono state comunque programmate poiché un'influenza del geosintetico inserito all'interno della membrana si sarebbe potuta evidenziare qualora la rottura si fosse verificata all'interno della membrana stessa, proprio in corrispondenza del rinforzo e non, come effettivamente osservato nel corso della sperimentazione, all'interfaccia fra membrana e conglomerato bituminoso.

D'altra parte, le prove flessionali 3PB e 4PB hanno permesso di evidenziare in maniera più marcata la funzione di rinforzo del geosintetico.

In particolare, dai dati riportati in tabella 3.2 e figura 3.3 emerge chiaramente il ruolo svolto dal rinforzo nei sistemi bituminosi bistrato. Rispetto alla configurazione di riferimento non rinforzata EM, infatti, i sistemi rinforzati restituiscono resistenze di picco lievemente inferiori ma, contestualmente, valori di energia dissipata per l'inizio della fessurazione D e per la propagazione delle fessure fino al collasso T decisamente superiori.

Denominazione	Maglia rinforzo	Posizione rinforzo	$P_{max}$ kN	$\delta$ mm	D Nxm	T Nxm
EM	No geocomposito	-	5.40	1.99	6.15	13.40
PR5.0	5 x 5 mm <sup>2</sup>	Superiore	5.33	1.90	6.49	20.27
PR12.5	12.5 x 12.5 mm <sup>2</sup>	Superiore	4.74	2.52	8.02	27.19
PR12.5inf	12.5 x 12.5 mm <sup>2</sup>	Inferiore	4.91	2.65	8.53	27.11

Tabella 3.2 – Risultati prova statica 3PB: influenza del rinforzo

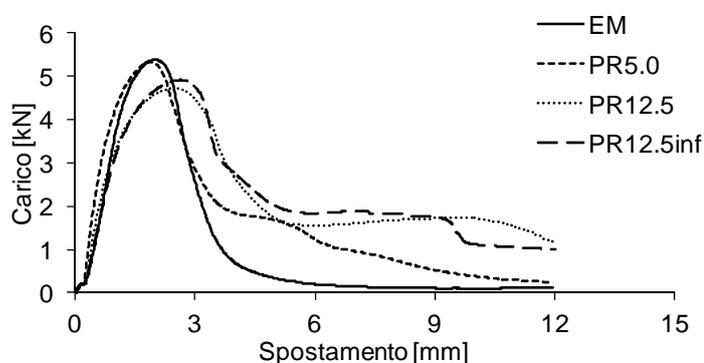


Figura 3.3 – Risultati prova statica 3PB: influenza del rinforzo



È opportuno sottolineare, inoltre, come una maggiore tenacità  $T$  sia assolutamente da preferire rispetto alle prestazioni pre-fessurative perché tale caratteristica indica una resistenza migliorata alla propagazione delle fessure e, quindi, una maggiore duttilità del sistema che arriverà al collasso in maniera ritardata. Occorre inoltre segnalare che, nel caso di impiego di geocompositi per il risanamento e/o miglioramento strutturale di pavimentazioni esistenti, la fase pre-fessurativa possa essere considerata cautelativamente assente in considerazione della potenziale presenza di fessure superficiali al di sopra delle quali verrà realizzata l'interfaccia rinforzata.

Da una lettura più approfondita dei risultati riportati in tabella 3.2 e figura 3.3, inoltre, si evince come la rete con apertura delle maglie pari a  $12.5 \times 12.5 \text{ mm}^2$  sia da preferire rispetto all'analogo rinforzo dotato di maglie più piccole ( $5 \times 5 \text{ mm}^2$ ).

Si sottolinea, inoltre, come le gerarchie appena evidenziate siano confermate dall'analisi dei dati delle prove dinamiche di flessione 4PB. Dai risultati sperimentali sintetizzati nell'istogramma di figura 3.4 è possibile notare, a titolo di esempio, la differenza di resistenza ai carichi ripetuti dei diversi sistemi analizzati in termini di numero di cicli a rottura convenzionale (punto di flesso) per prove sinusoidali dinamiche con ampiezza di carico pari a 1,6 kN.

