

Filippo Montanelli, Piergiorgio Recalcati

TENAX SpA, Viganò (Lecco) - Italia

IL RINFORZO DI SOTTOFONDI FERROVIARI CON GEOGRIGLIE: RISULTATI SPERIMENTALI ED ESEMPI APPLICATIVI

1. Premessa

Il presente articolo si concentra sull'impiego di geogriglie e geocompositi come elementi di rinforzo nei rilevati ferroviari soggetti a carichi dinamici. Saranno descritti e discussi i risultati sperimentali eseguiti a scala reale sia in laboratorio sia su lavori di ripristino su sottofondi cedevoli il cui progetto prevede l'impiego di geosintetici.

Molti rilevati in esercizio, realizzati tra la fine dell'800 ed i primi del '900, sono soggetti a cedimenti e ripetuti assestamenti per le cattive caratteristiche geomeccaniche dei materiali impiegati.

Per la verifica degli effetti del rinforzo e del comportamento a medio-lungo termine del geocomposito, negli interventi effettuati in Italia e in Slovenia, sono state realizzate sezioni strumentate e riportati i dati misurati.

2. Generalità sui principi/funzioni di rinforzo dei geocompositi nei rilevati ferroviari

Durante le fasi di progettazione e di realizzazione di rilevati ferroviari una delle componenti più delicate ed importanti è costituita dalla sovrastruttura su cui vanno posate le traverse e rotaie (ballast, sub-ballast e sottofondo); sollecitazioni e cedimenti elastici o permanenti avvengono in questi strati e sono dovuti a diverse cause tra cui i cicli di carico statici e dinamici. I rilevati ferroviari costruiti su terreni soffici necessitano un miglioramento delle loro caratteristiche geomeccaniche, oltre che una corretta compattazione degli strati.

Da questa affermazione si deve considerare una linea ferroviaria come una struttura composita, costituita da diversi parti, formata da terreno naturale e di riempimento, elementi di rinforzo, rotaie, traversine ed assali dei treni. Se a causa dell'inadeguatezza della struttura del rilevato ferroviario, tali carichi non sono trasmessi adeguatamente al materiale costituente il corpo del rilevato, e da questo al sottofondo, è possibile che si manifestino delle deformazioni anche importanti, che rendono necessari rallentamenti ai convogli lungo la linea, almeno fino a che non si provveda alla pressoché completa ricostruzione della stessa.

La funzione degli elementi che costituiscono il binario è di trasferire il carico assiale delle ruote in modo uniforme nel sottofondo.

L'inserimento di strati di geosintetici di rinforzo all'interno dei materiali granulari costituenti la struttura consente di ottenere strati di fondazione in grado di limitare l'insorgere di problemi di cedimenti, garantendo alla struttura una durabilità ed un grado di efficienza sicuramente maggiori.

Le funzioni che devono essere assolte dagli elementi di

rinforzo sono preminentemente quelle di garantire la separazione tra il materiale granulare ed il resto del rilevato, e soprattutto di rinforzare il materiale granulare stesso. La prima funzione è assolta in modo ottimale da geotessili non-tessuti; per la funzione di rinforzo, invece, risulta particolarmente indicato l'impiego di geogriglie, le quali:

- Creano una piattaforma rigida dove gli sforzi di taglio e i cedimenti verticali sono controllati e minimizzati;
- Incrementano la capacità portante e la distribuzione dei carichi attraverso un ampliamento della superficie di rottura, riducendo gli sforzi verticali che agiscono nel sottofondo;
- Incrementano la rigidità del materiale di riempimento dovuta ad una migliore compattazione del terreno, fornendo una costante ed uniforme resistenza a trazione e coesione a lungo termine, perfino in condizioni di elevati carichi dinamici e di velocità critica;

Di conseguenza, i rinforzi con geogriglie sono usati frequentemente, non solo, per il ripristino di rilevati ferroviari esistenti, ma anche per la costruzione di nuove linee ferroviarie con funzioni di rinforzo, filtrazione e separazione.

