

EFFETTO DI “TIRE CHIPS” SULLE PROPRIETÀ MECCANICHE DI MISCELE TERRENO CEMENTO PER APPLICAZIONI DI GEOTECNICA AMBIENTALE

Massimo Grisolia

*Sapienza, Università di Roma
massimo.grisolia@uniroma1.it*

Enrico Leder

*Sapienza Università di Roma
enrico.leder@uniroma1.it*

Ignazio Paolo Marzano

*Sapienza Università di Roma
paolo.marzano@uniroma1.it*

Taka-aki Mizutani

*Port and Airport Research Institute
mizutani-t@pari.go.jp*

Yoshiyuki Morikawa

*Port and Airport Research Institute
morikawa@pari.go.jp*

Sommario

La presente nota riporta i risultati della campagna di prove di laboratorio condotta al fine di studiare l'effetto dell'aggiunta di “granulato di gomma da pneumatici” - tire chips - sulle proprietà meccaniche di una miscela terreno cemento, impiegato nella realizzazione di barriere impermeabili eseguite mediante la tecnologia del Soil Mixing (miscelazione meccanica). Il terreno studiato è una Sabbia argillosa artificiale, caratterizzata da un contenuto d'acqua del 16% e costituita dal 64% di Sabbia “Soma sand”, 27% di Argilla “Kawasaki clay” e 9% di Ghiaia. Sono stati impiegati tre diversi tenori di tire chips, additivati alla medesima miscela terreno cemento di partenza. Utilizzando apposita apparecchiatura triassiale, sono state eseguite prove di permeabilità durante i diversi gradini di carico di un processo di compressione ad espansione laterale libera. I risultati ottenuti indicano come la resistenza e la rigidità dei provini testati si riducano con l'incremento di tire chips, che portano verso un comportamento meno fragile. Contestualmente è stata osservata una riduzione della permeabilità a parità di step deformativo. Dai risultati acquisiti è possibile affermare come le tire chips addizionate alle miscele terreno cemento possano essere impiegate con successo in applicazioni di ingegneria geotecnica ambientale al fine di minimizzare la possibilità di rottura della barriera nei casi di deformazioni considerevoli dovute a cedimenti differenziali o eventi sismici.

Introduzione

In Italia si generano circa 350mila tonnellate di pneumatici fuori uso ogni anno: nel 2009, circa la metà è stata destinata al recupero energetico, il 20% è stata recuperata come materia ‘prima seconda’ per utilizzi urbani e industriali (la metà della media europea) e il restante 25% risulta disperso in traffici o pratiche illegali (Legambiente, 2010).

Lo sviluppo di metodi per il riutilizzo di copertoni esauriti in lavori di ingegneria civile rappresenta un campo di assoluto interesse dal punto di vista della sostenibilità ambientale.

È attualmente in fase di studio l'impiego del granulato di gomma, realizzato separando

automaticamente la gomma del copertone dal ferro e dalla fibra tessile in modo da formare un prodotto finale di gomma caratterizzato da opportune granulometrie, denominato tire chips. Applicazioni geotecniche delle tire chips riguardano l'impiego come materiale di riempimento per rilevati o a tergo di muri di sostegno, strato di smorzamento delle vibrazioni, strato di isolamento antigelo, strato drenante (Humphrey, 2003). Sono state recentemente proposte ulteriori applicazioni, che ne prevedono la miscelazione con il terreno sabbioso ai fini di una riduzione del potenziale di liquefazione, o l'impiego in aggiunta a miscele terreno-cemento al fine di aumentarne la duttilità, evitando il comportamento fragile (Yasuhara, 2008). Scopo del presente studio è quello di indagare l'effetto dell'aggiunta di tire chips sulle proprietà meccaniche di una miscela terreno cemento, da impiegare nella realizzazione di una barriera impermeabile, al fine di valutarne il mantenimento dell'efficienza prestazionale in presenza di elevate deformazioni. Si richiama il fatto che i diaframmi con funzione di barriera idraulica di protezione ambientale devono avere, secondo normativa, un coefficiente di permeabilità a 28 giorni inferiore a 1×10^{-9} m/s.

Programma e prove di Laboratorio

Il terreno studiato è una Sabbia argillosa artificiale, caratterizzata da un contenuto d'acqua del 16% e costituita dal 64% di Sabbia "Soma sand", 27% di Argilla "Kawasaki clay" e 9% di Ghiaia. Le caratteristiche dei materiali impiegati sono riportate in Tabella 1.