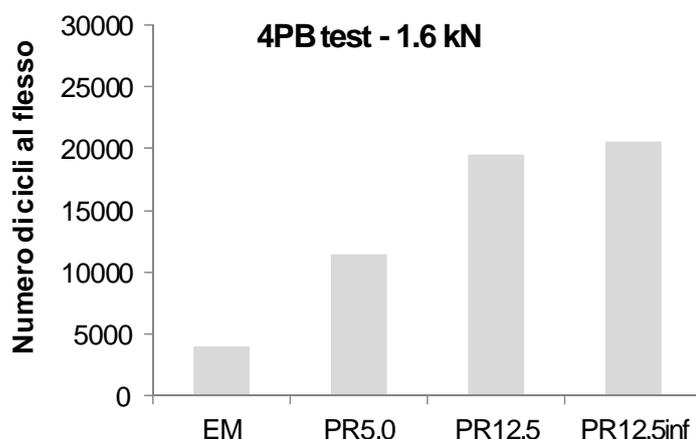


Figura 3.4 – Risultati prova dinamica 4PB: influenza del rinforzo

Se si analizza, infine, l'influenza che la posizione della rete (in prossimità della faccia superiore o inferiore della geomembrana) esercita sulle prestazioni meccaniche dell'interfaccia rinforzata, si nota come questa variabile non modifichi in maniera sostanziale il comportamento flessionale delle configurazioni studiate, siano esse caratterizzate o meno dalla presenza di primer bituminoso come agente legante all'interfaccia (tabella 3.3, figura 3.5, figura 3.6).

In ogni caso, appare comunque evidente una prevalenza in termini di prestazioni globali del geocomposito realizzato posizionando la rete di rinforzo in corrispondenza della faccia inferiore.

Denominazione	Interfaccia	Posizione rinforzo	$P_{max}$	$\delta$	D	T
			kN	mm	Nxm	Nxm
12.5	No agente legante	Superiore	5.13	2.39	7.97	26.76
12.5inf	No agente legante	Inferiore	5.17	2.64	9.10	29.36
PR12.5	Primer (3h)	Superiore	4.74	2.52	8.02	27.19
PR12.5inf	Primer (3h)	Inferiore	4.91	2.65	8.53	27.11

Tabella 3.3 – Risultati prova statica 3PB: influenza della posizione del rinforzo

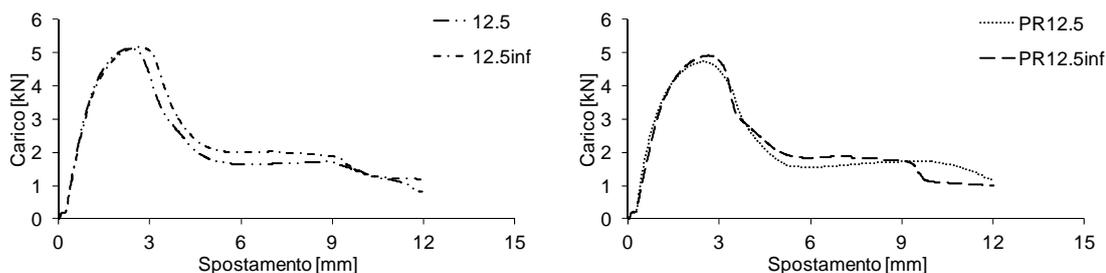


Figura 3.5 – Risultati prova statica 3PB: influenza della posizione del rinforzo

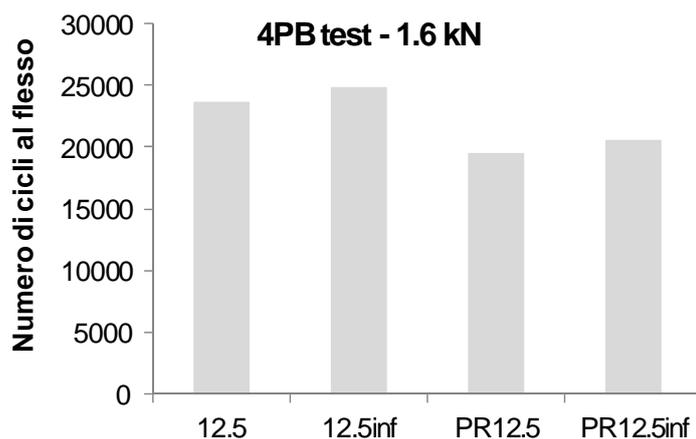


Figura 3.6 – Risultati prova dinamica 4PB: influenza della posizione del rinforzo

### 3.3 *MESCOLA AUTO-TERMO-ADESIVA*

Un ultimo aspetto emerso dagli studi sperimentali in oggetto, sul quale è opportuno porre particolare attenzione per i proficui risvolti pratici che esso comporta, riguarda le prestazioni della miscela auto-termo-adesiva, realizzata con bitume modificato con SBS ed applicata sulla faccia inferiore dei geocompositi testati.