3. Ripristino e monitoraggio di due rilevati ferroviari esistenti in Italia e Slovenia

Negli ultimi anni su alcuni tratti di linee ferroviarie si è riscontrato un costante aumento di traffico sia in termini di volume sia di velocità, connesso con un aumento dei carichi assiali; ciò ha provocato fenomeni di instabilità e cedimenti localizzati e, in generale, scadimento delle condizioni portanti del piano di piattaforma; l'irregolarità dei suddetti fenomeni uniti al continuo transito di treni causano un continuo peggioramento dell'armamento ferroviario e del ballast.

Quindi, tali fenomeni provocano serie conseguenze per le normali condizioni di esercizio ferroviario sia in termini di sicurezza (riduzione della velocità) che di efficienza (maggiori costi di mantenimento).

La soluzione a tali fenomeni, il più delle volte, è legata alla realizzazione di strati di sottoballast di altezza adeguata e con caratteristiche geomeccaniche idonee: condizione essenziale per resistere alle tensioni più elevate. Ripristinare la parte più alta dei rilevati con uno o più strati portanti risulta talvolta, oltre che molto oneroso, del tutto impossibile in determinate condizioni di esercizio. Ad esempio, la rete a "maglia larga" delle linee

ferroviarie italiane non permette facili percorsi alternativi per interruzioni di binario, se non con un notevole aumento dei tempi e delle distanze di percorrenza. La regolarità geometrica ed il livello del binario dipendono soprattutto dal corretto comportamento di tutte le parti costituenti l'armamento e, dalla capacità dei materiali che costituiscono la superficie della piattaforma ad assorbire i carichi trasmessi. Anche lievi difettosità delle singole parti possono portare rapidamente ad un progressivo "deterioramento del binario" per effetto di un accumulo di deformazioni plastiche che si manifestano successivamente come una difettosità permanente.

Il rinforzo del sottoballast attraverso l'utilizzo di geogriglie, consente una riduzione della profondità di scavo e allo stesso tempo assicurano un eccellente risultato a lungo periodo (Buonanno et al.[4]).

Di seguito è spiegato, in linea generale, lo schema di lavoro relativo al progetto di ripristino della linea ferroviaria Foligno-Terontola, a semplice binario, costruita nella seconda metà dell'800. Questa linea rappresenta un importante asse di trasporto in quanto oltre a servire una vasta clientela locale, ha certamente una valenza turistica mettendo in comunicazione importanti centri storici e d'arte dell'Umbria centrale (Campello, Trevi, Foligno, Assisi, Perugia).

La situazione che si riscontra lungo la linea è rappresentata da rilevati di altezza non rilevanti, fino a circa 4 metri dal piano campagna, con varie situazioni di instabilità per cedimenti che si presentano in modo ripetitivo, con frequenza ciclica, seguendo l'andamento meteo stagionale di piovosità, così da avere il ripetersi di fenomeni di rigonfiamento ed essiccamento che coincidono con i fenomeni di instabilità. Tali instabilità sono dovute principalmente alla scarsa qualità del materiale di costituzione del rilevato nonché dei terreni del sito per lo più rappresentati da sedimenti alluvionali recenti ed argille lacustri.

In vicinanza di Spello, tra i Km 7+500 e 10+800, i rilevati presentano una altezza variabile da 0.5 a 1.5 metri e le indagini geognostiche eseguite hanno permesso di individuare una stratificazione sostanzialmente uniforme e costituita, per almeno i primi 10 metri, da terreni argillosi normalmente consolidati.

La soluzione progettuale è stata determinata, attraverso l'ausilio di un programma di calcolo agli elementi finiti (F.E.M.), dove è stato possibile modellare il comportamento ciclico stagionale e prendere in considerazione la condizione di rilevato con altezza di 1.5 m e uno strato di ballast di spessore 0.50 m.

L'analisi agli elementi finiti, le osservazioni, lo studio dei risultati ottenuti in relazione alle condizioni di esercizio della linea in esame hanno portato a scegliere come soluzione tecnico-economica più idonea quella che prevedeva la rimozione di 0.70 m di materiale al di sotto delle traverse (sottoballast) con sostituzione di 0.40 m di materiale granulare e la stesa di geocomposito (geogriglia-geotessile non tessuto) in doppio strato (Figura 1).

