

## **RIPRISTINO DI UN RILEVATO FERROVIARIO CON IMPIEGO DI GEOCOMPOSITI**

Alessandro Buonanno  
Divisione Infrastruttura  
Direzione Tecnica

Pietro Rimoldi  
Tenax  
Direttore Tecnico

### **Sommario**

*In questi ultimi anni, come è noto, si è riscontrato un costante aumento della frequenza del transito dei convogli connesso con un aumento dei carichi assiali, ciò richiede evidentemente una adeguata geometria del binario ed una costante manutenzione. Molti rilevati in esercizio, realizzati tra la fine dell'800 ed i primi del '900, risultano soggetti a cedimenti e ripetuti assestamenti per le cattive caratteristiche geomeccaniche dei materiali impiegati.*

*Il presente articolo descrive un lavoro di ripristino di un rilevato cedevole il cui progetto, eseguito con il supporto di una analisi agli elementi finiti, prevede l'impiego di un geocomposito di rinforzo (geogriglia adesivata con geotessile non tessuto).*

*Per la verifica degli effetti del rinforzo e del comportamento a medio-lungo termine del geocomposito, è stata realizzata una sezione strumentata e sono stati riportati i primi dati misurati.*

### **Condizioni esistenti**

Negli ultimi anni su alcuni tratti di linee ferroviarie si sono verificati fenomeni di instabilità e cedimenti localizzati e, in generale, scadimento delle condizioni portanti del piano di piattaforma, fenomeni questi esaltati dalle attuali condizioni di esercizio che prevedono la circolazione di mezzi con pesanti carichi assiali, con frequenze di passaggi anch'esse elevate ed aumentate velocità.

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 alta dei rilevati con uno o più strati portanti risulta talvolta, oltre che molto oneroso, del tutto impossibile in determinate condizioni di esercizio. Infatti, 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 capaci 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.

La linea ferroviaria Foligno – Terontola, a semplice binario, costruita nella seconda metà dell'800, rappresenta un importante asse di trasporto in quanto oltre che 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 linea percorre essenzialmente allo scoperto la grande pianura che si estende ai piedi dei rilievi montuosi carbonatici pre-appenninici umbro-marchigiani ed è caratterizzata da un reticolo fluviale con corsi d'acqua (Teverone, Chiona, Topino, Os, ecc.) aventi linee di flusso per lo o l'asse ferroviario e confluenti in modo diretto o indiretto nel Tevere.

La situazione che attualmente si riscontra lungo la linea è rappresentata da rilevati di altezza non rilevante, 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 pseudocoesivo di costituzione dei rilevati nonché ai terreni del sito perlopiù 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, 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.

## **IPOTESI PROGETTUALI**

Posto che in situazioni di difficile intervento come quelle in esame (un intervento radicale per un lungo tratto di linea si sarebbe potuto eseguire solo con lo smantellamento della linea e la ricostituzione della parte alta del rilevato quindi con l'interruzione dell'esercizio ferroviario per molti giorni) che consentivano interventi di lavoro concentrati nelle interruzioni notturne, potevano essere utilizzati materiali sintetici come i geocompositi, si è avviata una progettazione con l'ausilio di un programma di calcolo agli elementi finiti (FEM). In questo caso è stato possibile modellare il comportamento ciclico stagionale delle opere in terra e prendere in considerazione tre diverse situazioni:

- SP 3 - Condizioni di rilevato allo stato attuale con terreni a caratteristiche limose e ad elevata umidità, terreni del sito costituito da sedimenti recenti e argilloso-lacustri.
- SP 2 - Condizioni di rilevato costituito da materiali granulari, in sostituzione di quelli di vecchia realizzazione e costituenti la parte sommitale dell'opera in terra (Fig. 1), per uno spessore di almeno 40 cm, avvolto in un geocomposito e sormontato da un ulteriore strato di misto cementato (spessore 20 ÷ 30 cm).
- SP 1 - Condizioni di rilevato con caratteristiche simili a quelle della precedente esemplificazione, ma considerando la sostituzione dei materiali di vecchia realizzazione per uno spessore di 1,5 m.