Difatti, tutte le prove di taglio ASTRA effettuate hanno dimostrato efficacemente come l'applicazione di un agente legante all'interfaccia (mano d'attacco), operazione usualmente richiesta nella costruzione delle strade, sia in questo caso da ritenere superflua in quanto potrebbe inibire le ottime proprietà adesive della faccia inferiore del geocomposito, andando ad inficiare la resistenza a taglio all'interfaccia del sistema rinforzato (v. figura 3.1).

Quanto appena evidenziato trova, inoltre, riscontro anche nei risultati sperimentali ottenuti nel corso delle prove flessionali statiche (3PB) e dinamiche (4PB). Durante tali test, infatti, è stato possibile confrontare interfacce senza applicazione di mano d'attacco con interfacce analoghe caratterizzate dalla presenza di primer bituminoso appositamente formulato.

È opportuno rimarcare, inoltre, come tale agente legante sia stato lasciato maturare per 3 ore (tempo sicuramente eccessivo rispetto alle usuali operazioni di costruzione della sovrastruttura stradale) prima della successiva applicazione del geocomposito e dello strato superiore di conglomerato bituminoso.

Come è possibile notare dai dati riportati in tabella 3.3 e nelle figure 3.7 e 3.8, nonostante l'elevato tempo di maturazione concesso al primer bituminoso, i sistemi dove è stato impiegato tale agente modificante hanno mostrato prestazioni identiche od inferiori rispetto agli analoghi sistemi rinforzati senza alcuna mano d'attacco.

Tali evidenze sperimentali, quindi, si traducono, all'atto pratico della messa in opera di tali materiali, in un cospicuo risparmio economico e temporale ottenuto grazie alla possibilità di non applicare una mano d'attacco all'interfaccia prima del posizionamento del geocomposito e della realizzazione dello strato bituminoso superiore.

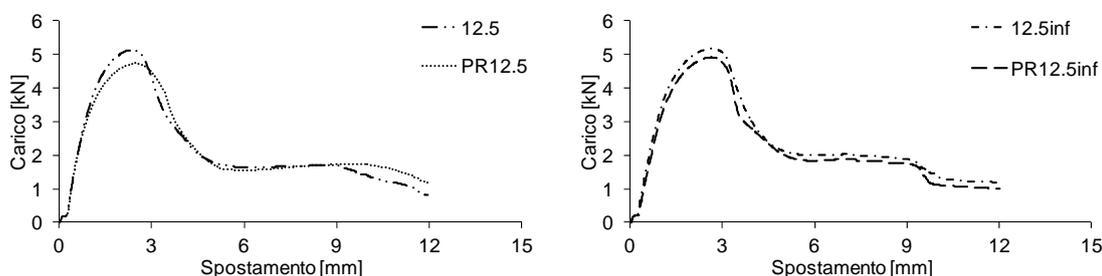


Figura 3.7 – Risultati prova statica 3PB: influenza delle condizioni all'interfaccia



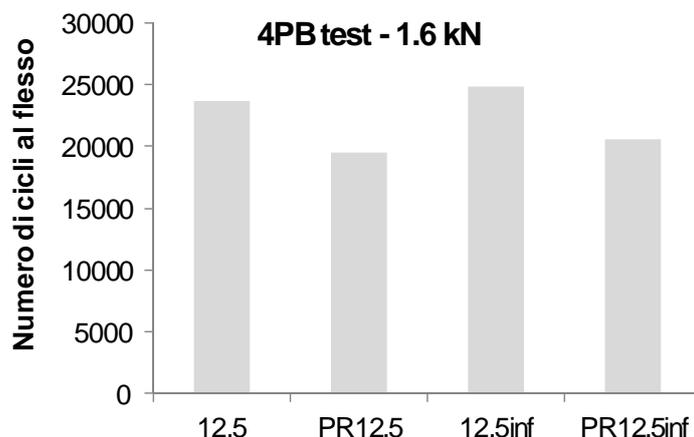


Figura 3.8 – Risultati prova dinamica 4PB: influenza condizioni all'interfaccia

Evidentemente le precedenti valutazioni sono da ritenere valide nel caso di applicazioni al di sopra di pavimentazioni esistenti in condizioni accettabili oppure dopo la realizzazione di nuovi strati di regolarizzazione.