L'utilizzo combinato di terreno granulare e drenante riduce la presenza d'acqua all'interno del rilevato e perciò riduce anche i cicli di rigonfiamento ed essiccamento; inoltre la base resa rigida dalla presenza del

geocomposito consente una migliore distribuzione delle tensioni attraverso l'intera sezione.

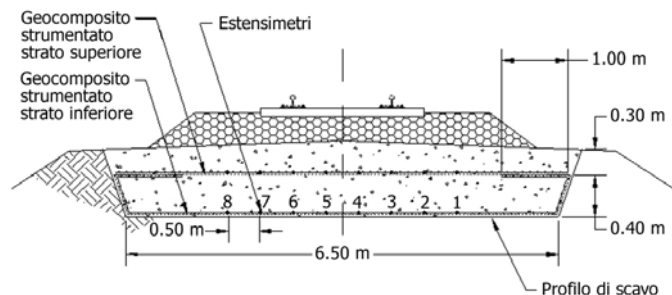


Figura 1: Sezione trasversale del rilevato ferroviario rinforzato con un doppio strato di geocomposito costituito da accoppiamento di geogriglie e geotessili: il risvolto del geocomposito, il piano degli estensimetri, il ballast ed il sotto-ballast.

Il geocomposito utilizzato, tipo TENAX GT 330, è costituito da una geogriglia integrale estrusa e bistrata in polipropilene (PP), TENAX LBO 330 SAMP, e da un geotessile non tessuto saldato sulla parte inferiore della geogriglia. Questo geosintetico offre proprietà di confinamento e di rinforzo dovute all'elevato modulo a trazione, l'alta resistenza nelle giunzioni ed assicura la funzione di filtrazione; le proprietà meccaniche del geocomposito sono mostrate nella tabella 1.

Tabella 1: Proprietà del geocomposito e della geogriglia

Nome del Prodotto	GT 330	LBO 330 SAMP
Resistenza a Trazione su banda larga, MD x TD	30 x 30 kN/m	30 x 30 kN/m
Deformazione di picco con banda larga, MD x TD	11 x 11%	11 x 11%
Resistenza a trazione al 2% di deformazione, su banda larga, MD x TD	10.5 x 10.5 kN/m	10.5 x 10.5 kN/m
Resistenza a trazione al 5% di deformazione, su banda larga, MD x TD	21.0 x 21.0 kN/m	21.0 x 21.0 kN/m
Peso unitario	560 g/m ²	420 g/m ²
Resistenza residua dopo l'installazione	100%	100%
Maglia della geogriglia	40 x 27 mm	40 x 27 mm
Diametro efficace dei pori del geotessile	0.08 - 0.13 mm	None

Gli interventi previsti per il ripristino del tratto di linea sono stati eseguiti di notte per minimizzare l'interruzione dell'esercizio ferroviario e per "campate", ciascuna di lunghezza 30 ml, sfruttando gli intervalli di esercizio di circa 6 ore ognuno; in queste 6 ore, la sezione ferroviaria interessata è stata smontata, scavata, rinforzata con il geosintetico, riempita con materiale granulare compattato, ricostruito il ballast e l'armamento ferroviario senza fermare il transito dei treni (Figura 2). Complessivamente l'estesa dell'intervento ha interessato 2000 ml di sede e la durata complessiva dei lavori è stata di due mesi.

Dato il tipo di intervento, si è ritenuto di monitorare il comportamento a medio e a lungo termine del geocomposito posto in opera; ciò per avere anche indicazioni sull'efficacia complessiva dell'intervento e sulla stabilità nel tempo della geometria del binario.

a)



b)



Figura 2: a) particolare di una zona prima degli interventi; b) posa in opera del materiale granulare sul geocomposito durante la notte

A tale scopo sono stati inseriti sul geocomposito otto estensimetri elettrici, così da realizzare una sezione di misura trasversale all'asse della sede. Gli estensimetri installati su ciascun piano di rinforzo con una spaziatura di 0.50 m, sono stati posti sia sulla geogriglia situata sul sottofondo sia sulla parte avvolgente il materiale granulare così da avere dati differenziati per profondità.

