

Ottimizzazione Sperimentale del Geocomposito Autotene Asfaltico Antipumping HE/TVP

Dr. Ing. Emiliano Pasquini

Università Politecnica delle Marche – e.pasquini@univpm.it

■ Sommario Presentazione

- 1. Funzioni del rinforzo negli strati legati**
- 2. Caratterizzazione avanzata a taglio e flessione**
- 3. Indagine sperimentale**
- 4. Ottimizzazione dei geocompositi**
- 5. Studio di geocompositi ottimizzati**
- 6. Sperimentazioni ulteriori**

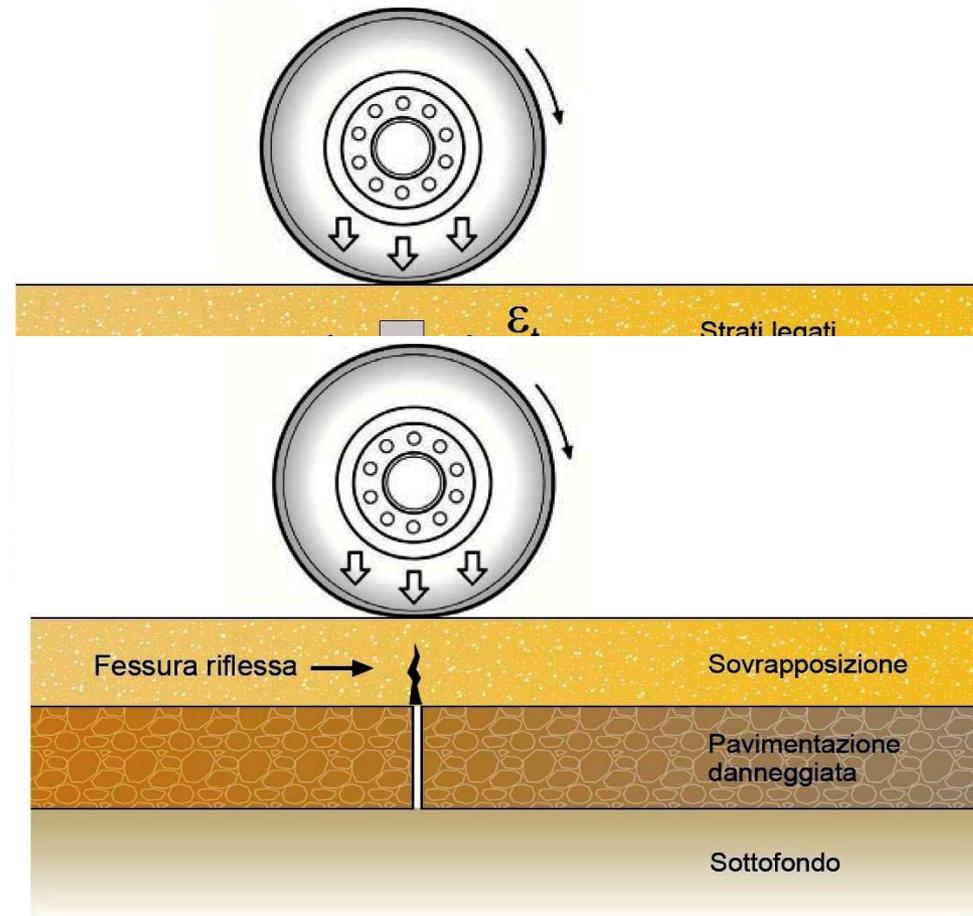
1. Funzioni del rinforzo negli strati legati

■ Funzioni del rinforzo negli strati legati

Assorbire tensioni e deformazioni orizzontali prevenendo la formazione di dissesti

□ Aumento della resistenza a fatica

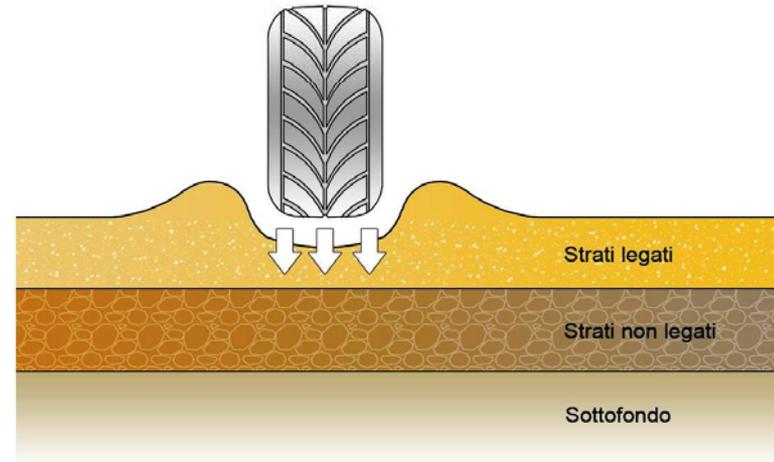
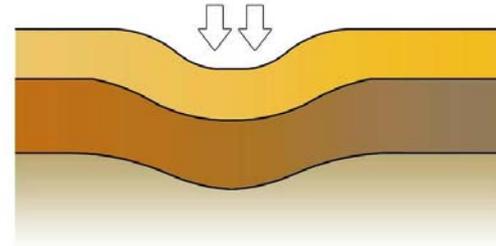
□ Limitazione della formazione di fessure da riflessione



■ Funzioni del rinforzo negli strati legati

Assorbire tensioni e deformazioni orizzontali prevenendo la formazione di dissesti

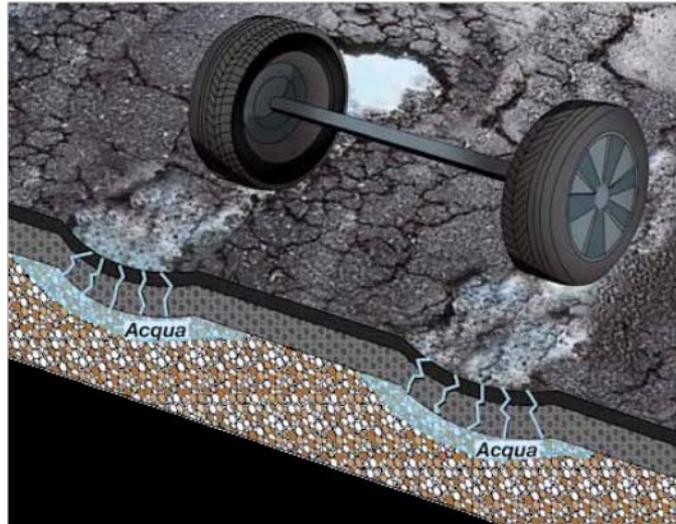
- Diminuzione del fenomeno dell'ormaiamento



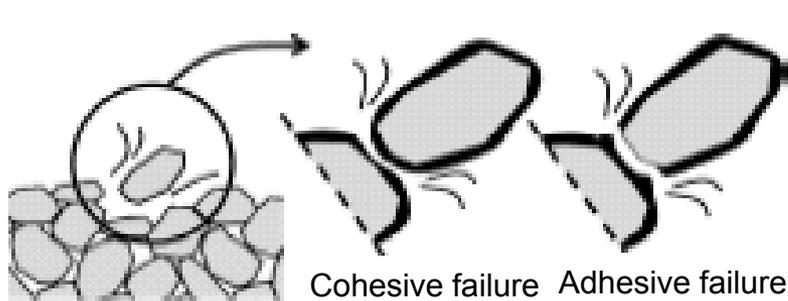
DISCONTINUITA' TRA GLI STRATI

■ Funzioni del rinforzo negli strati legati

Limitazione dell'Effetto Pumping



Water Damage: accelerazione di meccanismi di degrado a causa della presenza dell'acqua



2. Caratterizzazione avanzata a taglio e flessione

■ Caratterizzazione avanzata a taglio e flessione

Preparazione dei provini in laboratorio

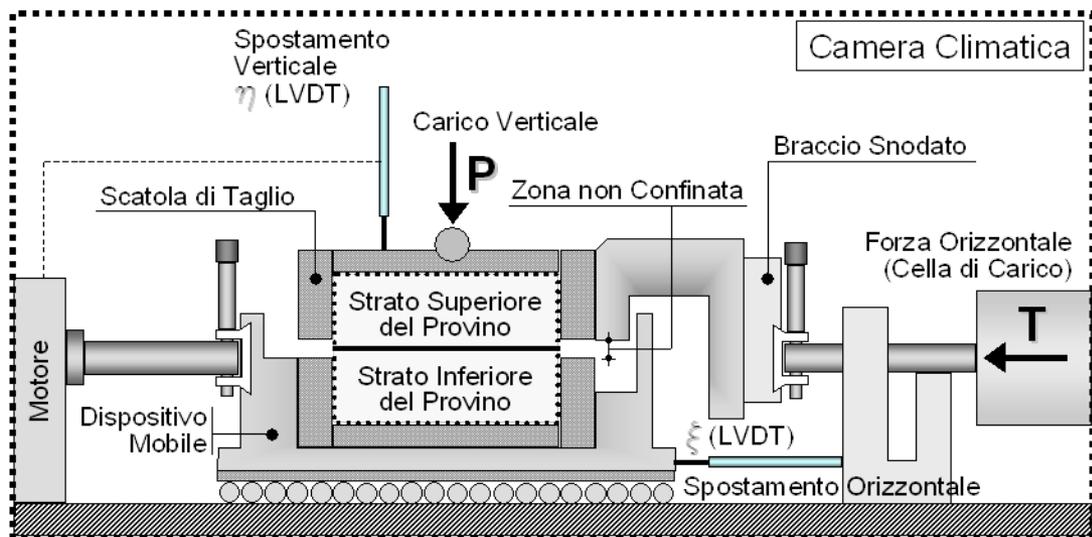
□ Roller Compactor (UNI EN 12697-33)



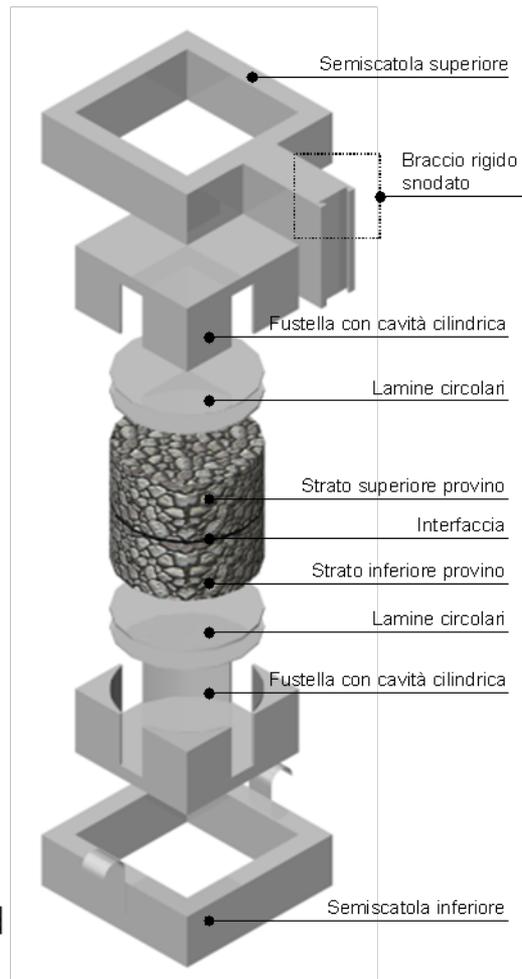
■ Caratterizzazione avanzata a taglio e flessione

Prestazioni a Taglio di Interfacce Rinforzate

□ Prova ASTRA – Norma UNI/TS 11214



- Preparazione provini con materiali realmente usati in sito;
- condizioni al contorno:
 - GEOMETRICHE (carichi e configurazione);
 - AMBIENTALI (temperatura -20/+60 °C e U.R.);
- velocità di avanzamento = 2,5 mm/min in condizioni standard