In presenza di superfici esistenti fresate dovrà essere predisposto uno specifico programma sperimentale poiché è verosimile ritenere, in questo caso, vantaggiosa l'applicazione di una mano d'attacco rappresentata da un primer specificamente formulato che, nel corso della sperimentazione in oggetto, si è dimostrato molto più efficace delle tradizionali emulsioni bituminose modificate con polimeri SBS (v. figura 3.1).

### 3.4 ANALISI AGGREGATA DEI RISULTATI

In questo paragrafo sono messi in correlazione i risultati sperimentali ottenuti su campioni preparati in laboratorio e sottoposti a prove di taglio diretto ASTRA, prove statiche flessionali 3PB e prove dinamiche flessionali 4PB nel corso della fase 2 di ottimizzazione dei geocompositi.

Tale approccio ha consentito di puntualizzare ulteriormente lo stretto legame che intercorre tra le diverse metodologie di prova che concorrono a fornire sfaccettature complementari relative alle prestazioni dei sistemi indagati.

Un'analisi dettagliata di tali elaborazioni è consultabile nel rapporto finale di ricerca dal quale è stata estratta la presente sintesi.

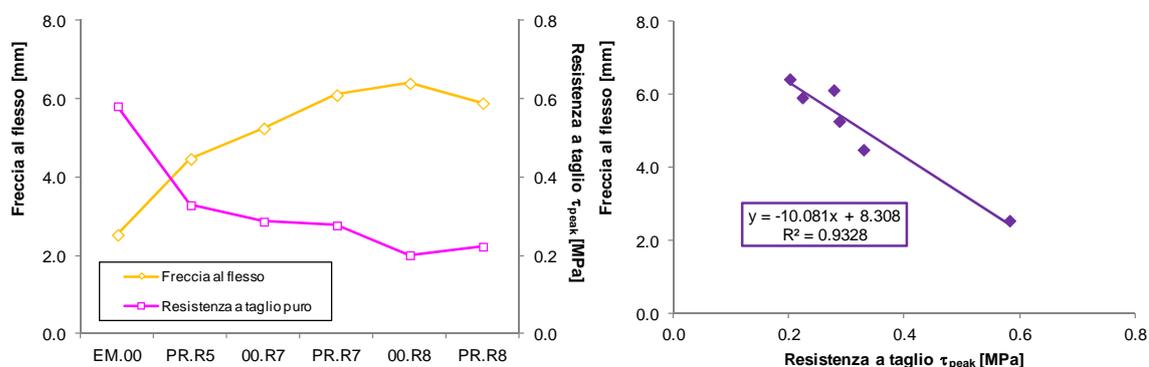


Figura 3.9 – Analisi aggregata dei risultati: 4PB vs ASTRA (2)

A titolo di esempio è interessante osservare in figura 3.9 lo stretto legame che intercorre tra la resistenza a taglio ed i valori di freccia al flesso, a testimonianza del ruolo giocato dall'interfaccia nei confronti della rigidità globale del sistema bistrato, anche con riferimento al comportamento dinamico a rottura.

Si noti che le sigle R5, R7 ed R8 si riferiscono a geomembrane rinforzate con reti in fibra di vetro di dimensioni rispettivamente pari a  $5 \times 5 \text{ mm}^2$ ,  $25 \times 25 \text{ mm}^2$  (posizione superiore) e  $25 \times 25 \text{ mm}^2$  (posizione inferiore), applicate con (PR) e senza (00) primer, mentre EM si riferisce al caso di interfaccia non rinforzata.

Inoltre, dal confronto dei risultati delle prove statiche di flessione su 3 punti (3PB) con quelli ottenuti nel corso delle prove dinamiche di flessione su 4 punti (4PB), si evince come le gerarchie prestazionali emerse siano tendenzialmente coincidenti. La figura 3.10, infatti, mostra la buona correlazione esistente fra l'energia spesa per fessurare (D) e portare a rottura (T) il sistema bistrato (prova 3PB) ed corrispondente numero di cicli necessari per l'inizio della propagazione incontrollata del danno (punto di flesso) mediante la prova 4PB.