Gli estensimetri sono di lunghezza 50 mm, hanno la caratteristica di essere autocompensanti al variare della temperatura e di avere una deformazione massima del 3 %.

Tale strumentazione è stata connessa ad una centralina di acquisizione/memorizzazione dati con una frequenza di acquisizione superiore a 1 kHz.

I dati acquisiti ed elaborati sono stati rilevati al passaggio di un treno formato da otto carrozze passeggeri e si riferiscono ad estensimetri posizionati nello strato del geocomposito superiore, a circa 0.30 m sotto il piano campagna.

Dalla figura 3 si può notare che le deformazioni del geocomposito risultano modeste: i picchi sono dell'ordine dello 0.14 % al passaggio degli assi del locomotore e diminuiscono a 0.08 % sotto il carico degli assi delle carrozze.

È interessante osservare che la forma delle curve deformazione/tempo di tipo ciclico, si adattano molto bene con le condizioni cicliche di carico dovute agli assi delle carrozze.

a)



b)



Figura 3: dati rilevati durante il passaggio del treno dall'estensimetro n. 5 (a) e 6 (b) installati sulla parte superiore della geogriglia a 0.30 m di profondità.

Gli estensimetri posti lateralmente, a distanza maggiore di 1 metro dalla rotaia, hanno riscontrato deboli sollecitazioni e deformazioni (dell'ordine di 0.03%), a testimonianza che il geocomposito unitamente al complesso degli interventi di ripristino e di rinforzo eseguiti, contribuisce alla ripartizione delle tensioni ed alla stabilità del sottofondo, quindi a mantenere la costanza geometrica del piano di piattaforma.

L'uso di geogriglie integrali estruse ad alto modulo in PP, hanno dimostrato e garantiranno una riduzione degli sforzi verticali nel sottofondo del rilevato e hanno permesso di ridurre lo spessore dello strato di sottoballast.

Facendo un'analisi costi/benefici, si deve affermare che, da un lato, l'influenza del costo del geocomposito su tutto il costo dell'opera di ripristino è stata minima, e dall'altro è stato ottenuto un incremento in termini di efficienza e durata a lungo periodo.

Un'ulteriore applicazione pratica, realizzata negli ultimi anni (1996), ha interessato il ripristino di rilevati esistenti tra Celje - Slovenia della linea ferroviaria Trieste - Vienna. Questa linea è caratterizzata da terreni di tipo limosi/argillosi aventi un modulo elastico E, minore di 10 MPa e il ripristino ha interessato un solo binario alla volta,

in modo da non bloccare il transito dei treni; si è provveduto alla completa rimozione di tutta la massiccata ferroviaria ed è stata rinforzata con uno strato di geogriglia tipo TENAX LBO 401 SAMP accoppiata con uno strato di geotessile con funzione di separazione. La tabella 2 mostra le caratteristiche meccaniche della geogriglia e le figure 4 e 6 mostrano la sezione tipo d'intervento a doppio binario.

Tabella 2: Proprietà della geogriglia

Nome del Prodotto	LBO 401 SAMP
Resistenza a Trazione su banda larga MD x TD	30 x 40 kN/m
Deformazione di picco con banda larga MD x TD	11 x 11%
Resistenza a trazione al 2% di deformazione, su banda larga MD x TD	10.5 x 12.0 kN/m
Resistenza a trazione al 5% di deformazione, su banda larga MD x TD	21.0 x 24.0 kN/m
Peso unitario	600 g/m ²
Resistenza residua dopo l'installazione	100%
Maglia della geogriglia	34 x 27 mm
Diametro efficace dei pori del geotessile	None

a)



b)



Figura 6: Fasi di sbancamento del rilevato esistente e stesa del geocomposito nella parte di massiccata ferroviaria soggetta a ripristino