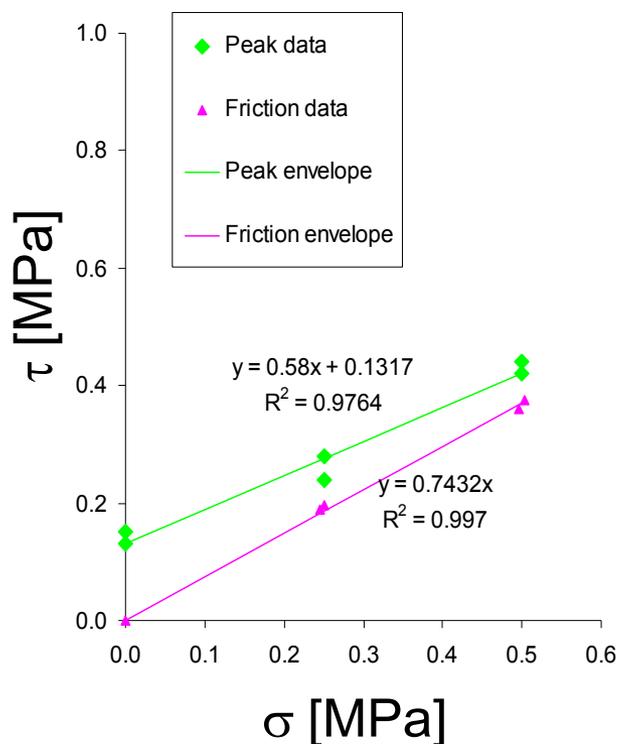


■ Caratterizzazione avanzata a taglio e flessione

Prestazioni a Taglio di Interfacce Rinforzate

Inviluppo di picco e di attrito

Parametri di resistenza



✓ Taglio puro $\rightarrow c_0$

✓ Angolo di attrito di picco Φ_p

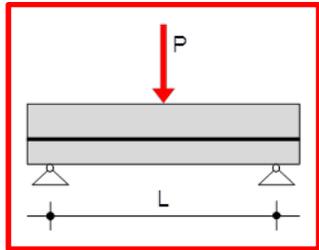
✓ Angolo di attrito residuo Φ_{res}

Leggi di resistenza

$$\tau_p = c_0 + \sigma \tan \phi_p$$

$$\tau_{res} = \sigma \tan \phi_{res}$$

■ Caratterizzazione avanzata a taglio e flessione



Prestazioni a Flessione 3PB

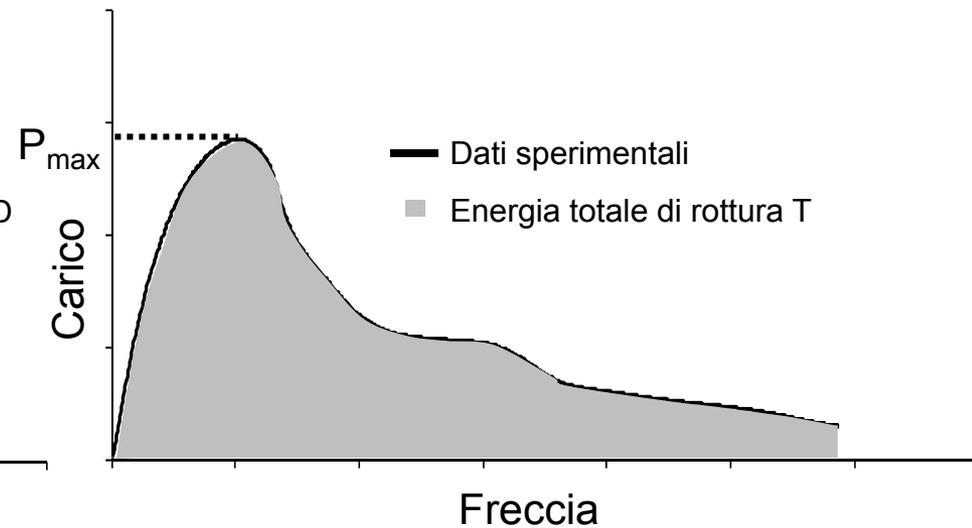
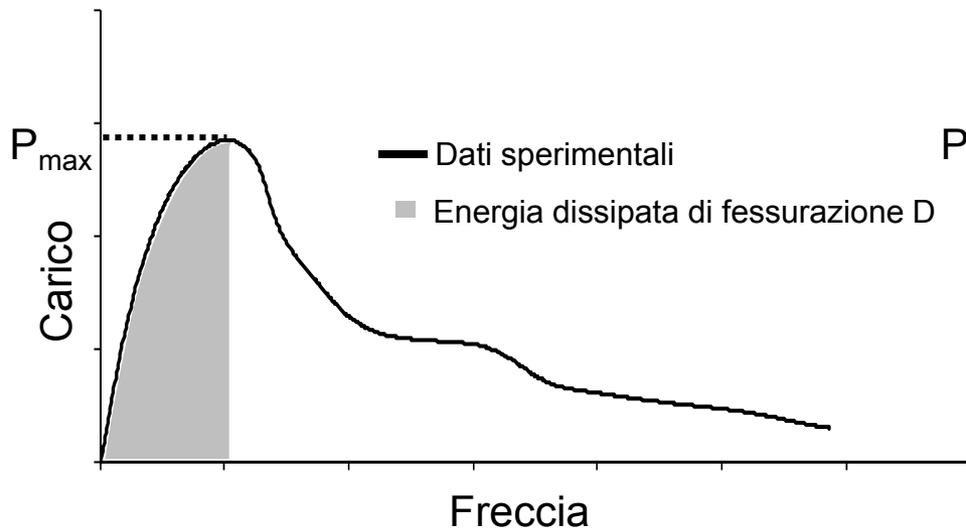


- Prova statica
- Temperatura = 20°C
- Velocità = 50.8 mm/min

■ Caratterizzazione meccanica a taglio e flessione

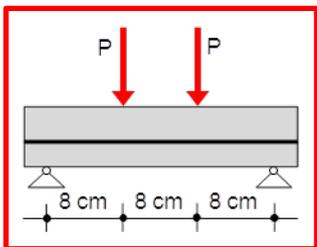
Prestazioni a Flessione 3PB

- L'energia D traduce l'energia dissipata per l'innescò della fessurazione
- L'energia T è un indicatore della resistenza alla propagazione della fessura

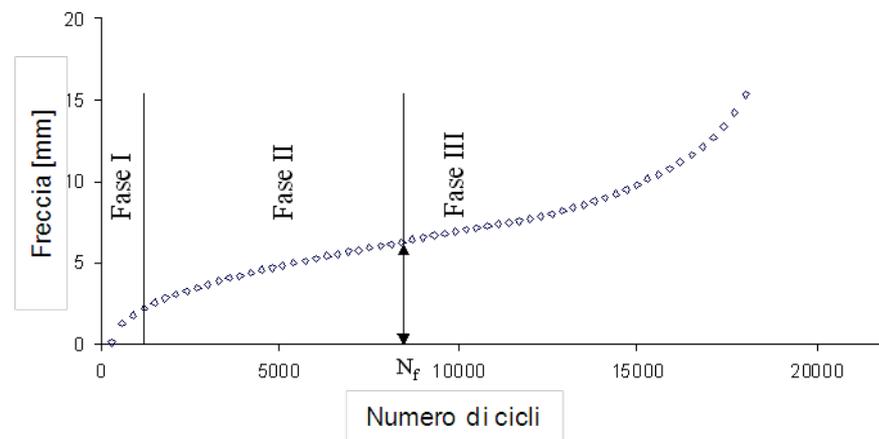


■ Caratterizzazione avanzata a taglio e flessione

Prestazioni a Fatica 4PB di Interfacce Rinforzate



$$IR = \frac{N^i_{flesso} - N^{ctrl}_{flesso}}{N^{ctrl}_{flesso}} \cdot 100$$



3. Indagine sperimentale

■ Indagine Sperimentale: Obiettivi

- Fase Preliminare** →
 - Influenza della superficie di posa del rinforzo
 - Influenza del trattamento superficiale del geocomposito

- Fase 1** →
 - Influenza della presenza e tipologia di mano d'attacco
 - Influenza della maturazione della mano d'attacco
 - Influenza della natura della mescola della membrana

- Fase 2** →
 - Influenza della presenza del primer bituminoso
 - Influenza della dimensione della maglia dell'armatura
 - Influenza della posizione dell'armatura

■ Indagine Sperimentale: Fasi e Programma di Prove

Prove di Taglio diretto ASTRA

FASI	T [°C]	σ [MPa]	PROVE ASTRA
FASE PRELIMINARE	20 – 40	0.0 – 0.2	56*
FASE 1	20	0.0 – 0.2	60
FASE 2	20	0.0 – 0.2 – 0.4	72 + 45*

* Provini carotati in sito

TOTALE PROVE ASTRA: 233

■ Indagine Sperimentale: Fasi e Programma di Prove

Prove di Flessione 3PB

FASI	T [°C]	v [mm/min]	PROVE 3PB
FASE PRELIMINARE	-	-	-
FASE 1	20	50.8	15
FASE 2	20	50.8	18

TOTALE PROVE 3PB: 33

■ Indagine Sperimentale: Fasi e Programma di Prove

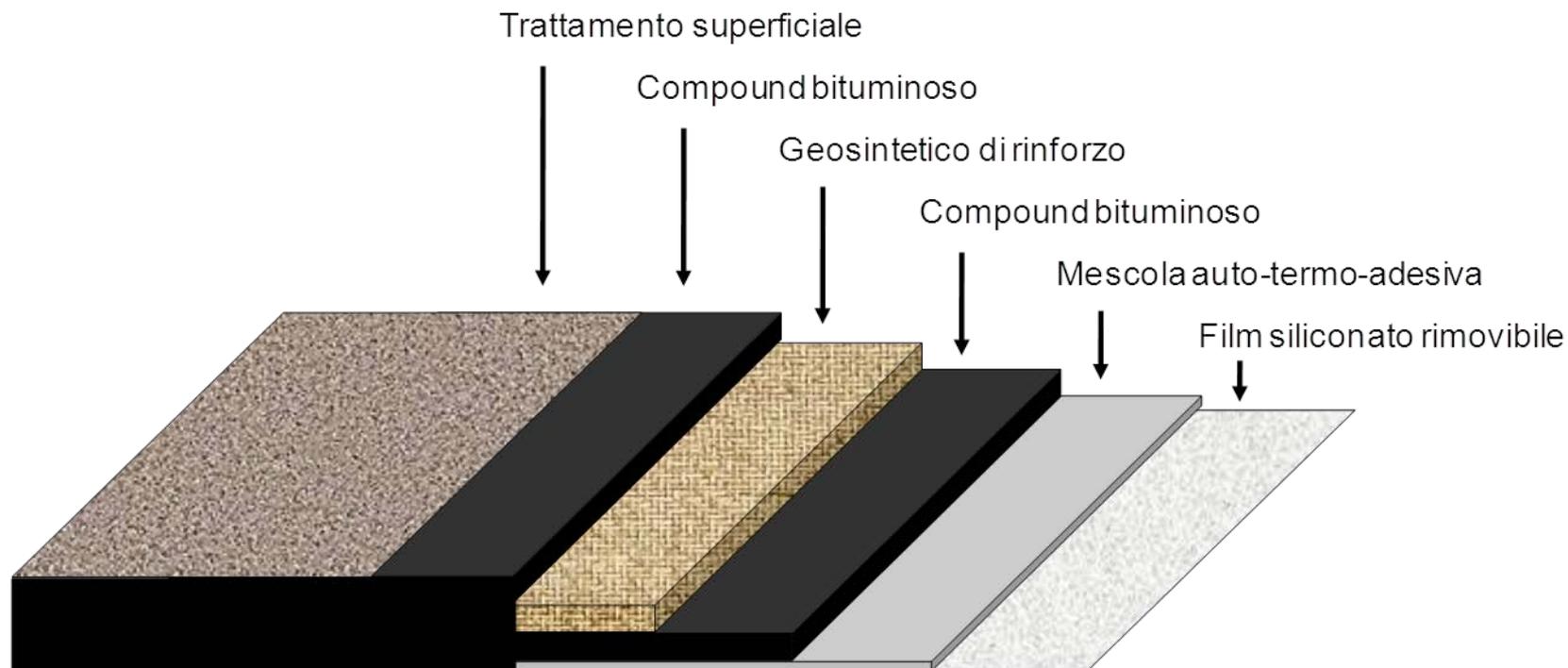
Prove di Flessione 4PB

FASI	T [°C]	P [kN]	PROVE 3PB
FASE PRELIMINARE	-	-	-
FASE 1	-	-	-
FASE 2	20	0.8 – 1.6	36

TOTALE PROVE 4PB: 36

4. Ottimizzazione dei geocompositi

■ Ottimizzazione di geocompositi



- ❑ Tipo di trattamento superficiale?
- ❑ Tipo di mescola per il compound?
- ❑ Tipologia di rinforzo?
- ❑ Posizione del rinforzo?
- ❑ Condizioni all'interfaccia?



OTTIMIZZAZIONE

■ Ottimizzazione di geocompositi: FASE PRELIMINARE

Influenza del trattamento superficiale

Sabbia



Polietilene



Migliore adesione
tra strato superiore
e geocomposito



Il trattamento superficiale non influenza la resistenza a taglio

■ Ottimizzazione di geocompositi: FASE PRELIMINARE

Sintesi evidenze sperimentali

- Il trattamento superficiale del geocomposito (sabbia/film PE) non influenza le prestazioni a taglio delle interfacce rinforzate in quanto, in seguito all'esecuzione della prova, è stato possibile osservare che la superficie di rottura risulta localizzata tra la faccia inferiore della membrana e lo strato sottostante del provino.