Tabella 1. Caratteristiche dei materiali impiegati

Kawasaki clay	w _n (%)	w _L (%)	w _p (%)	75µm - 2mm	5µm - 75µm	< 5µm
	57	48,6	23	14	42	44
Soma Sand	D ₆₀ (mm)	D ₅₀ (mm)	D ₁₀ (mm)	U _c = D ₆₀ /D ₁₀	Ghiaia	2,5mm - 5mm
	0,37	0,35	0,25	1,5		100

Le tire chips impiegate sono caratterizzate da una dimensione media di 2mm, densità 1,15 g/cm³, Modulo di Elasticità E = 4-6 MPa (Yajima & Kobayashi, 2008). Le caratteristiche delle tre miscele ottenute sono riportate in Tabella 2.

Sono stati impiegati tre diversi tenori di tire chips, pari a 0, 10 e 20% del peso secco del terreno additivati alla medesima miscela terreno cemento di partenza.

Come legante è stato impiegato cemento tipo Portland, additivato al 10% rispetto al peso secco del terreno e miscelato con acqua in rapporto 1:1 fino ad ottenere una miscela omogenea. La malta cementizia così ottenuta è stata successivamente aggiunta ai campioni di terreno insieme alla dose di tire chips prevista, ed è stata condotta la miscelazione per il tempo standard di 10 minuti utilizzando un idoneo mixer, tipo Hobart.

I terreni stabilizzati sono stati disposti in appositi stampi cilindrici di diametro 5 cm e altezza 10 cm in tre strati compattati mediante la tecnica del "Tapping" che prevede la compattazione di ciascuno strato mediante movimenti verticali dello stampo (50 colpi). I provini ottenuti sono stati infine inseriti all'interno di cassette di maturazione e mantenuti in condizioni di temperatura 20°C e umidità relativa 95%.

Tabella 2. Composizione delle miscele studiate

Miscela	Argilla [%]	Limo [%]	Sabbia [%]	Ghiaia [%]	Acqua [%]	Cemento [%]	Tire chips [%]
I	8,61	8,36	48,97	6,52	20,29	7,25	0,00
II	8,14	7,90	46,29	6,16	17,81	6,85	6,85
III	7,62	7,39	43,32	5,77	16,67	6,41	12,82

In corrispondenza dei tempi di maturazione previsti a 7 e 28 giorni, sono state eseguite prove di permeabilità durante i diversi step di carico di un processo di compressione ad espansione laterale libera (ELL), utilizzando apposita apparecchiatura triassiale (Figura 1). Le prove di conducibilità idraulica sono state condotte in accordo alle norme ASTM D5084, impiegando una pressione di cella pari a 40kPa e una pressione di flusso dal basso verso l'alto pari a 20 kPa. In seguito all'esecuzione della prova di permeabilità, si provvedeva all'annullamento della pressione di cella ed alla applicazione del successivo gradino di carico.

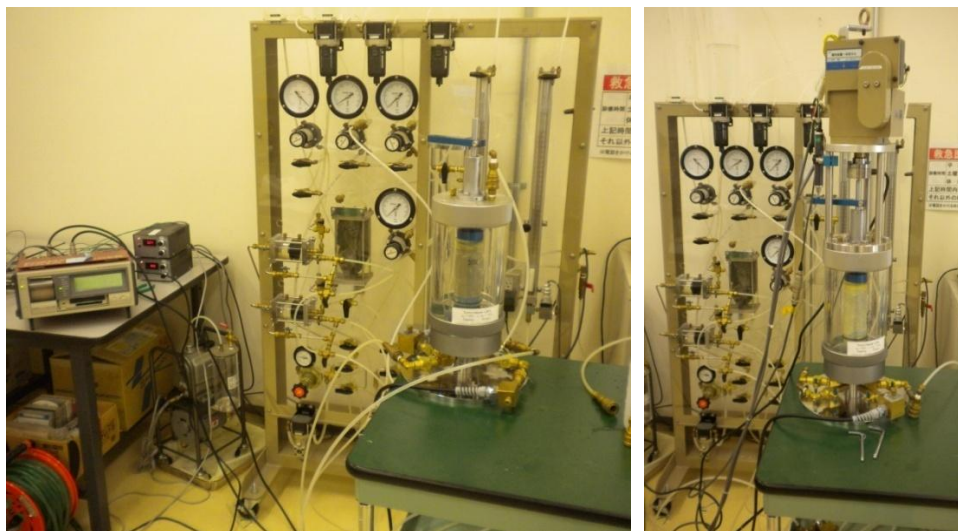


Figura 1. Apparecchiatura triassiale impiegata per le prove di permeabilità e di compressione.