Non è un caso, tuttavia, che il numero di cicli al flesso sia più intimamente legato al valore dell'energia di rottura T ( $R^2 = 0.96$ ) essendo entrambi i parametri riconducibili ad una situazione di collasso incipiente per il sistema bistrato.

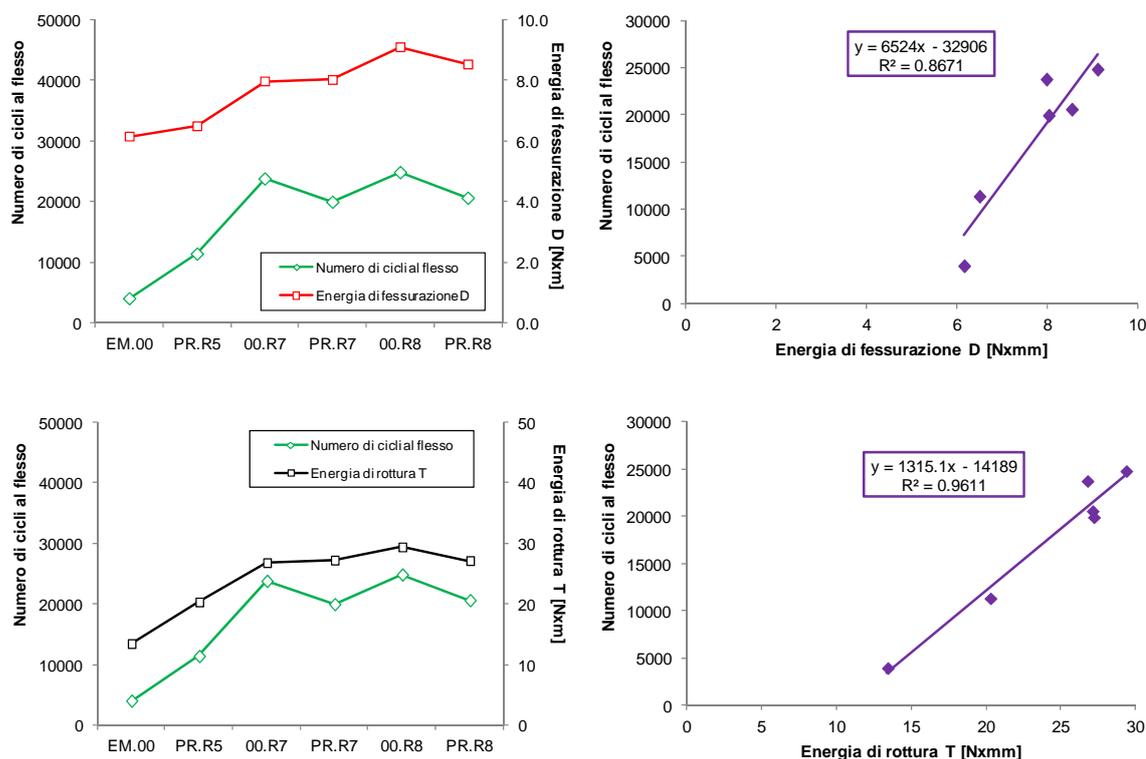


Figura 3.10 – Analisi aggregata dei risultati: 4PB vs 3PB (1)

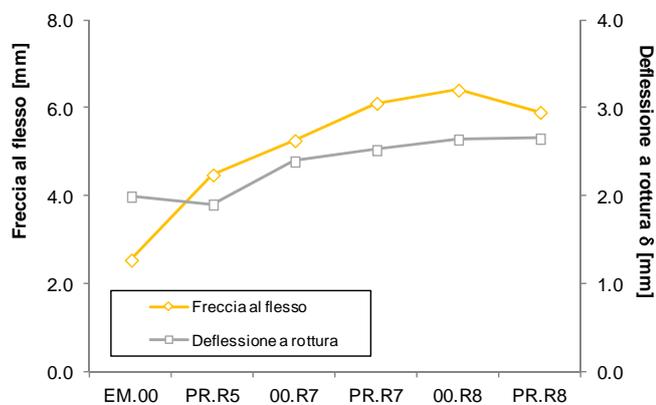


Figura 3.11 – Analisi aggregata dei risultati: 4PB vs 3PB (2)

La figura 3.11, inoltre, illustra come sistemi bistrato che raggiungono la resistenza massima ( $P_{max}$ ) in corrispondenza di deflessioni  $\delta$  maggiori (prove 3PB), caratterizzate da livelli ridotti di “aderenza” all’interfaccia (figura 8.49), raggiungano la rottura a causa del ripetersi ciclico dei carichi (prova 4PB) in corrispondenza di livelli deformativi maggiori. I risultati riportati in figura 3.11, pertanto, mettono in chiara evidenza il ruolo fondamentale svolto dai geosintetici che contribuiscono a rendere il sistema bistrato capace di resistere nei confronti di elevati livelli di deformazione prima di raggiungere il definitivo collasso.