■ Ottimizzazione di geocompositi: FASE 1

Materiali Impiegati

Geocomposito	Compound	Tipologia di Rinforzo	Posizione del Rinforzo
A	APP	GG12.5	Lato superiore
B	APP	GG12.5	Lato inferiore
C	APP	GG5.0	Lato superiore
D	SBS	GG5.0	Lato superiore

- ❑ APP = modificante plastomerico (polipropilene atattico)
- ❑ SBS = modificante elastomerico (stirolo-butadiene-stirolo)
- ❑ GG12.5 = rete in fibra di vetro con maglia $12.5 \times 12.5 \text{ mm}^2$
- ❑ GG5.0 = rete in fibra di vetro con maglia $5.0 \times 5.0 \text{ mm}^2$

■ Ottimizzazione di geocompositi: FASE 1

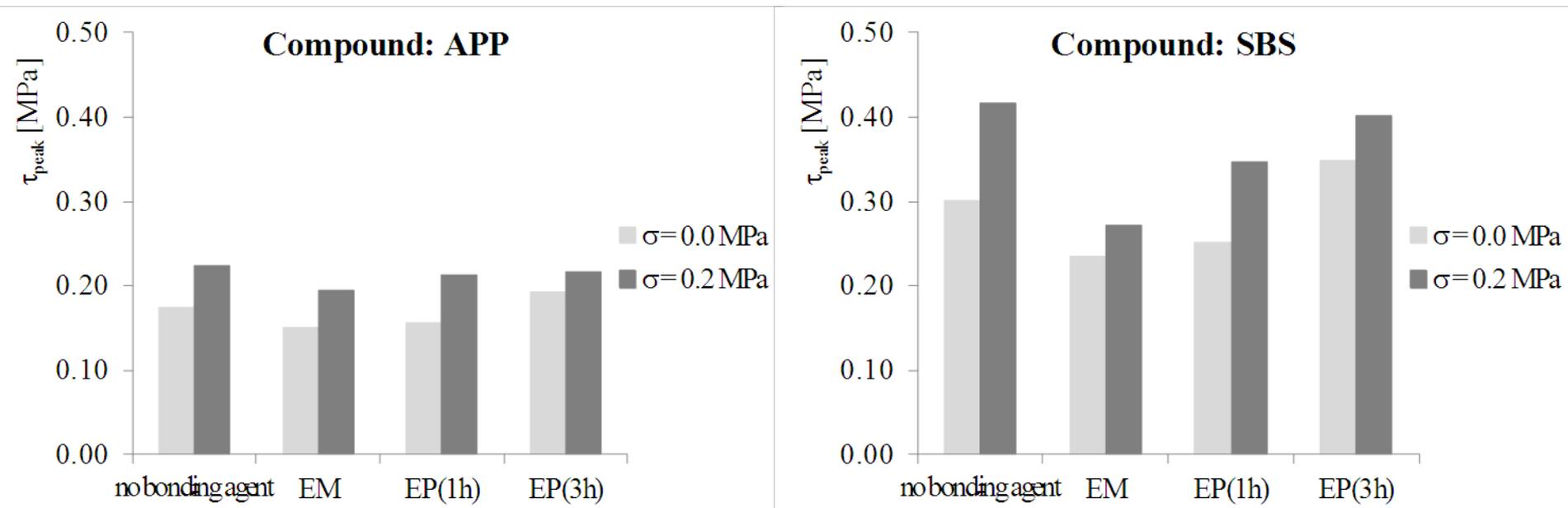
Programma Sperimentale

Configurazione	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Geocomposito	A	B	C	C	C	C	D	D	D	D
Agente legante	EP	EP	assente	ME	EP	EP	assente	ME	EP	EP
Tempo di maturazione	3h	3h	-	1h	1h	3h	-	1h	1h	3h
ASTRA test (T = 20 °C; $\sigma_n = 0.0-0.2$ MPa)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
3PB test (T = 20 °C; v = 50.8 mm/min)	X	X				X				X

- ME = emulsione bituminosa modificata con polimeri SBS
- EP = primer elastomerico-bituminoso a base d'acqua
- Dosaggio = 0.15 kg/m²

■ Ottimizzazione di geocompositi: FASE 1

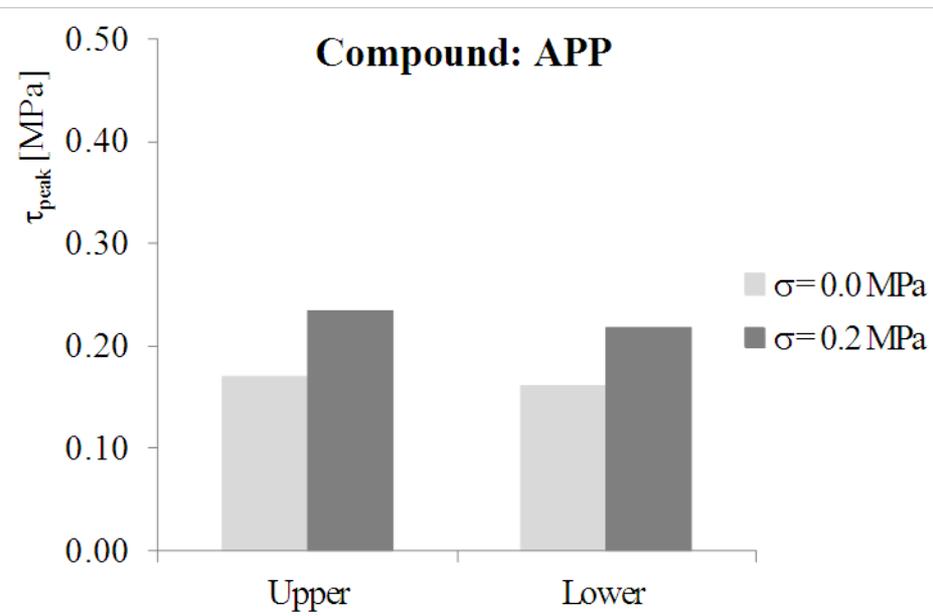
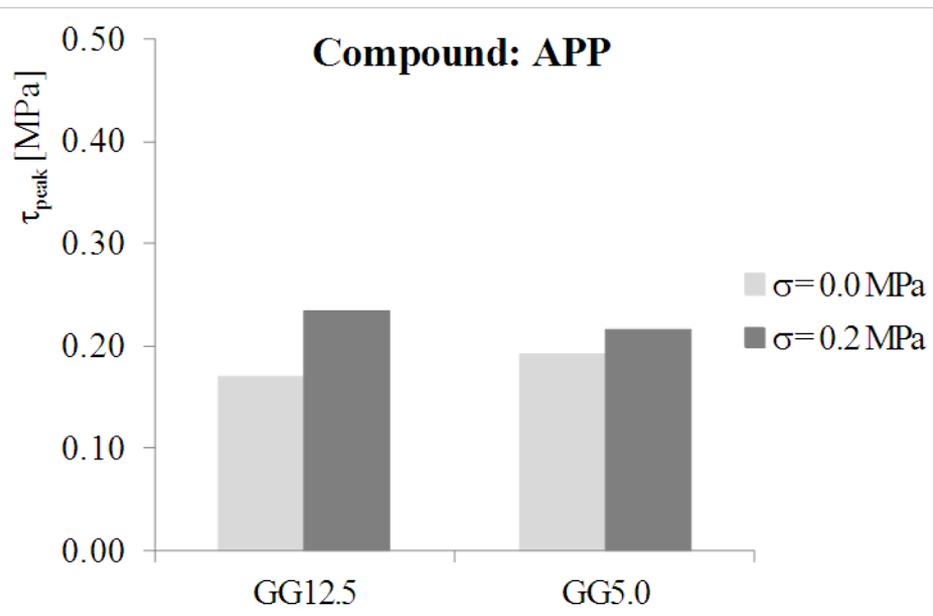
Prova ASTRA – influenza del compound e delle condizioni all'interfaccia



- ❑ Compound SBS garantisce prestazioni superiori
- ❑ Agente legante all'interfaccia inibisce membrana termo-adesiva
- ❑ Tempi di maturazione elevati comportano prestazioni migliorate

■ Ottimizzazione di geocompositi: FASE 1

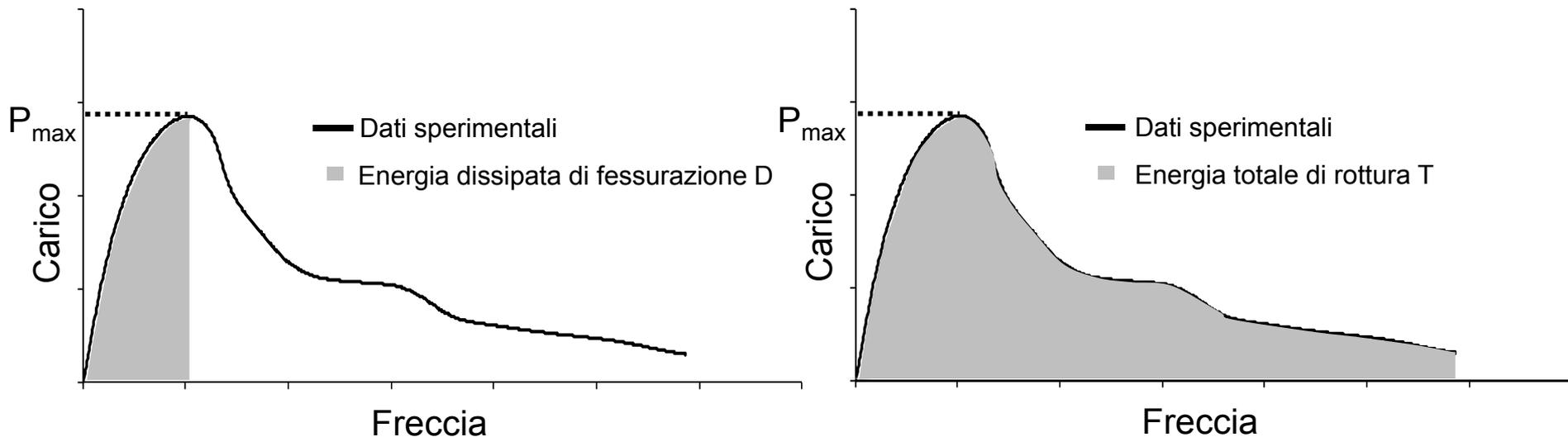
Prova ASTRA – influenza del tipo e della posizione del rinforzo



- La geometria del rinforzo influenza moderatamente le prestazioni
- Il rinforzo in posizione inferiore riduce lievemente le prestazioni
- Il compound APP livella in negativo la resistenza a taglio

■ Ottimizzazione di geocompositi: FASE 1

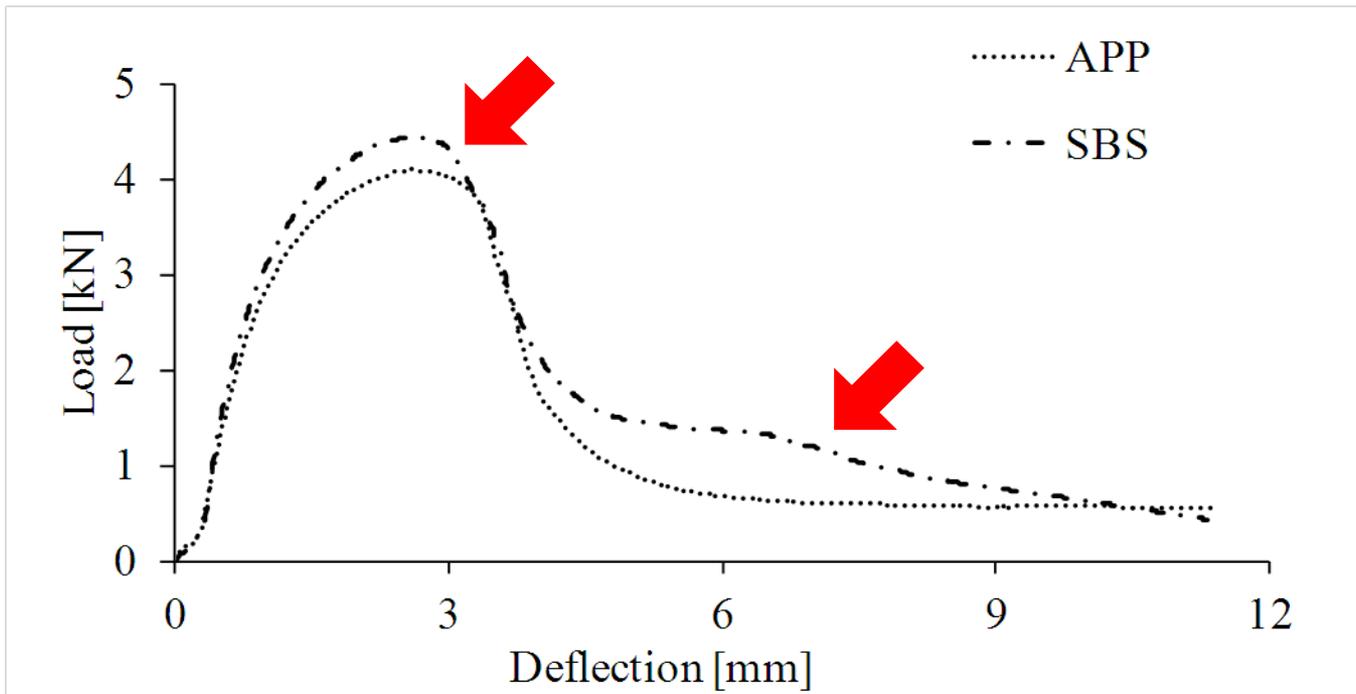
Prova 3PB – sintesi dei risultati



Configurazione	Geocomposito	P_{max}	δ	D	T
		kN	mm	N×m	N×m
1	A	4.41	2.51	7.60	22.88
2	B	3.98	2.70	7.40	21.52
6	C	4.10	2.61	7.24	17.14
10	D	4.45	2.63	7.99	20.59