Risultati ed analisi

I risultati ottenuti dallo studio sperimentale sono di seguito riportati, evidenziando l'effetto dell'aggiunta di tire chips e del tempo di maturazione sulle proprietà meccaniche di resistenza, rigidità e permeabilità dei terreni trattati.

Resistenza a compressione ad espansione laterale libera

Dalle prove di compressione ELL è stato possibile determinare la resistenza (q_u) a 7 e 28 giorni di maturazione per i tre tipi di miscela studiati. Per ciascuna miscela, sono stati impiegati tre provini per l'esecuzione di prove di compressione ELL, più un ulteriore provino sul quale condurre le prove di permeabilità durante i diversi step di carico a deformazione controllata. Le curve sforzi deformazioni ottenute sono riportate in Figura 2, dalle quali si nota come le miscele testate siano caratterizzate da un comportamento incrudente negativo. Le prove di permeabilità sono state condotte in corrispondenza dei punti segnati con il simbolo “●”. I risultati ottenuti indicano come la resistenza e la rigidità dei provini testati si riducano con l'incremento di tire chips, che conferiscono una maggiore deformazione a rottura e quindi un comportamento duttile. Tale circostanza è risultata maggiormente evidente per i provini maturati a 28 giorni.

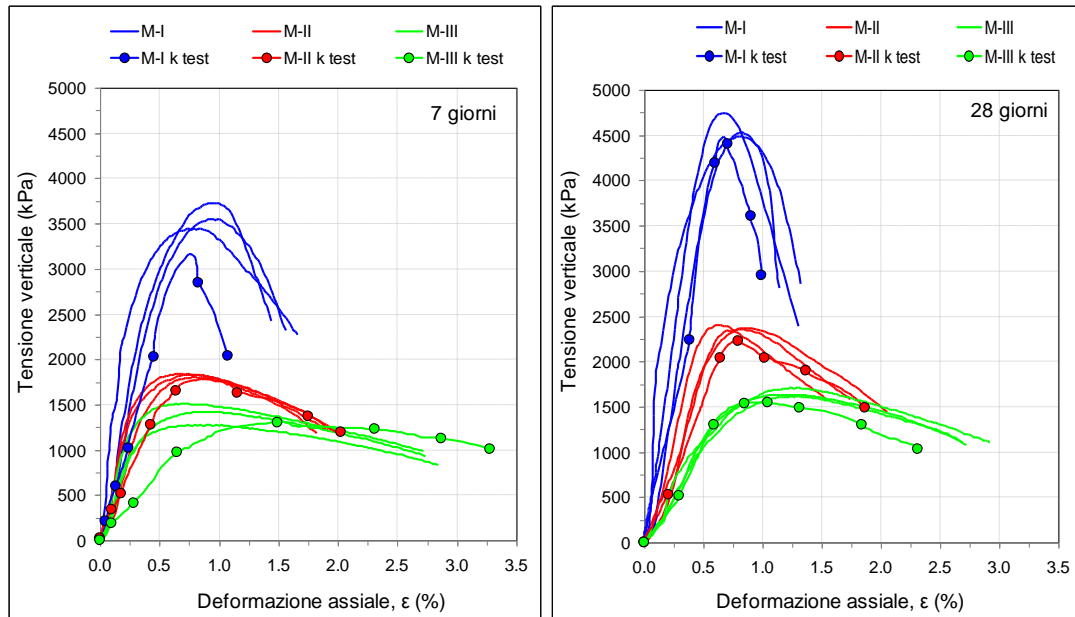


Figura 2. Curve tensione deformazione per i provini testati, a 7 e 28 giorni di maturazione

La resistenza delle miscele trattate è aumentata all'aumentare del tempo di maturazione, secondo il seguente rapporto, coerente con quanto riportato in letteratura per miscele terreneo-cemento: $qu_{28} / qu_7 = 1,18 \div 1,42$ (Figura 3). Si riporta inoltre in Figura 3 l'andamento del Modulo Secante, E_{50} per i due diversi tempi di maturazione testati.