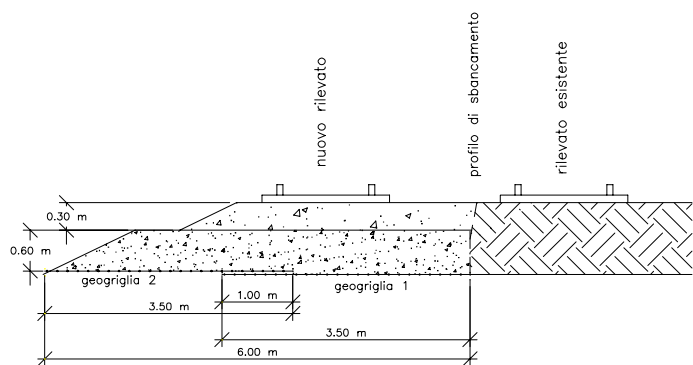


Figura 4: sezione tipica dell'intervento

Anche per questo tipo di progetto, lungo una sezione, sono stati installati estensimetri elettrici sulla geogriglia posizionati a 0.90 m di profondità dal piano delle traversine; i dati relativi allo sforzo misurato dal passaggio di un treno passeggeri sono rappresentati nella figura 5 dove la curva deformazione/tempo mostra valori di sollecitazione molto bassa (0.03%).

Queste deformazioni concordano con i precedenti test empirici e con quelli eseguiti da Selig e Waters (1994) [1], dove i valori osservati rispettivamente nel sottofondo e sottoballast variano tra 0.7% e 0.01 %. Questi valori molto bassi, dimostrano l'efficienza delle geogriglie usate per il rinforzo e confinamento del materiale granulare.

4. Progetto di una nuova linea ferroviaria: risultati sperimentali a scala reale

Per la costruzione di una nuova linea ferroviaria ad alta velocità, si incontrano simili problemi a quanto visto in precedenza in quanto i cedimenti ammissibili sono dell'ordine di un millimetro.

Jain e Kesheav (1999) [2] hanno eseguito un serie di prove a scala reale per dimostrare che il rinforzo con geogriglie installate alla base e all'interno del rilevato consentono di ridurre gli sforzi verticali e, di conseguenza, i cedimenti.

La figura 7 mostra l'apparato sperimentale e la relativa sezione trasversale del terreno; l'area di prova era costituita da un binario di lunghezza 13 metri, di larghezza complessiva 3.75 m, sulla quale è stata costruita un'apparecchiatura in grado di simulare diversi carichi assali variabili da 16.0 a 30.0 t con frequenza da 2 a 5 Hz.

Analizzando la sezione dal sottofondo fino alle traversine, la stratigrafia del terreno utilizzato è la seguente: 2 metri di sabbia scarsamente compattata, 0.60 m di sottoballast (non rinforzato, rinforzato con uno o due strati di geogriglie TENAX LBO 330 SAMP (30 x 30 kN/m) posizionate nel limite inferiore e superiore di questo strato) e infine 0.30 m di ballast.

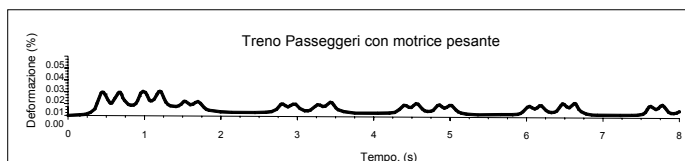


Figura 5: Rilevazione dati di deformazione tramite estensimetri durante il passaggio di treno passeggeri