■ Ottimizzazione di geocompositi: FASE 1

Prova 3PB – influenza del compound

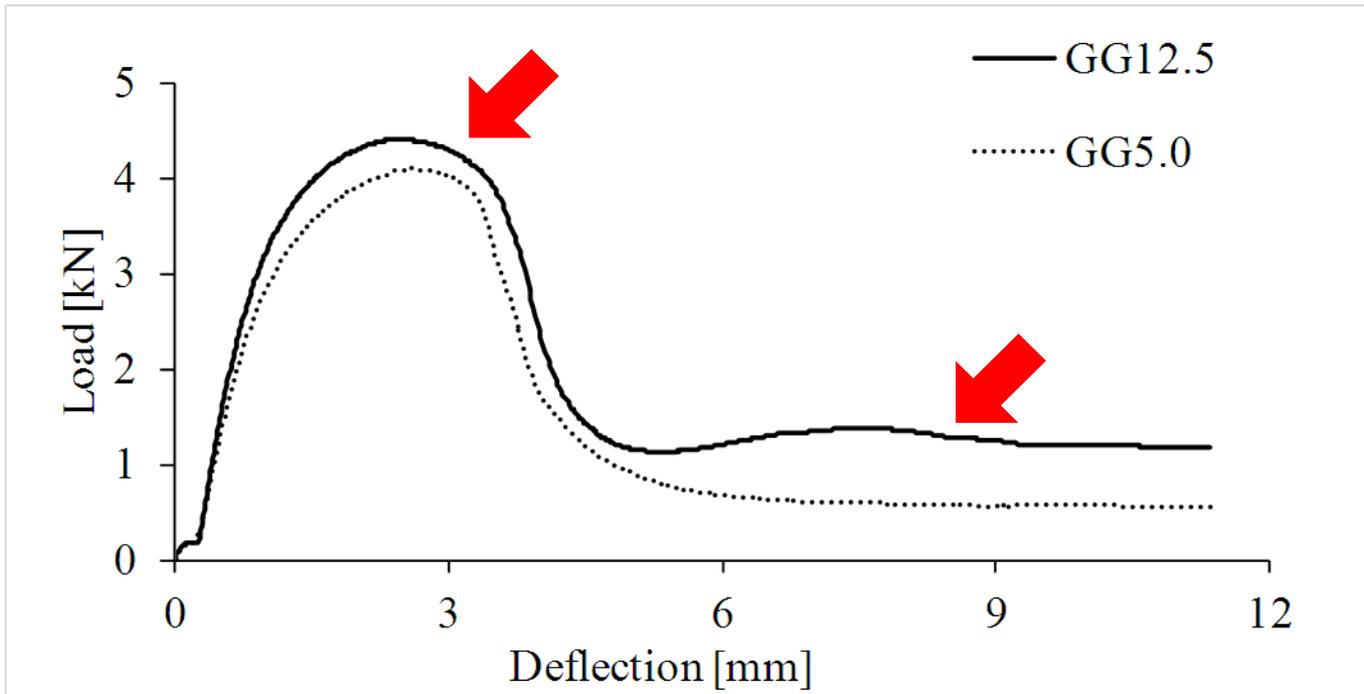


□ Compound SBS garantisce prestazioni superiori

configurazione	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\tau_{peak}^{0.0}$	0.17	0.16	0.18	0.15	0.16	0.19	0.30	0.24	0.25	0.35
$\tau_{peak}^{0.2}$	0.23	0.22	0.23	0.20	0.21	0.22	0.42	0.27	0.35	0.40

■ Ottimizzazione di geocompositi: FASE 1

Prova 3PB – influenza del tipo di rinforzo



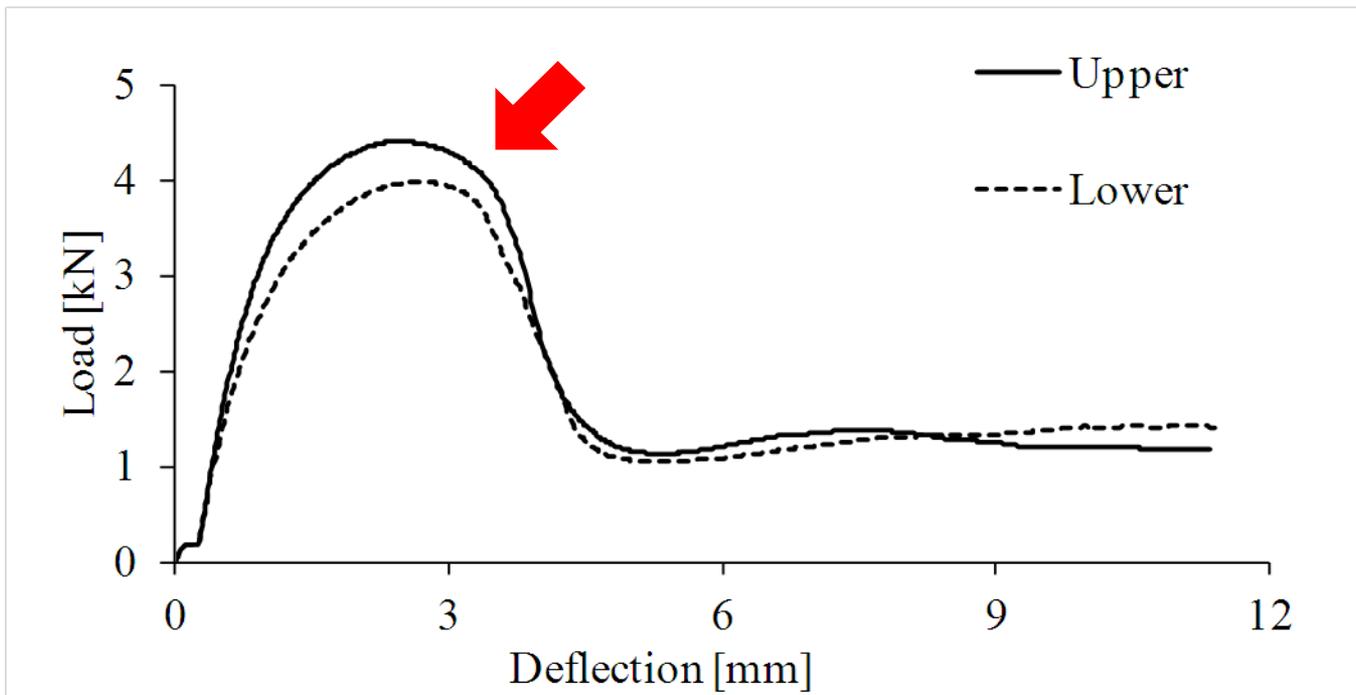
□ La rete con maglia $12.5 \times 12.5 \text{ mm}^2$ fornisce risultati migliori

configurazione	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\tau_{\text{peak}}^{0.0}$	0.17	0.16	0.18	0.15	0.16	0.19	0.30	0.24	0.25	0.35
$\tau_{\text{peak}}^{0.2}$	0.23	0.22	0.23	0.20	0.21	0.22	0.42	0.27	0.35	0.40

GG5.0

■ Ottimizzazione di geocompositi: FASE 1

Prova 3PB – influenza della posizione del rinforzo



□ Il rinforzo in posizione inferiore riduce le prestazioni pre-fessurazione

configurazione	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\tau_{peak}^{0.0}$	0.17	0.16	0.18	0.15	0.16	0.19	0.30	0.24	0.25	0.35
$\tau_{peak}^{0.2}$	0.23	0.22	0.23	0.20	0.21	0.22	0.42	0.27	0.35	0.40

Lower

■ Ottimizzazione di geocompositi: FASE 1

Sintesi evidenze sperimentali

- A parità di rinforzo, prova ASTRA idonea per prevedere anche proprietà flessionali ottimizzate;
- Innesco della fessurazione (pre-cracking) correlato alla resistenza a taglio all'interfaccia;
- Propagazione e resistenza a rottura dipendono dalle caratteristiche del rinforzo;
- Geocompositi preparati con compund SBS evidenziano prestazioni migliori rispetto a materiali modificati con plastomeri APP;
- Il film auto-termo-adesivo rende superfluo l'utilizzo di agenti leganti all'interfaccia (n.b. superficie inferiore interfaccia NON fresata!!).

*F. Canestrari, E. Pasquini, L. Belogi
"Optimization of geocomposites for double-layered bituminous systems"
Proceedings of the 7th RILEM International Conference on Cracking in Pavements
Delft, The Netherlands, 2012*

5. Studio di geocompositi ottimizzati

■ Studio di geocompositi ottimizzati

Caratteristiche geocompositi

TIPOLOGIA	COMPOUND	TIPOLOGIA ARMATURA	POSIZIONE ARMATURA	TRATTAMENTO SUPERFICIALE
Tipo 4	APP	Rete 5 x 5 mm ²	Lato superiore	Sabbia
Tipo 5	SBS	Rete 5 x 5 mm ²	Lato superiore	Sabbia
Tipo 7	SBS	Rete 12.5 x 12.5 mm ²	Lato superiore	Sabbia
Tipo 8	SBS	Rete 12.5 x 12.5 mm ²	Lato inferiore	Sabbia

■ Studio di geocompositi ottimizzati

Configurazioni interfaccia – Provini di laboratorio

CONGLOMERATO BITUMINOSO:

- Percentuale di bitume: 5.7 %
- Dimensione max dei grani 10 mm

MANO D'ATTACCO:

- Emulsione modificata
(0.15 kg/m² bitume residuo)
- Primer bituminoso
(0.15 kg/m² bitume residuo)

CODICE	INTERFACCIA
EM.00	Emulsione – no rinforzo
PR.R5	Primer (3 ore) + Rinforzo 5
00.R7	No mano d'attacco + Rinforzo 7
PR.R7	Primer (3 ore) + Rinforzo 7
00.R8	No mano d'attacco + Rinforzo 8
PR.R8	Primer (3 ore) + Rinforzo 8

■ Studio di geocompositi ottimizzati

Configurazioni interfaccia – Provini carotati in sito

CONGLOMERATO BITUMINOSO:

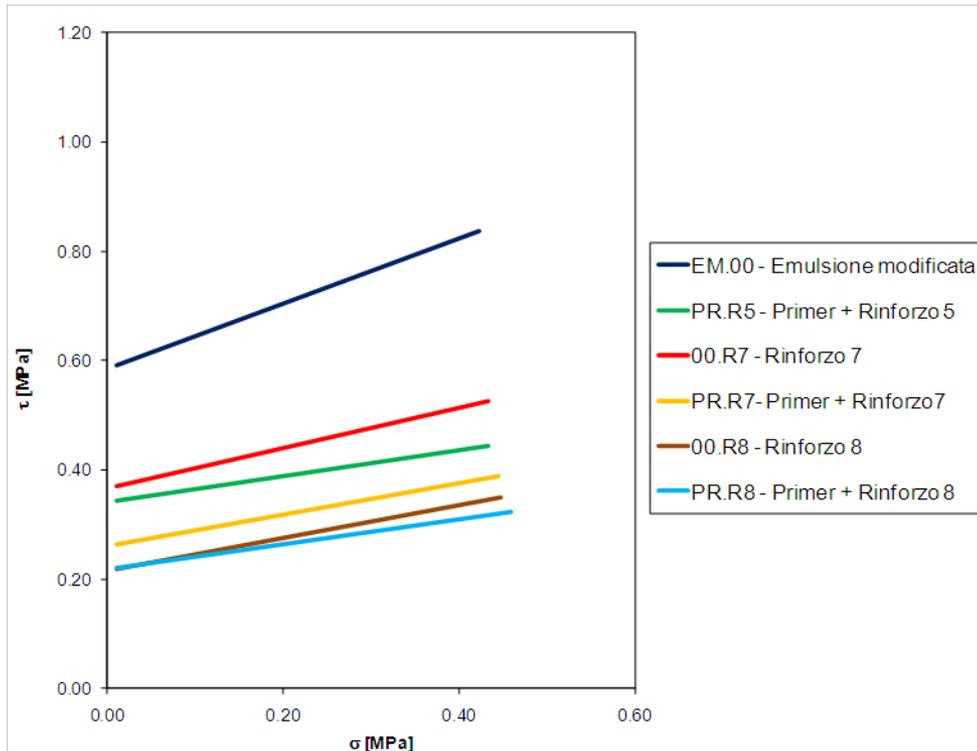
- Percentuale di bitume: 6.2 %
- Dimensione max dei grani 8 mm