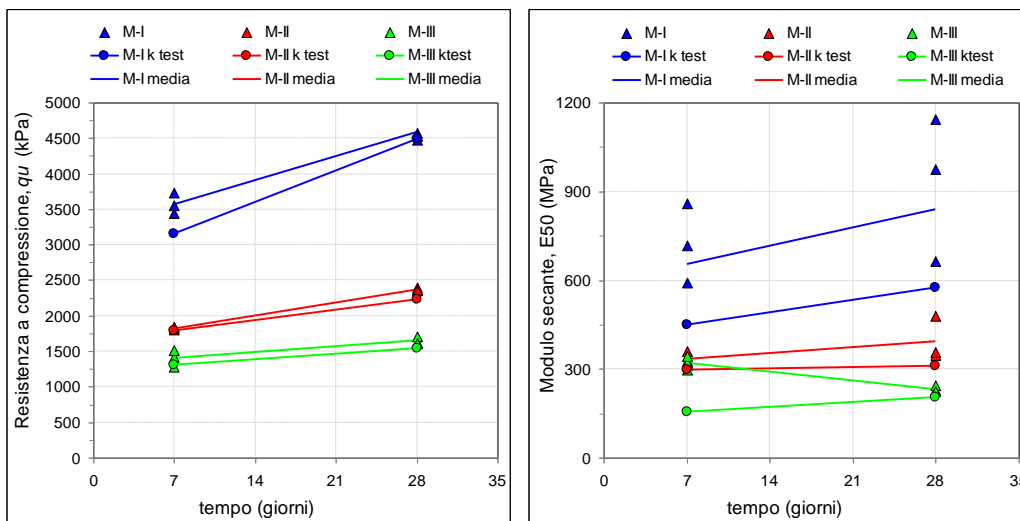


Figura 3. Resistenza a compressione non confinata, qu e modulo secante, E_{50} per diversi tempi di maturazione.

Permeabilità

In Figura 4 è rappresentata la variazione della conducibilità idraulica iniziale (k) con il tempo di maturazione. Sono stati riscontrati per le diverse miscele valori inferiori al limite imposto dalla normativa $k = 1 \times 10^{-9}$ m/s, e sono stati ottenuti simili rapporti tra i risultati a diversi tempi di maturazione: $k_{28} / k_7 = 0,34 \div 0,39$.

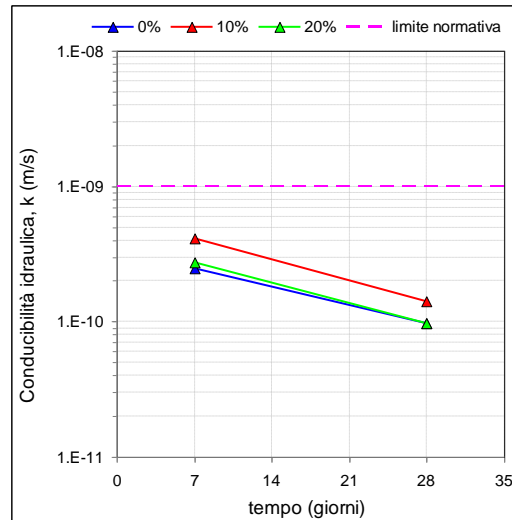


Figura 4. Relazione tra conducibilità idraulica iniziale e il tempo di maturazione per le diverse miscele analizzate.

La Figura 5 riporta l'andamento della permeabilità con le deformazioni subite dal provino nel corso della prova di compressione. La conducibilità idraulica è aumentata con il processo di compressione, con andamenti diversi a seconda della quantità delle tire chips presenti. Gli incrementi maggiori sono stati generalmente riscontrati in corrispondenza delle condizioni di picco, quando verosimilmente ha avuto inizio la propagazione delle fessure nel generico provino. Nei provini con aggiunta di tire chips (miscele II e III) è stata osservata un minore aumento della permeabilità a parità di step deformativo rispetto a quelli della miscela I. Per la miscela III sono state in particolare ottenuti valori di permeabilità, che a 28 giorni rimangono inferiori a $k = 1 \times 10^{-9}$ m/s, anche in corrispondenza di deformazioni pari all'1%. Come è stato riscontrato dall'esame visivo dei provini a fine prova (Figura 6) per la miscela I, in assenza di tire chips, è stata rilevata la presenza di una netta superficie di rottura, mentre per le miscele II e III è stata riscontrata la presenza di molteplici fessure sparse di dimensioni variabili, apparentemente non comunicanti.