Tale caratteristica è di fondamentale importanza nei casi in cui si proceda al rinforzo di pavimentazioni per le quali non sia possibile dimensionare il pacchetto degli strati legati in modo tale da assorbire completamente le sollecitazioni trasferite dai carichi veicolari. In questi casi la presenza di geocompositi all'interfaccia contribuisce a sopportare elevati livelli di deformazione necessari al trasferimento delle azioni agli strati sottostanti della sovrastruttura.

Analoghe considerazioni valgono nel caso di pavimentazioni correttamente dimensionate che progressivamente si indeboliscono prima del raggiungimento del termine della vita utile: in questo caso il ruolo del rinforzo diviene efficace nella fase terminale della durata di una sovrastruttura rendendo disponibile una estensione di resistenza nei confronti dei carichi dovuti al traffico veicolare.



## 4. Conclusioni

Prima di commentare direttamente i risultati ottenuti durante la sperimentazione in oggetto è opportuno sottolineare che, se opportunamente preparati, selezionati ed installati, i geocompositi ottenuti dalla combinazione di geomembrane e reti in fibra di vetro con funzione di rinforzo sono da considerare una valida tecnica per il risanamento delle pavimentazioni stradali.

A tale proposito, possono essere fornite le seguenti raccomandazioni di riferimento per applicazioni che, in funzione delle condizioni del piano di posa, possono essere estese alla quasi totalità dei casi reali:

Caso 1: Conglomerato bituminoso esistente fessurato in discrete condizioni tali da non richiedere una rimozione dello strato, al di sopra del quale deve essere valutata la necessità di applicare o meno una mano di attacco elastomerica prima dell'applicazione del geocomposito e della successiva realizzazione del nuovo strato di conglomerato bituminoso di spessore minimo pari a  $H_{CB} \geq 4$  cm (Figura 4.1).



Figura 4.1

Caso 2: Conglomerato bituminoso esistente fessurato in condizioni tali da richiedere una parziale rimozione dello strato mediante fresatura, al di sopra del quale deve essere applicata una mano di attacco elastomerica prima dell'applicazione del geocomposito e della successiva realizzazione del nuovo strato di conglomerato bituminoso di spessore minimo pari a  $s \geq 4$  cm (Figura 4.2).



Figura 4.2

Caso 3: Conglomerato bituminoso esistente fessurato in condizioni tali da richiedere una parziale rimozione dello strato mediante fresatura, al di sopra del quale viene eseguita una risagomatura in conglomerato bituminoso prima dell'applicazione del geocomposito e della successiva realizzazione del nuovo strato di conglomerato bituminoso di spessore minimo pari a  $s \geq 4$  cm (Figura 4.3).



Caso 4: Conglomerato bituminoso esistente fessurato in condizioni tali da richiedere una completa rimozione degli strati legati mediante fresatura, a cui segue la realizzazione di un nuovo strato in conglomerato bituminoso prima dell'applicazione del geocomposito al di sopra del quale saranno realizzati i successivi strati in conglomerato bituminoso di spessore totale pari a  $s \geq 4$  cm (Figura 4.4).



In tutti i casi presentati emerge come dall'impiego dei geocompositi si riesca a **coniugare** i vantaggi derivanti dall'applicazione di geomembrane con quelli che scaturiscono dall'utilizzo di geosintetici di rinforzo (geotessili e geogriglie). In particolare, le geomembrane impermeabilizzano la superficie sulla quale vengono installate proteggendo gli strati sottostanti da infiltrazione di acqua e quelli sovrastanti dal fenomeno del "pumping" (risalita di acqua e materiale fino causata dal "pompaggio" dovuto al passaggio dei carichi veicolari).

Le geomembrane, inoltre, possono fungere anche da SAMI (Stress Absorbing Membrane Interlayer) inibendo significativamente la fessurazione di riflessione e la fessurazione termica, **contribuendo al prolungamento della vita utile della pavimentazione**, come dimostrato da molte ricerche svolte nel settore delle pavimentazioni stradali.