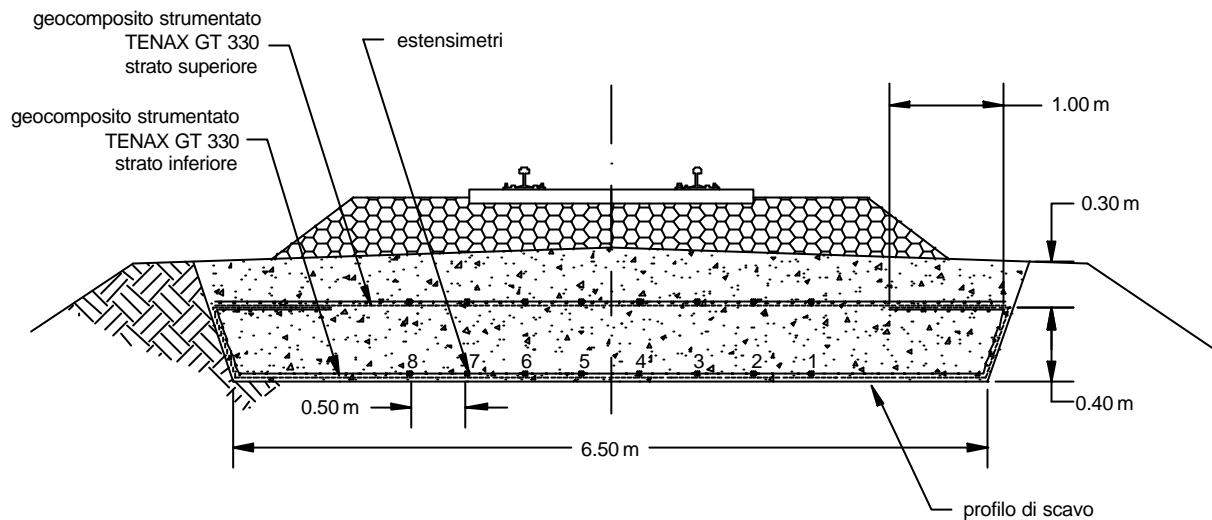


Fig. 1 - Sezione trasversale del rilevato ferroviario SP-2: il risvolto del geocomposito, il piano degli estensimetri, il ballast ed il sotto-ballast.

Le sezioni trasversali sono state modellate in condizioni di deformazioni piane, utilizzando il programma ad elementi finiti Plaxis. Gli elementi di terreno isoparametrici a tre nodi sono stati modellati come elementi elastici perfettamente plastici, usando il criterio di rottura di Mohr-Coulomb. Il rinforzo con geogriglie è stato rappresentato con 2 nodi principali, come elementi di ancoraggio completamente elastici, con una rigidità assiale determinata in una prova a trazione a banda larga (norma ISO EN 10319).

In figura 2 sono mostrati i risultati degli assestamenti calcolati con l'analisi FEM in asse al binario. Gli assestamenti stagionali relativi alla condizione esistente (SP 3), sono stati determinati essere dell'ordine di 13 mm. L'utilizzo combinato di terreno granulare e drenante e piani di geocomposito, riduce l'assestamento stagionale del 20 % (SP 2) e del 40 % (SP 3). Infatti la pezzatura del materiale granulare che forma il sottoballast, 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 dei geocompositi consente una migliore distribuzione delle tensioni attraverso l'intera sezione.