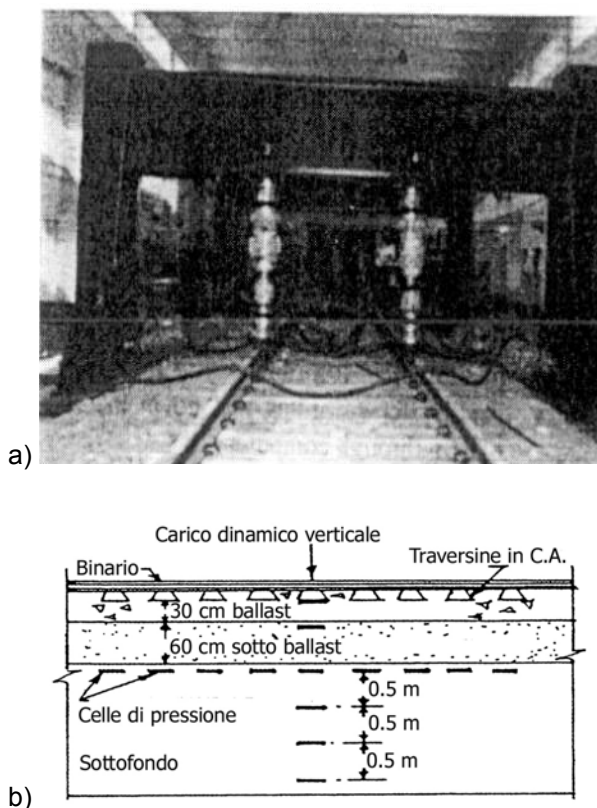


Figura 7: a) Apparato di prova a scala reale; b) Sezione trasversale del terreno di prova

Dai dati rilevati ed elaborati, la riduzione degli sforzi verticali alla base del sottoballast è di circa 8 kPa per uno strato di geogriglia e di 13 kPa per doppio strato di geogriglia (Figura 8); la diminuzione delle deformazioni si verifica per qualunque carico assiale applicato. In figura 8b è illustrato l'andamento degli sforzi verticali all'interno del terreno di sottoballast, misurati su scala reale, al variare del carico dell'assale e della sezione realizzata (non rinforzata, rinforzata con uno o 2 strati di geogriglie integrale estrusa in PP). Dalla figura 8b, si può notare come, per un assale da 20 t, gli sforzi normali a 0.90 m di profondità sotto il piano delle traversine, si riducono del 25% ed il 30% rispettivamente per la presenza di uno o due strati di rinforzo. La tabella 3, mostra come la presenza di uno strato di rinforzo riduce gli sforzi verticali dinamici nel terreno di sottoballast alla struttura ferroviaria dal 40 % al 20 %, mentre per due strati di rinforzo il decremento è variabile dal 60% al 30 %.

Tabella 3: influenza degli strati di rinforzo con geogriglie nella riduzione degli sforzi dinamici verticali

Carico per assale [t]	Sezione non rinforzata		Sezione con singolo strato di geogriglia		Sezione con doppio strato di geogriglia	
	Sforzo verticale [kPa]	%	Sforzo verticale [kPa]	Riduzione di sforzo %	Sforzo verticale [kPa]	Riduzione di sforzo %
16.00	18.79	100%	10.94	42%	7.51	60%
20.32	24.84	100%	16.99	32%	13.07	47%
22.10	27.34	100%	19.49	29%	15.56	43%
25.00	31.40	100%	23.55	25%	19.63	37%
30.00	38.41	100%	30.56	20%	26.64	31%

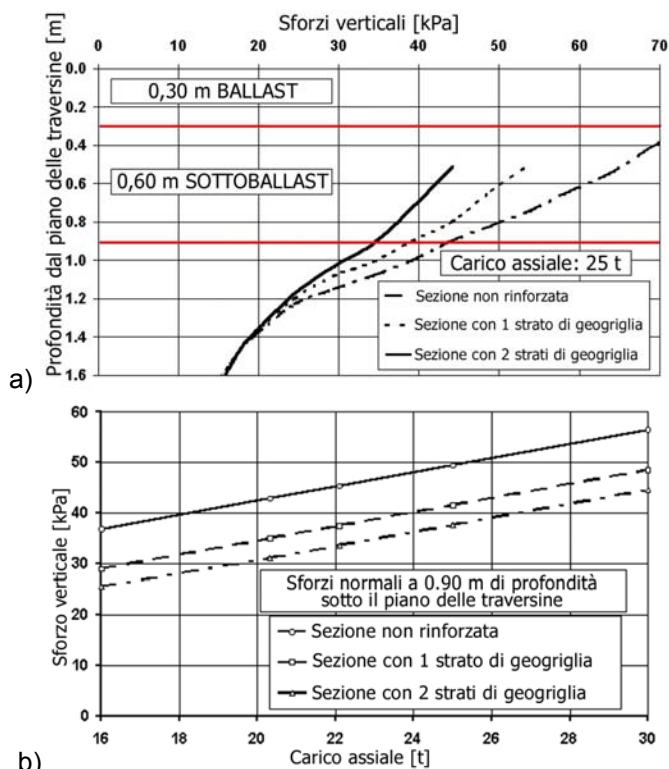


Figura 8: Andamento degli sforzi verticali all'interno del terreno di sottoballast al variare della sezione realizzata, misurati empiricamente su scala reale, in funzione della profondità (a) e del carico dell'assale (b) (Jain e Kesheav).