Il geosintetico di rinforzo inserito all'interno della geomembrana, da parte sua, contribuisce all'assorbimento delle tensioni e deformazioni indotte all'interno della pavimentazione a causa dei carichi veicolari ed ambientali. Tale funzione implica, quindi, una riduzione dello stato tenso-deformativo a carico dei singoli strati che compongono la sovrastruttura con **conseguente innalzamento della vita utile della pavimentazione**.

Sulla base di tale premessa, lo studio in oggetto si è posto l'obiettivo di ottimizzare, attraverso analisi sperimentali di laboratorio eseguite mediante prove di taglio all'interfaccia e prove flessionali statiche e dinamiche, la composizione, la geometria e le condizioni di utilizzo di particolari geocompositi per applicazioni stradali realizzati combinando geomembrane bituminose e reti di rinforzo.

In prima analisi, si sottolinea come i geocompositi testati abbiano dimostrato la **possibilità di evitare** (in assenza di superfici fresate) **l'applicazione di una mano d'attacco bituminosa** all'interfaccia al fine di migliorare l'adesione fra geomembrana e conglomerato bituminoso. La faccia inferiore dei materiali analizzati, infatti, è caratterizzata dalla presenza di una miscela auto-termo-adesiva le cui ottime proprietà adesive vengono inibite dall'interposizione di un agente legante all'interfaccia.

Tale aspetto risulta di notevole importanza per i risvolti pratici, in termini tecnici ed economici, che esso comporta per le operazioni connesse alla costruzione di una pavimentazione ex-novo oppure alla realizzazione di interventi di risanamento su strade esistenti.

In secondo luogo, gli studi hanno dimostrato in maniera chiara come **geomembrane bituminose la cui modifica polimerica sia effettuata a base di elastomeri SBS garantiscano prestazioni superiori**, in termini di resistenza a taglio e comportamento flessionale, rispetto ad analoghi prodotti modificati con plastomeri APP.

Se si focalizza l'attenzione, inoltre, sul **comportamento della rete di rinforzo inserita all'interno delle geomembrane**, si può affermare che essa non incide sostanzialmente sulle prestazioni a taglio dell'interfaccia dei sistemi rinforzati mentre ne **migliora sensibilmente le prestazioni meccaniche flessionali**.

In particolare, tra i rinforzi studiati, è emerso come le reti in fibra di vetro caratterizzate da una apertura di maglia pari a  $12.5 \times 12.5 \text{ mm}^2$  garantiscano le migliori prestazioni.



La **posizione del rinforzo**, dagli studi effettuati, non sembra incidere in maniera sensibile sulle prestazioni a flessione analizzate, sebbene dei **miglioramenti siano stati registrati nei casi in cui la rete in fibra di vetro risulta posizionata in corrispondenza della faccia inferiore del geocomposito**.

Dall'analisi aggregata dei risultati, infine, è stato possibile evidenziare il **ruolo fondamentale svolto dai geocompositi che contribuiscono a rendere il sistema bistrato capace di resistere nei confronti di elevati livelli di deformazione prima di raggiungere il definitivo collasso**. Tale caratteristica è di fondamentale importanza nei casi in cui si proceda al **rinforzo di pavimentazioni per le quali non sia possibile dimensionare il pacchetto degli strati legati in modo tale da assorbire completamente le sollecitazioni trasferite dai carichi veicolari**. In questi casi la presenza di geocompositi all'interfaccia contribuisce a sopportare elevati livelli di deformazione necessari al trasferimento delle azioni agli strati sottostanti della sovrastruttura.

Analoghe considerazioni valgono anche nel caso di pavimentazioni correttamente dimensionate che progressivamente si indeboliscono prima del raggiungimento del termine della vita utile: in questo caso **il ruolo del rinforzo diviene efficace nella fase conclusiva della durata di una sovrastruttura rendendo disponibile una estensione di resistenza nei confronti dei carichi dovuti al traffico veicolare**. La conseguenza di tale azione si traduce in un **prolungamento della vita utile con vantaggiose ripercussioni in termini di riduzione dei costi di manutenzione**.

Ancona, 03 gennaio 2012.

Il Responsabile Scientifico  
Prof. Ing. Francesco Canestrari