CODICE	INTERFACCIA
CFR	No mano d'attacco
C4	No mano d'attacco – Rinforzo 4
C5	No mano d'attacco - Rinforzo 5
C7	No mano d'attacco – Rinforzo 7
C8	No mano d'attacco - Rinforzo 8

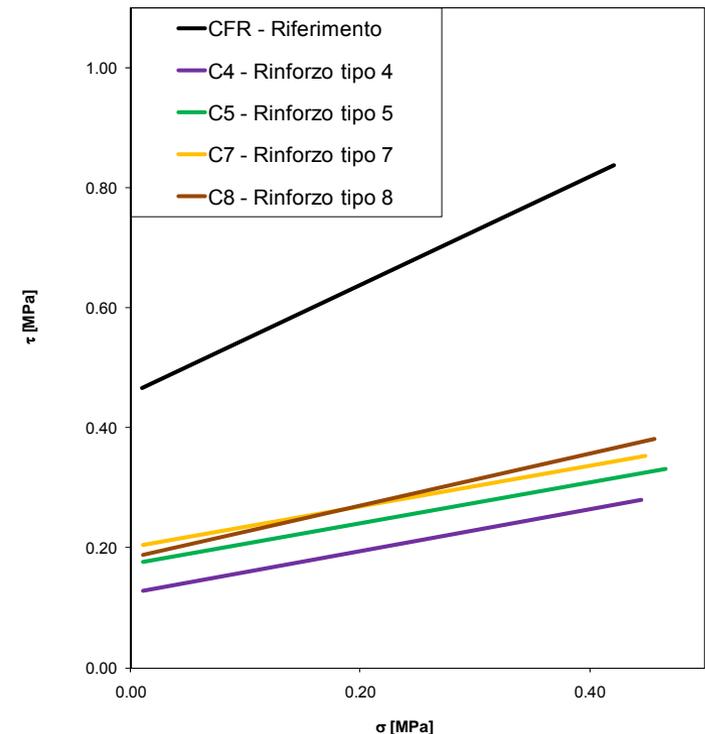
Studio di geocompositi ottimizzati: risultati prova ASTRA

Sovrapposizione involuppi di rottura

Provini di Laboratorio



Carote



La presenza del geocomposito riduce la resistenza a taglio

■ Studio di geocompositi ottimizzati: risultati prova ASTRA

Sintesi evidenze sperimentali

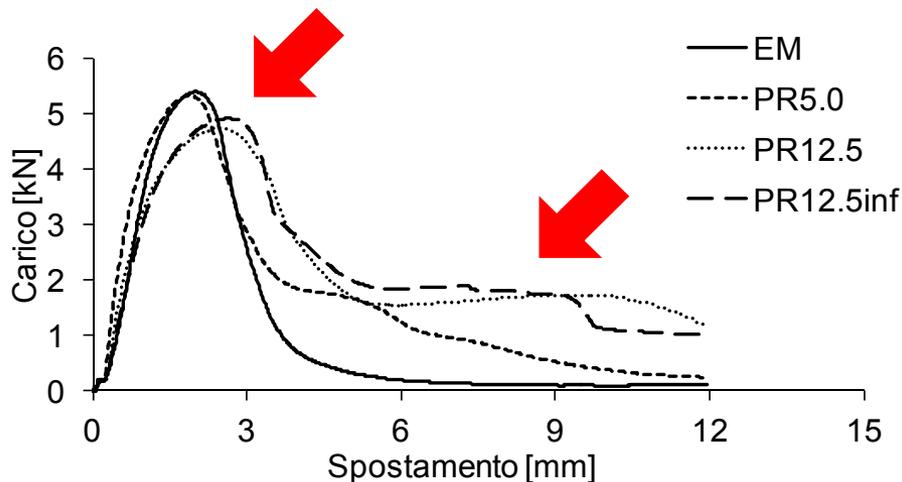
- L'applicazione di un geocomposito all'interfaccia determina una riduzione della resistenza a taglio rispetto alla configurazione non rinforzata

SOSTANZIALE CONFERMA DEI RISULTATI EMERSI NELLA FASE 1:

- L'applicazione di una mano d'attacco non contribuisce alla resistenza a taglio inibendo le caratteristiche adesive della faccia inferiore del geocomposito
- Il compound modificato con polimeri SBS ha mostrato prestazioni sensibilmente superiori a quello modificato con polimeri APP
- Il posizionamento del rinforzo in corrispondenza della superficie superiore del geocomposito ha comportato prestazioni migliorate
- Una maggiore dimensione della maglia della rete di rinforzo garantisce generalmente una resistenza a taglio superiore

■ Studio di geocompositi ottimizzati: risultati prova 3PB

Ruolo del rinforzo

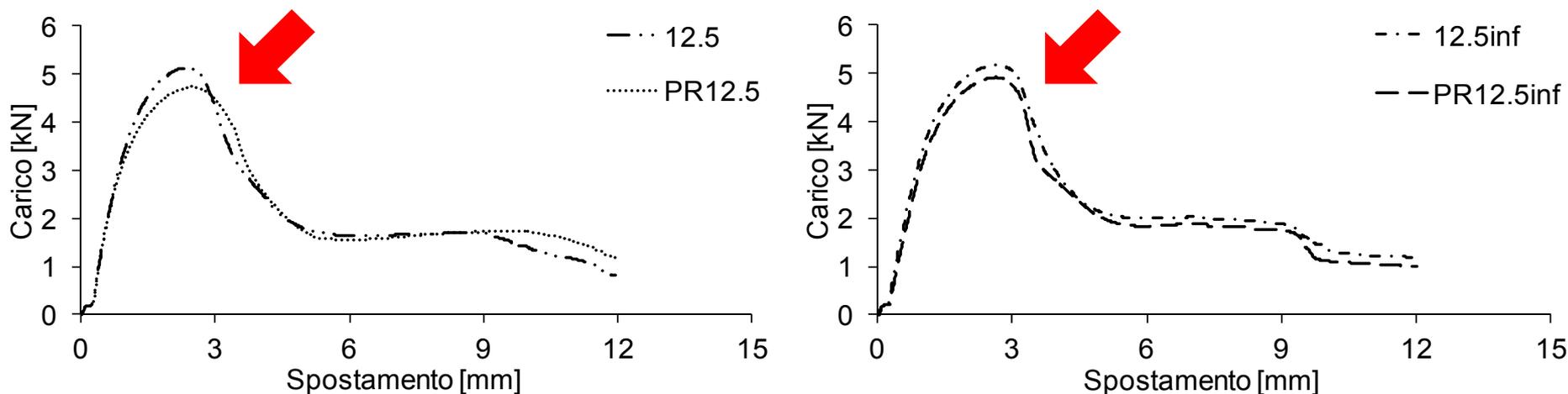


Denominazione	Maglia rinforzo	Posizione rinforzo	P_{max} kN	δ mm	D N×m	T N×m
EM	No geocomposito	-	5.40	1.99	6.15	13.40
PR5.0	$5 \times 5 \text{ mm}^2$	Superiore	5.33	1.90	6.49	20.27
PR12.5	$12.5 \times 12.5 \text{ mm}^2$	Superiore	4.74	2.52	8.02	27.19
PR12.5inf	$12.5 \times 12.5 \text{ mm}^2$	Inferiore	4.91	2.65	8.53	27.11

□ Sistemi rinforzati garantiscono elevate prestazioni post-fessurative

■ Studio di geocompositi ottimizzati: risultati prova 3PB

Influenza delle condizioni all'interfaccia



Denominazione	Interfaccia	Posizione rinforzo	P_{max}	δ	D	T
			kN	mm	N×m	N×m
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

- Sistemi con applicazione di primer hanno mostrato prestazioni identiche/inferiori rispetto agli analoghi sistemi senza mano d'attacco

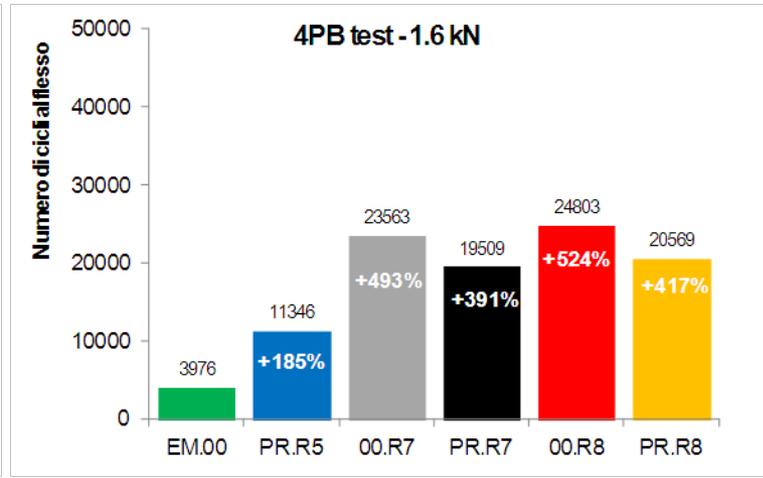
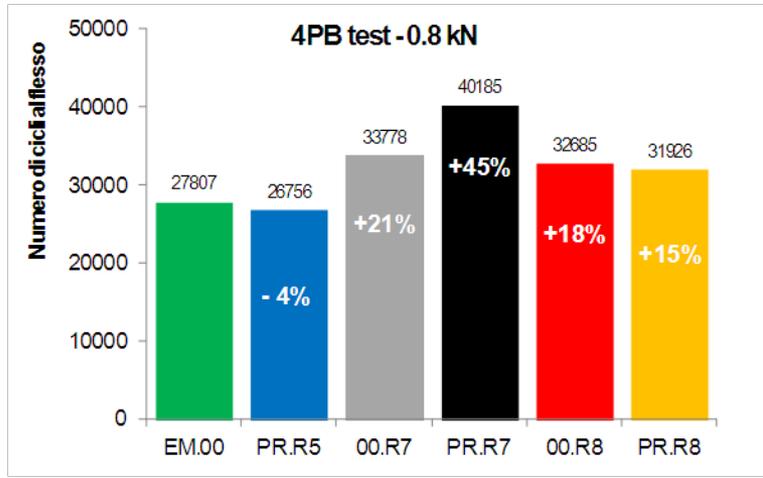
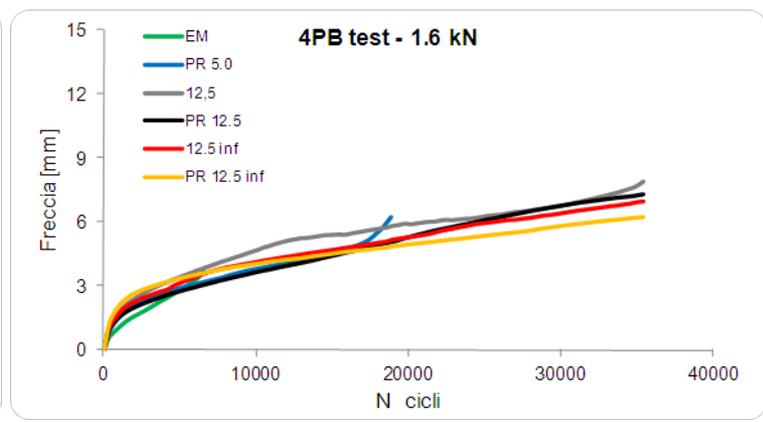
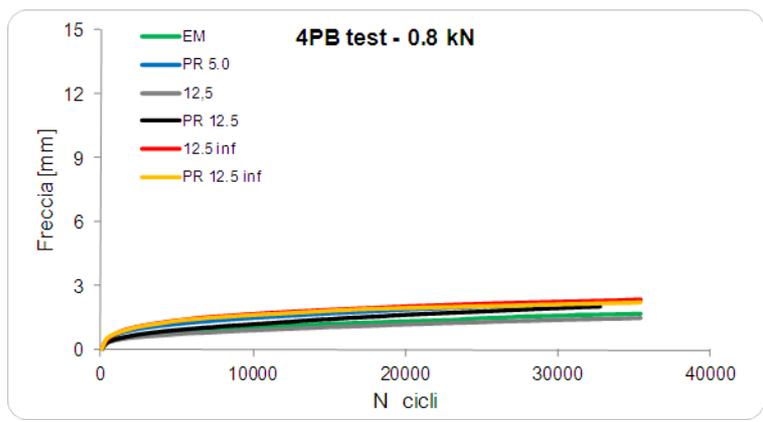
■ Studio di geocompositi ottimizzati: risultati prova 3PB