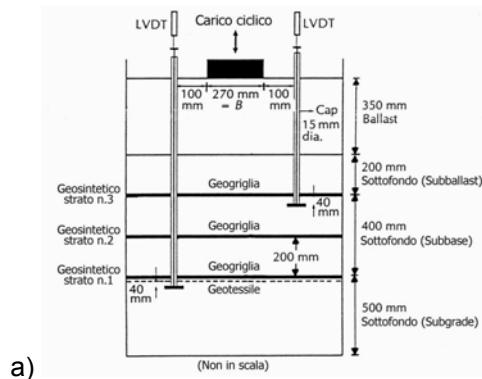
Un simile risultato è stato ottenuto da altri autori (Shin, Kim e Das) [3] attraverso una serie di prove a scala reale su sezioni ferroviarie rinforzate da geogriglie. La tabella 4 mostra le caratteristiche geologiche degli strati del terreno utilizzato nelle prove.

Tabella 4: caratteristiche fisiche del terreno di prova

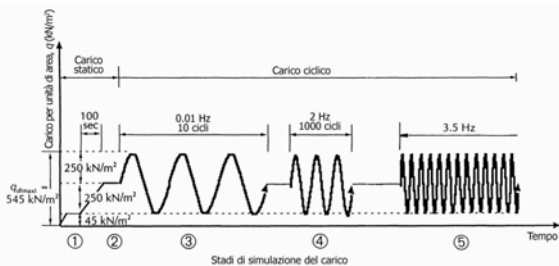
Indice	Sottoballast (Subbase)	Sottoballast (Subgrade)
Peso dei grani, $G_s = \gamma_s / \gamma_w$	-	2.64
Coefficiente di uniformità, C_u	6.5	2.0
Indice di compressione, C_c	1.35	0.84
Classificazione (USCS)	GW	SP
Percentuale di materiale fine passante al setaccio ASTM n. 200 (0.075 mm)	0.9	9.0
Peso di volume massimo secco (<i>maximum</i>), $\gamma_{d(max)}$ (kN/m ³)	21.2	15.5
Contenuto d'acqua <i>optimum</i> , w_{opt} (%)	9.14	8.6

Di seguito sono mostrati gli eccellenti valori dei cedimenti registrati durante le prove, rilevati dopo l'applicazione di carichi ciclici pari a mezzo milione, con medesima frequenza a quella dei treni ad alta velocità.

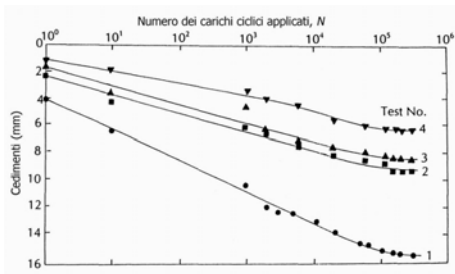
Dai risultati contenuti nella tabella di figura 9, l'utilizzo di strati di rinforzo con geogriglie incrementano la rigidità complessiva del suolo in misura del 163, 179 e 238% rispettivamente con uno, due, strati di geogriglie ed inoltre riducono le deformazioni verticali in misura del 39, 44 e 58%. Tali decrementi di sforzo devono anche essere visti come una riduzione dei cedimenti complessivi nella struttura del rilevato e nel terreno.



a)



b)



c)

Test n°	Sezione Rinzorzata / Non Rinzorzata	Cedimento			Riduzione			Rigidezza		
		d _l	d _s	d _d	R _l	R _s	R _d	S _l	S _s	S _d
1	Sezione non rinzorzata	15,2	8,4	6,8	0	0	0	100	100	100
2	1 geotessile, 1 geogriglia	9,3	5,7	3,6	39	32	47	163	147	189
3	1 geotessile, 2 geogriglie	8,5	5,55	2,95	44	34	57	179	151	231
4	1 geotessile, 3 geogriglie	6,4	5	1,4	58	40	79	238	168	486

d_l, R_l, S_l = Cedimento, Riduzione, Rigidezza complessiva (subbase e subgrade)

d_s, R_s, S_s = Cedimento, Riduzione, Rigidezza misurati nel sottofondo (subbase)

d_d, R_d, S_d = Cedimento, Riduzione, Rigidezza misurati nel sottofondo (subgrade)

d)