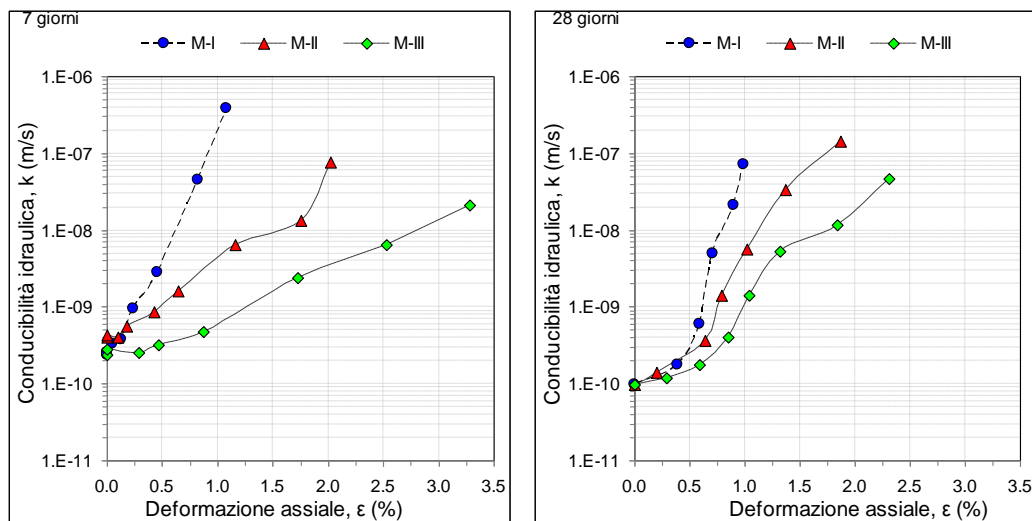


Figura 5. Relazione tra conducibilità idraulica iniziale e la deformazione assiale per le diverse miscele analizzate.

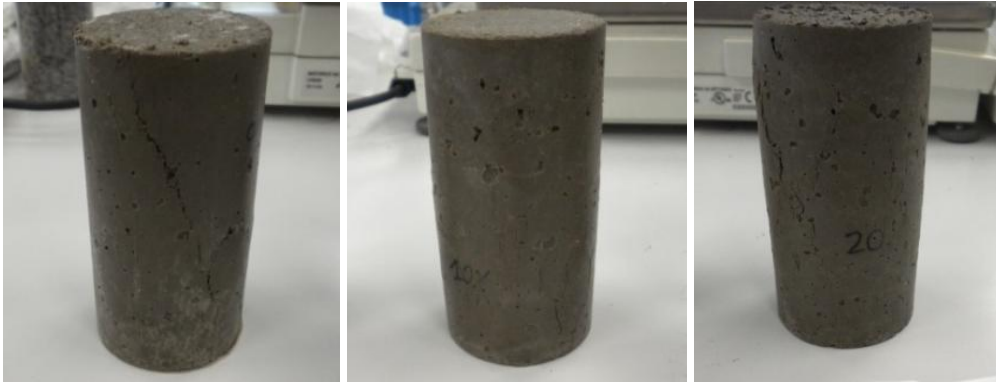


Figura 6. Provini testati a 28 giorni di maturazione, da sinistra verso destra con lo 0, il 10 e il 20% di contenuto di tire chips.

Conclusioni

Dalle prove di laboratorio eseguite è risultato che l'aggiunta di tire chips a miscele di terreno-cemento hanno l'effetto di contenere l'aumento delle permeabilità in presenza di deformazioni da stress. I risultati ottenuti costituiscono una utile base di conoscenza, anche se allo stato attuale necessariamente limitata e necessariamente da ampliare e validare mediante ulteriori studi e approfondimenti. Da questi primi risultati c'è comunque da ritenere che le tire chips addizionate alle miscele terreno-cemento possano essere impiegate con successo in applicazioni di ingegneria geotecnica ambientale al fine di minimizzare la possibilità di perdita di tenuta della barriera nei casi di deformazioni considerevoli dovute a cedimenti differenziali o eventi sismici.

Ringraziamenti

Lo studio presentato è frutto della collaborazione tra la Sapienza, Università di Roma, Dipartimento di Ingegneria Civile Edile e Ambientale (DICEA) e il Foundations Group del Port and Airport Research Institute (PARI), Yokosuka, Giappone.

Bibliografia

- ASTM D5084 (2000). Measurement of Hydraulic Conductivity of Saturated Porous Materials Using a Flexible Wall Permeameter. *American Standard Test Methods*.
- Humphrey, D.N. (2003). Civil Engineering applications of tire shreds. Report, California Intergrated Waste Management Board. California Environmental Protection Agency.
- Yasuhara, K. (2008). Recent Japanese experiences on scrapped tires for geotechnical applications. *Scrap Tire Derived Geomaterials – Opportunities and Challenges*. Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-0-415-46070-5.
- Legambiente, (2010). Copertone selvaggio - I numeri e le storie del traffico e dello smaltimento illegale di Pneumatici Fuori Uso (PFU) in Italia. Rapporto, ottobre 2010.
- Yajima, J. & Kobayashi, N. (2008). Isotropic pressure loop test and constant effective stress test on used tire rubber chips. *Scrap Tire Derived Geomaterials – Opportunities and Challenges*. Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-0-415-46070-5.