Sintesi evidenze sperimentali

- L'energia spesa per fessurare il sistema dipende prevalentemente dalle caratteristiche del conglomerato bituminoso
- Il contributo resistente del rinforzo è volto principalmente ad inibire la propagazione delle fessure piuttosto che a ritardarne l'innescio
- L'applicazione del primer bituminoso all'interfaccia non produce significativi incrementi di resistenza ai carichi ripetuti
- La posizione del rinforzo non incide in maniera sostanziale sulle prestazioni meccaniche flessionali dei sistemi bituminosi rinforzati
- Il geocomposito rinforzato con rete da $5 \times 5 \text{ mm}^2$ ha restituito prestazioni inferiori rispetto al corrispondente materiale con rete da $12.5 \times 12.5 \text{ mm}^2$

Studio di geocompositi ottimizzati: risultati prova 4PB

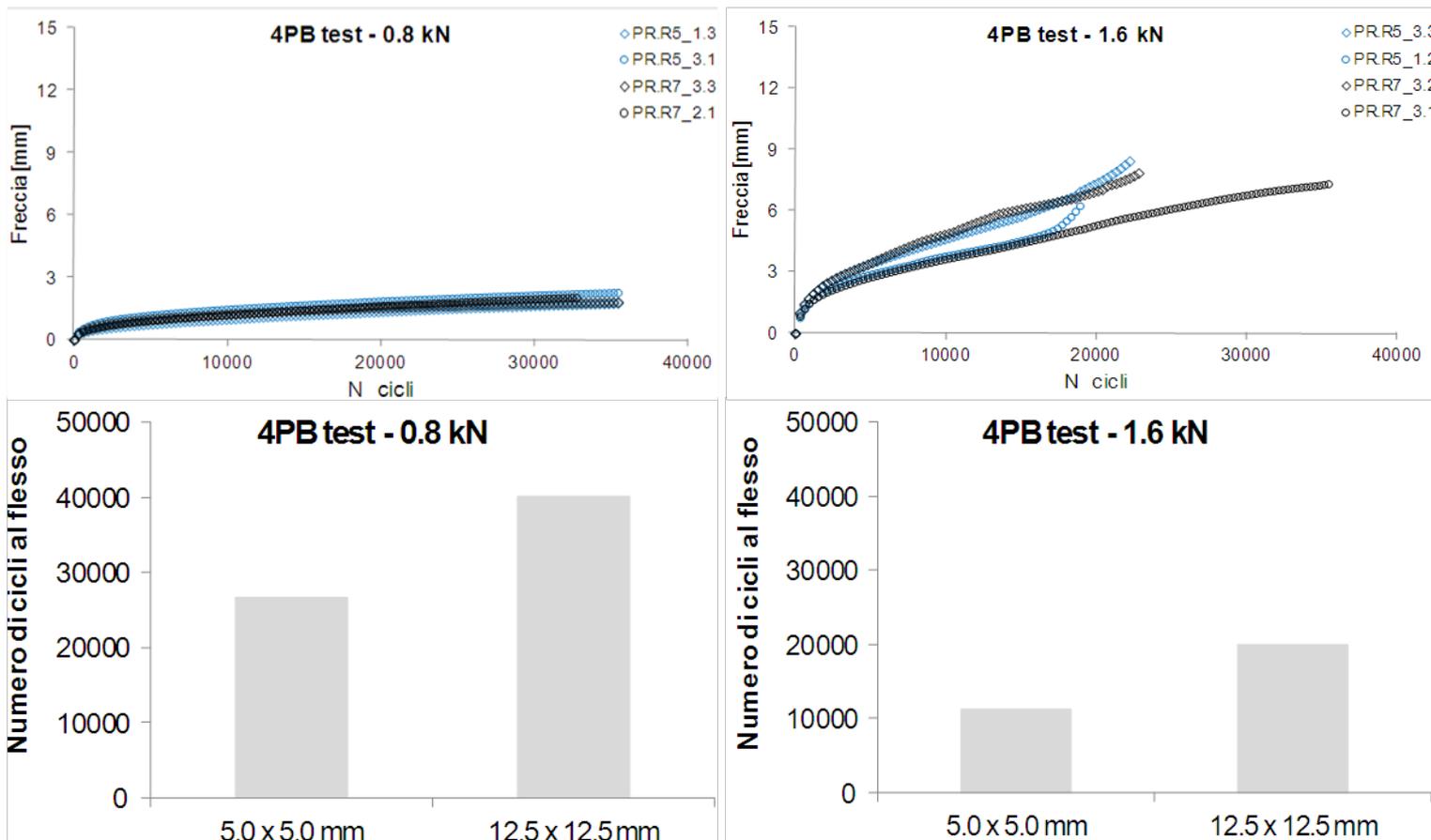
Ruolo del rinforzo



□ Sistemi rinforzati garantiscono maggiore resistenza ai carichi ripetuti

■ Studio di geocompositi ottimizzati: risultati prova 4PB

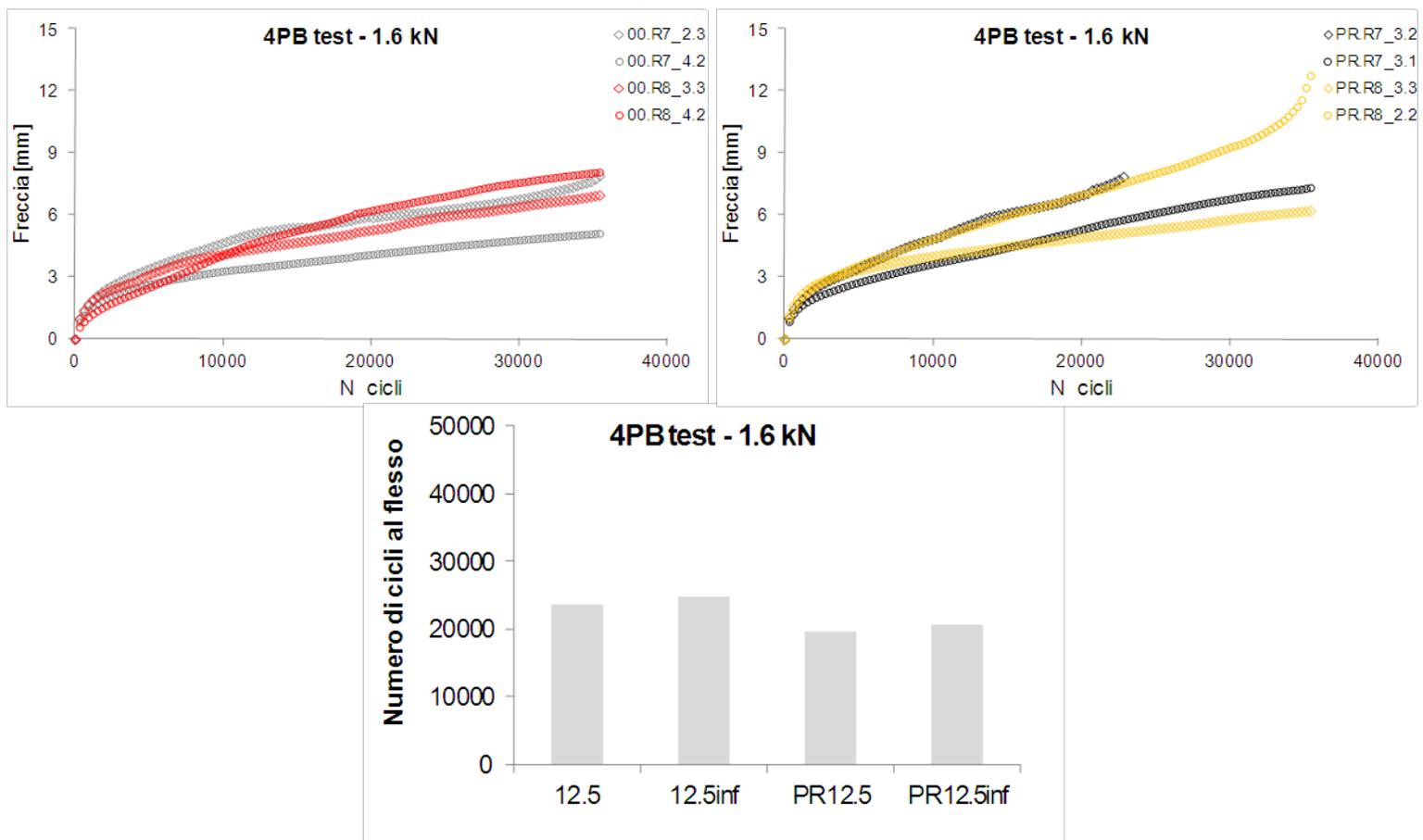
Influenza della dimensione della maglia del rinforzo



□ Maglia da $12.5 \times 12.5 \text{ mm}^2$ garantisce prestazioni migliorate

Studio di geocompositi ottimizzati: risultati prova 4PB

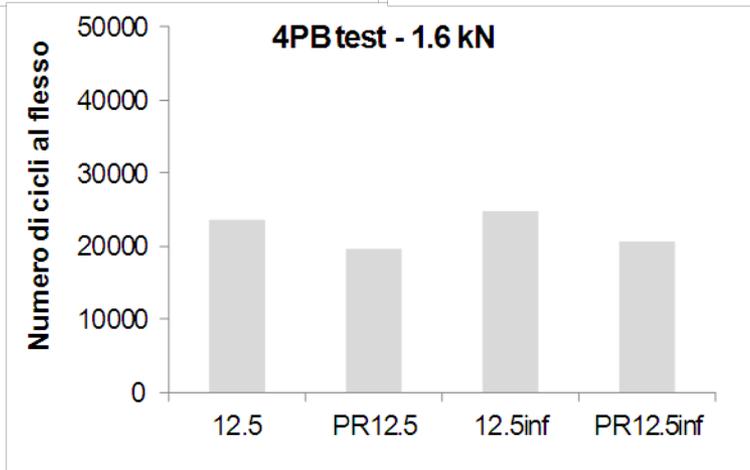
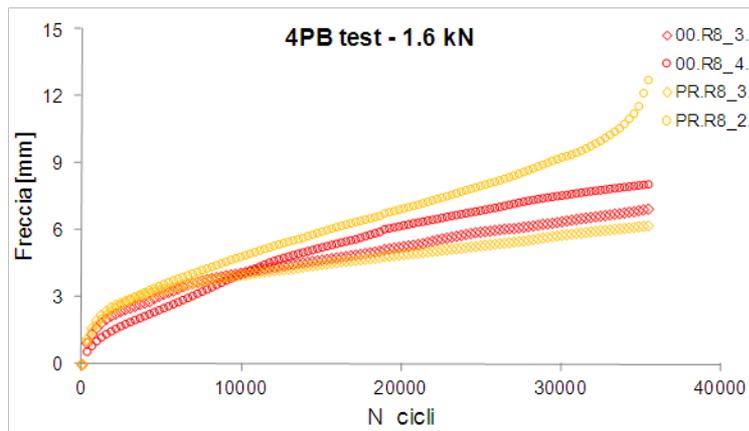
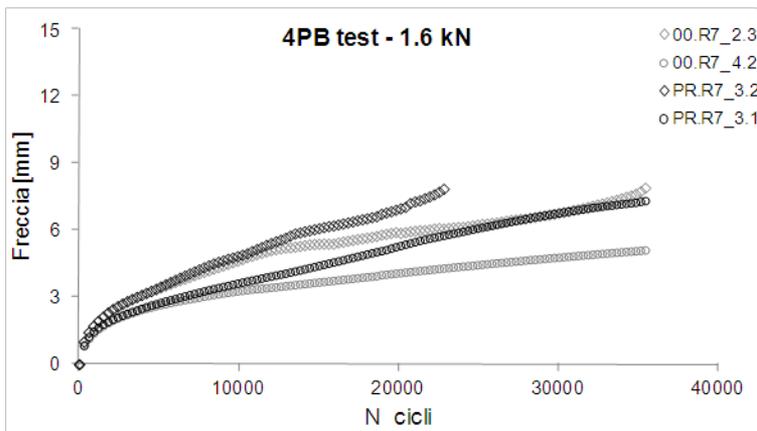
Influenza della posizione del rinforzo