Figura 9: l'apparato sperimentale (a), gli stadi di simulazione del carico (b), i cedimenti registrati al variare della sezione realizzata (c), quelli relativi al sottofondo (subbase e subgrade) con i relativi decrementi in percentuale (d).

L'applicazione di carichi ciclici consentono di evidenziare il fenomeno della mazzatura del binario che aumenta con incremento del transito dei treni; questo fenomeno, dovuto alle deformazioni plastiche generate nel ballast o nel sottofondo, comporta conseguenze in termini di efficienza e sicurezza ed è diverso dalle spaccature interne che si verificano nella struttura, come i movimenti franosi. Per ovviare a questi inconvenienti, il corretto uso di materiali sintetici con funzione di rinforzo, consentono di risolvere o almeno di ridurre in buona misura il fenomeno della mazzatura.

4. Conclusioni

L'uso di geosintetici nei rilevati ferroviari per migliorare la capacità portante e i cedimenti hanno dimostrato, attraverso ricerche e test di laboratorio a scala reale, di

essere una valida soluzione tecnica-economica, dato che sono un'efficiente alternativa ai più costosi sistemi di consolidazione. La soluzione progettuale di inserire geogriglie riguarda sia linee ferroviarie esistenti sia quelle in costruzione ad alta velocità.

5. Bibliografia

[1] SELIG E.T., WATERS J.M., (1994), "Track Geotechnology and Substructure Management", Thomas Telford Press, England, 1994.

[2] JAIN, V.K., KESHAV, K., "Stress Distribution in Railway Formation – A Simulated Study", Proceedings of the 2nd International Symposium on Pre-Failure Deformation Characteristics of Geomaterials – IS Torino 99, Italy, Vol. 1, 1999, pp. 653-658.

[3] SHIN E. C., KIM D. H., DAS B. M., "Geogrid-reinforced railroad bed settlement due to cyclic load", Geotechnical and Geological Engineering 20, 2002, pp. 261-27

[4] BUONANNO A., RIMOLDI P., MONTANELLI F., "Preliminary Results From An Instrumented Railways Embankment Reinforced With A Geogrid-Geotextile Geocomposite", Proceedings of the 2nd Asian Geosynthetic Conference – Kuala Lumpur 2000, Malaysia, Vol. 2, 2000, pp 127-132

Riassunto

Il rinforzo di sottofondi ferroviari con geogriglie: risultati sperimentali ed esempi applicativi

Il presente articolo si è concentrato sull'impiego di geogriglie e geocompositi come elementi di rinforzo nei rilevati ferroviari soggetti a carichi dinamici. Sono stati descritti e discussi i risultati sperimentali eseguiti a scala reale e dei lavori di ripristino su sottofondi cedevoli il cui progetto, eseguito con il supporto di un'analisi agli elementi finiti, ha previsto l'impiego di geosintetici. Tali studi e ricerche su scala reale, hanno dimostrato come inserendo strati di geogriglie estruse integrali ad alto modulo in PP sia possibile ridurre lo spessore dei materiali costituenti la struttura, ridurre i cedimenti in presenza di carichi ciclici di tipo ferroviario, così come incrementare la vita utile dell'opera.

Abstract

Geogrid reinforced railways embankments: design concepts and experimental test results

During the past few years considerable advances have been made into the understanding of the behaviour of using geosynthetics to improve the performance of shallow embankments. Detailed investigations have been performed using small scale and large scale models to evaluate their performance and to develop rational methods for design. This document provides a guide to geotechnical engineers who wish to analyse the performances of geogrid reinforcement when installed in different locations of the tracks structure.

Ringraziamenti

Si ringrazia l' Ing. J. Stefano Marelli per la collaborazione fornita nella stesura del presente lavoro.