□ Nessuna differenza sostanziale di prestazioni

Studio di geocompositi ottimizzati: risultati prova 4PB

Influenza delle condizioni all'interfaccia



□ L'applicazione di primer non fornisce contributi meccanici sostanziali

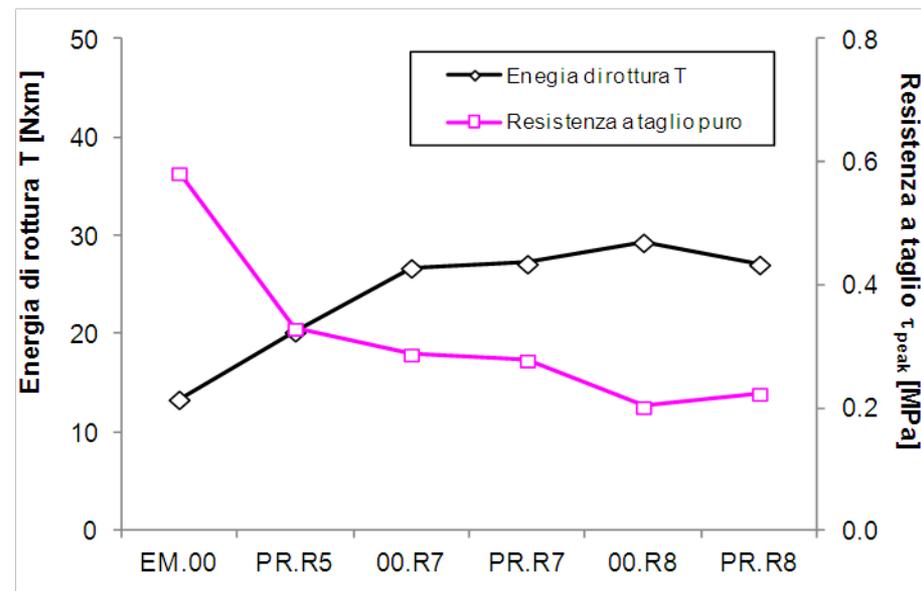
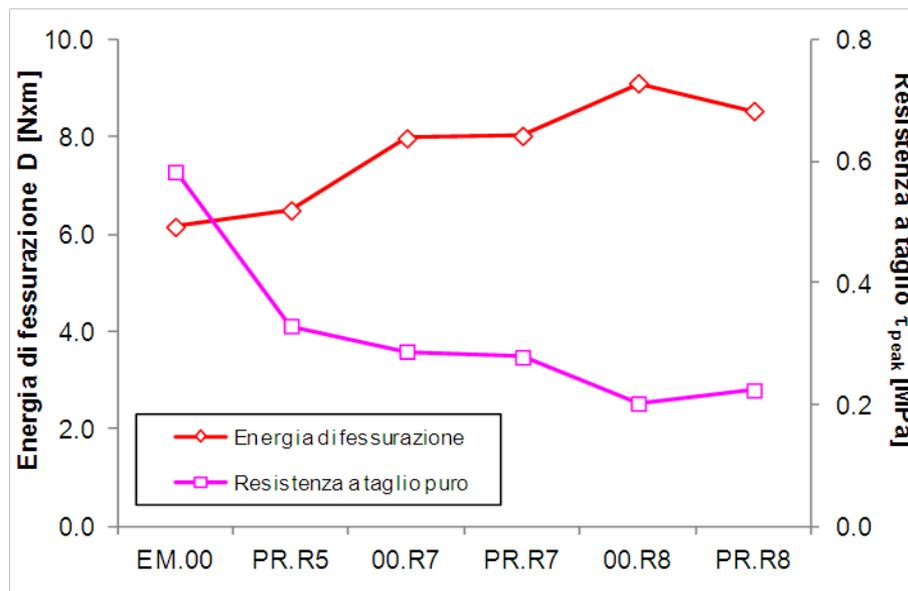
■ Studio di geocompositi ottimizzati

Sintesi evidenze sperimentali – prova 4PB

- L'utilizzo di geocompositi rinforzati all'interfaccia di sistemi bituminosi bistrato garantisce un sensibile incremento della resistenza ai carichi ripetuti
- L'applicazione del primer bituminoso all'interfaccia non produce significativi incrementi di resistenza flessionale
- La posizione del rinforzo non incide in maniera sostanziale sulle prestazioni meccaniche dei sistemi bituminosi rinforzati
- Il geocomposito rinforzato con rete da $5 \times 5 \text{ mm}^2$ ha restituito prestazioni inferiori rispetto al corrispondente materiale con rete da $12.5 \times 12.5 \text{ mm}^2$

Studio di geocompositi ottimizzati: analisi aggregata dei risultati

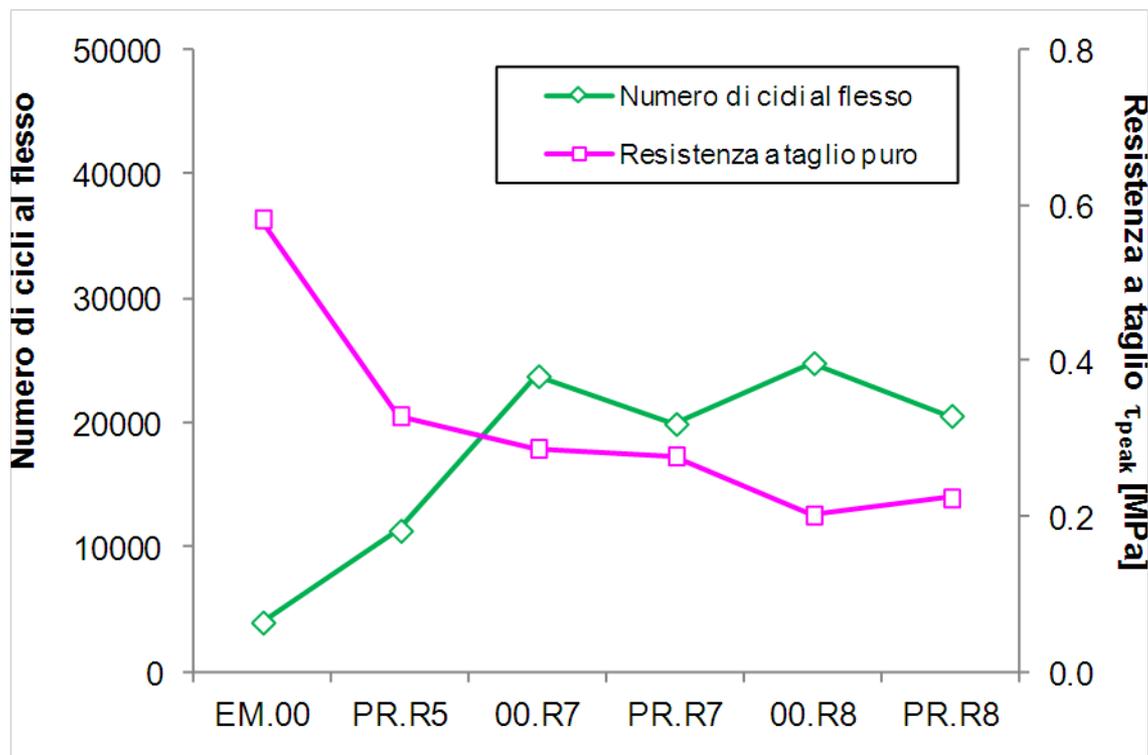
Prova ASTRA vs Prova 3PB



- Un sistema maggiormente solidale non necessariamente implica prestazioni migliori nei confronti della resistenza all'innesco e alla propagazione della fessurazione

■ Studio di geocompositi ottimizzati: analisi aggregata dei risultati

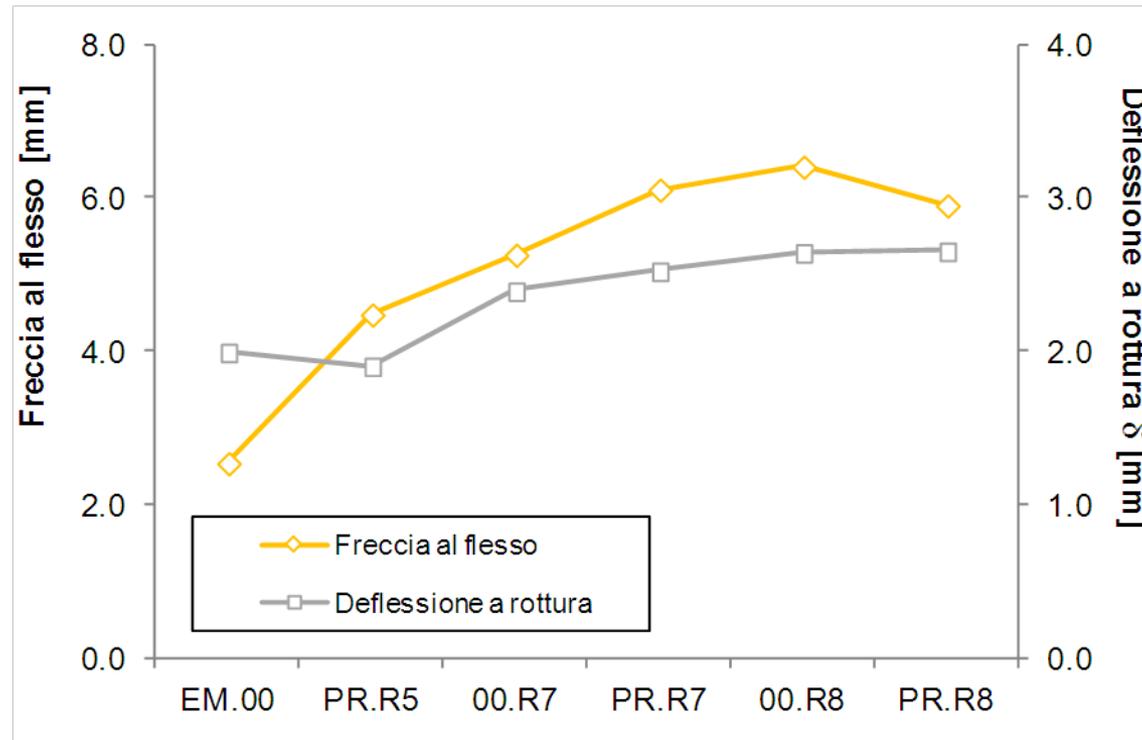
Prova ASTRA vs Prova 4PB



- **La sola resistenza a taglio non è in grado di fornire previsioni relativamente alle prestazioni a fatica del sistema bistrato**

■ Studio di geocompositi ottimizzati: analisi aggregata dei risultati

Prova 3PB vs Prova 4PB



- Chiara evidenza del ruolo fondamentale svolto dai geosintetici: rendere il sistema capace di resistere nei confronti di elevati livelli di deformazione prima di raggiungere il definitivo collasso

■ Studio di geocompositi ottimizzati

CONCLUSIONI

- I prodotti indagati hanno dimostrato la possibilità di evitare (in assenza di superfici fresate) l'applicazione di una mano d'attacco bituminosa
- L'applicazione di un geocomposito all'interfaccia determina una riduzione della resistenza a taglio rispetto alla configurazione non rinforzata
- Deciso miglioramento delle prestazioni di resistenza a carichi di tipo flessionale, sia statici che dinamici
- L'impiego dei geocompositi garantisce una spiccata dote di **ductilità** che rende le pavimentazioni particolarmente resistenti alla propagazione del danno e, quindi, maggiormente durevoli

Limitatamente alle variabili analizzate, il geocomposito realizzato mediante accoppiamento di una geomembrana bituminosa elastomerica ed una geogriglia di rinforzo in fibra di vetro con maglia pari a $12.5 \times 12.5 \text{ mm}^2$, è da ritenere ottimale per il rinforzo di pavimentazioni stradali flessibili.

6. Sperimentazioni ulteriori

■ Sperimentazioni ulteriori/1

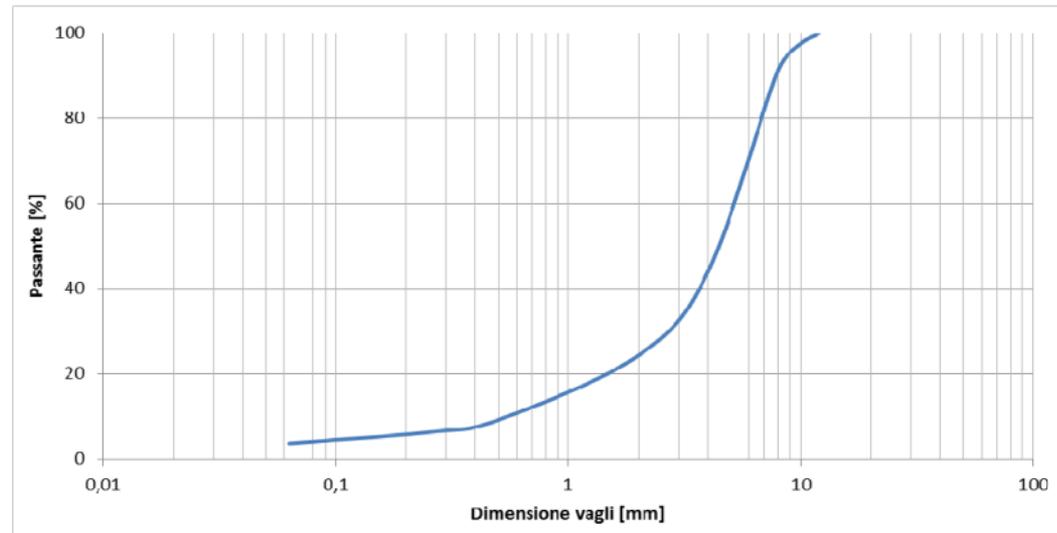
CONGLOMERATO BITUMINOSO:

- Percentuale di bitume: 5.9 %
- Dimensione max dei grani 10 mm

GEOCOMPOSITI DI RINFORZO: (compound elastomerico SBS)

- SAMI A (non tessuto di poliestere)
- SAMI B (non tessuto di poliestere)
- SAMI V (velo di vetro da 50 g/m²)

Materiali



SAMI A
(modulo inferiore)



SAMI B
(modulo superiore)

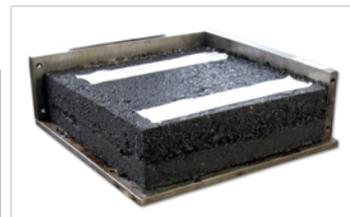


SAMI V

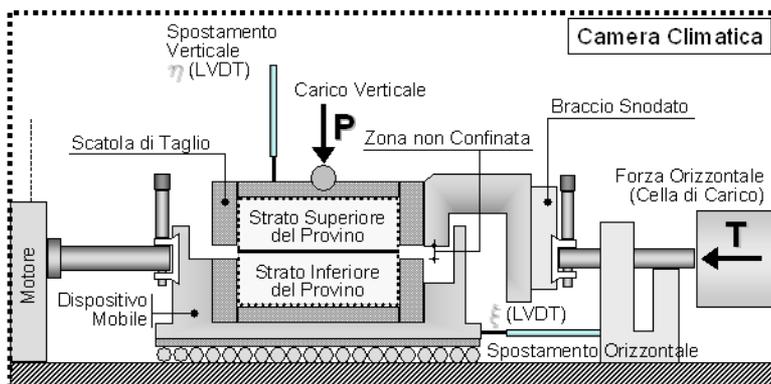
■ Sperimentazioni ulteriori/1

Caratterizzazione meccanica a taglio e flessione

□ Roller Compactor (UNI EN 12697-33)



□ Prova ASTRA – Norma UNI/TS 11214



□ Prova di flessione 3PB



■ Sperimentazioni ulteriori/1

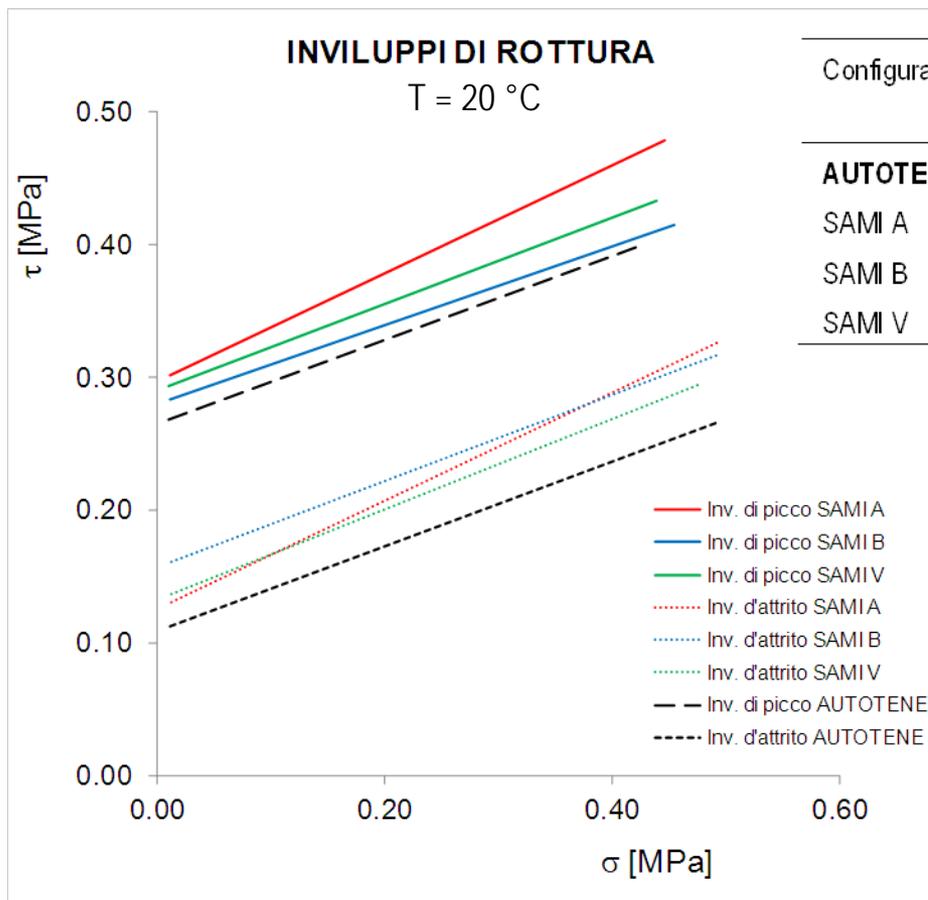
Programma Sperimentale

- n. 4 configurazioni: Non Rinforzata, SAMI A, SAMI B, SAMI V;
- n. $(4 \times 5) = 20$ piastre bistrato 305×305 mm²;
- n. 60 prove ASTRA (4 configurazioni \times 3 livelli di carico \times 5 ripetizioni);
- n. 24 prove di flessione 3PB (4 configurazioni \times 6 ripetizioni).

Configurazione all'interfaccia	Prova ASTRA (T= 20°C)			Prova 3PB (T = 20°C)
	n. ripetizioni			n. ripetizioni
	$\sigma = 0.0$ MPa	$\sigma = 0.2$ MPa	$\sigma = 0.4$ MPa	v = 50.8 mm/min
UN – non rinforzata	5	5	5	6
SAMI A	5	5	5	6
SAMI B	5	5	5	6
SAMI V	5	5	5	6

■ Sperimentazioni ulteriori/1

Analisi dei Risultati – Prova di Taglio ASTRA



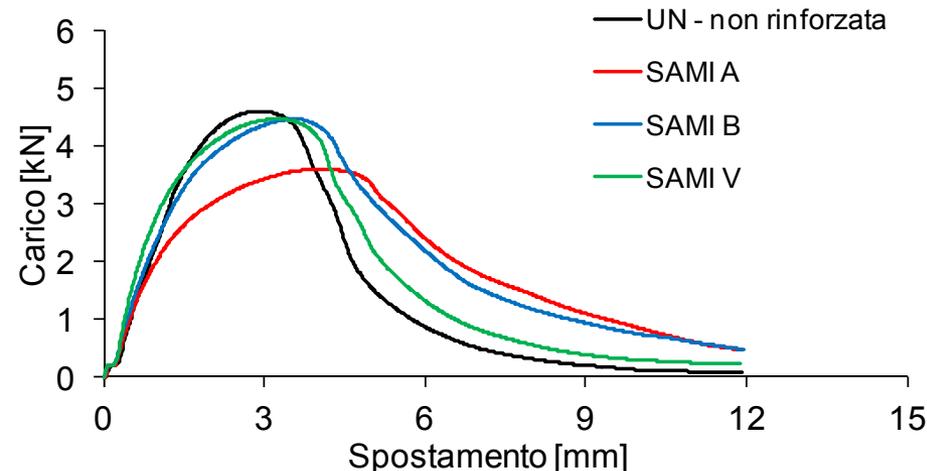
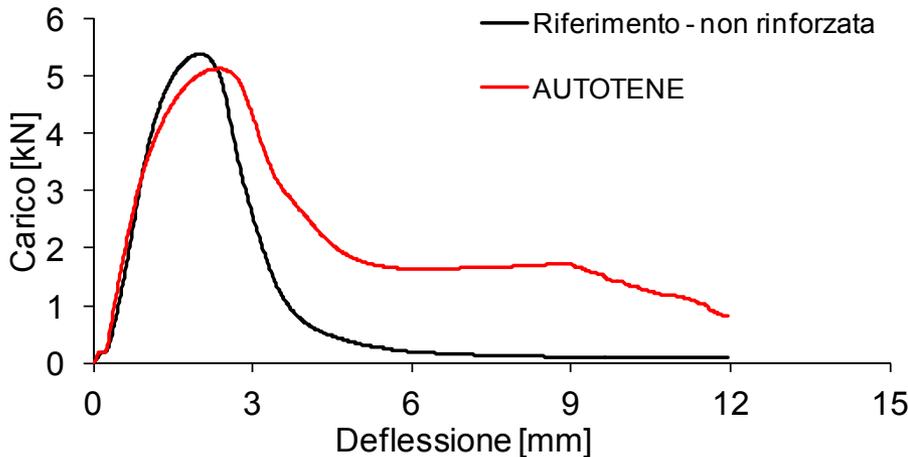
Configurazione all'interfaccia	$\tau_{peak} = c_0 + \sigma \operatorname{tg} \phi_p$		$\tau_{res} = c_{res} + \sigma \operatorname{tg} \phi_{res}$	
	c_0 [MPa]	ϕ_p [°]	c_{res} [MPa]	ϕ_{res} [°]
AUTOTENE	0.26	17.53	0.11	17.56
SAMI A	0.30	22.20	0.13	22.11
SAMI B	0.28	16.52	0.16	17.97
SAMI V	0.29	18.01	0.13	18.80



□ SAMI garantisce prestazioni lievemente superiori rispetto ad AUTOTENE

■ Sperimentazioni ulteriori/1

Analisi dei Risultati – Prova Flessionale 3PB



Configurazione all'interfaccia	P_{max}	δ	D	T
	kN	mm	N×m	N×m
UN – non rinforzata	4.60	2.94	8.67	18.51
SAMI A	3.60	4.15	10.90	23.88 (+29.0%)
SAMI B	4.46	3.53	10.83	25.53 (+37.9%)
SAMI V	4.47	3.12	9.73	21.47 (+16.0%)
Riferimento – non rinforzata	5.40	1.99	6.15	13.40
AUTOTENE	5.13	2.39	7.97	26.76 (+99.7%)

□ SAMI dimostra incrementi di duttilità ridotti rispetto ad AUTOTENE

■ Sperimentazioni ulteriori/2

Rinforzo/Impermeabilizzazione di Pavimentazioni Drenanti

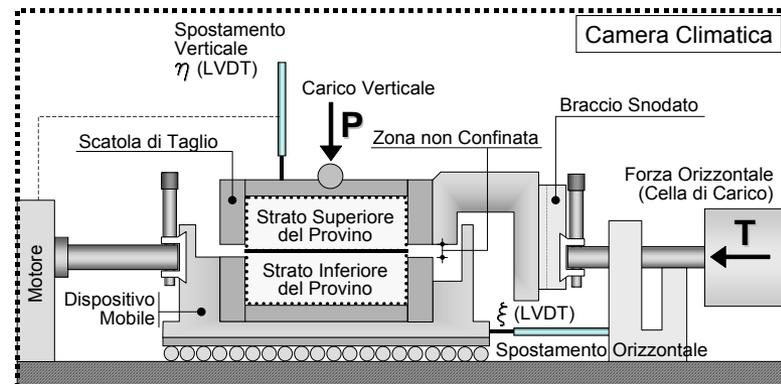
Sintesi Programma Sperimentale

- n. 3 configurazioni: Non Rinforzata, Autotene Asfaltico Antipumping, SAMI;
- n. $(3 \times 4) = 12$ piastre bistrato $305 \times 305 \text{ mm}^2$;
- n. 2 condizioni (asciutta – dopo 15 gg di immersione in acqua);
- n. 54 prove ASTRA (3 conf. \times 2 condizioni \times 3 livelli di carico \times 3 ripetizioni).

- Roller Compactor (UNI EN 12697-33)



- Prova ASTRA – Norma UNI/TS 11214



Grazie per l'attenzione