## Andamento dei cedimenti in mezzzeria con la profondità

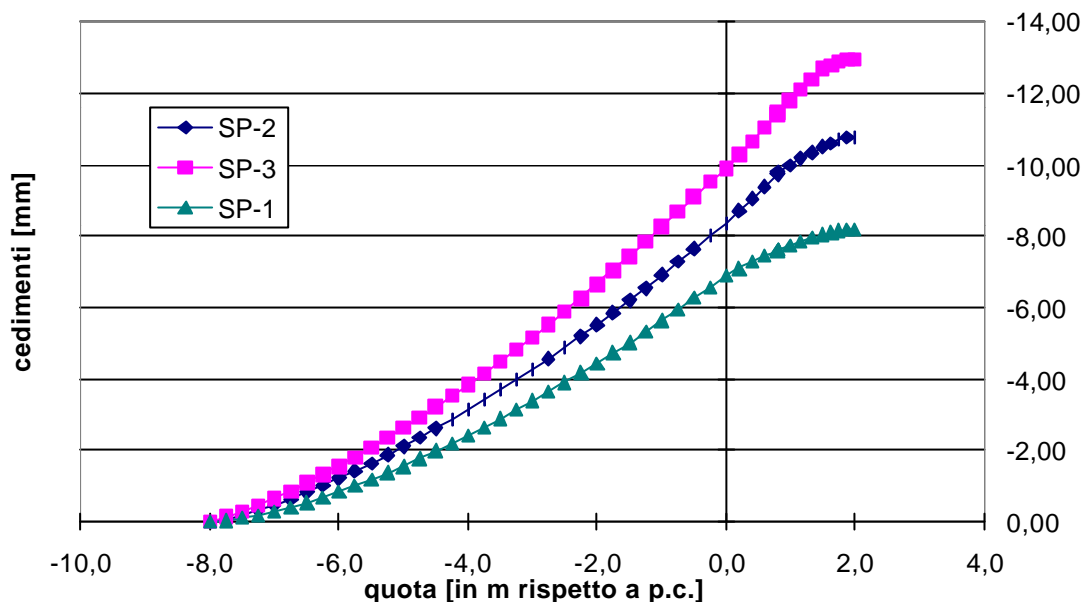


Fig. 2 - Assestamenti verticali lungo la linea centrale delle sezioni SP-1 SP-2 SP-3, causati dalla variazione stagionale del contenuto d'acqua.

Studi ed analisi eseguite da diversi Autori (V.J.Jain e K.Kesheav) portano alla conclusione che l'impiego di materiali quali le geogriglie, riducono le tensioni verticali a favore di una ripartizione dei carichi. Gli stessi Autori in particolare affermano che delle test condotti su sezioni in scala reale hanno dimostrato una riduzione del 30 % delle tensioni indotte dai cicli di carico e scarico misurate alla profondità di 90 cm dal piano delle traversine, a dimostrazione dell'importanza che assume, rispetto alla portanza ed alla ripartizione delle tensioni, lo strato più alto del rilevato.

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 70 cm di materiale al di sotto delle traverse con sostituzione di 40 cm di materiale granulare e la stesa di geocomposito in doppio strato.

Le proprietà del geocomposito (geogriglia-geotessile non tessuto foto n. 1) sono riportate in tabella n. 1. Questo geosintetico offre proprietà di confinamento e di rinforzo dovute alla sua alta resistenza a trazione e resistenza delle giunzioni. Un non-tessuto è saldato sulla faccia inferiore della geogriglia ed assicura la funzione di filtrazione.

Tabella 1. Proprietà del geocomposito

Nome del prodotto	GT 330
Struttura	Geogriglia biassiale termosaldata ad un geotessile non-tessuto
Tipo di polimero	Polipropilene, (PP)
Resistenza a trazione su banda larga MD x TD	30 x 30 KN/m
Deformazione di picco con banda larga MD x TD	11 x 11 %
Resistenza a trazione al 2% di def., su banda larga MD x TD	10.5 x 10.5 KN/m
Resistenza a trazione al 2% di def., su banda larga MD x TD	21.0 x 121.0 KN/m
Peso unitario	560 g/m <sup>2</sup>
Resistenza residua dopo l'installazione	100%
Maglia della geogriglia	40 x 27 mm
Diametro efficace dei pori del geotessile	0.08 – 0.13 mm

Nota: MD = direzione longitudinale del rotolo;  
TD = direzione trasversale.

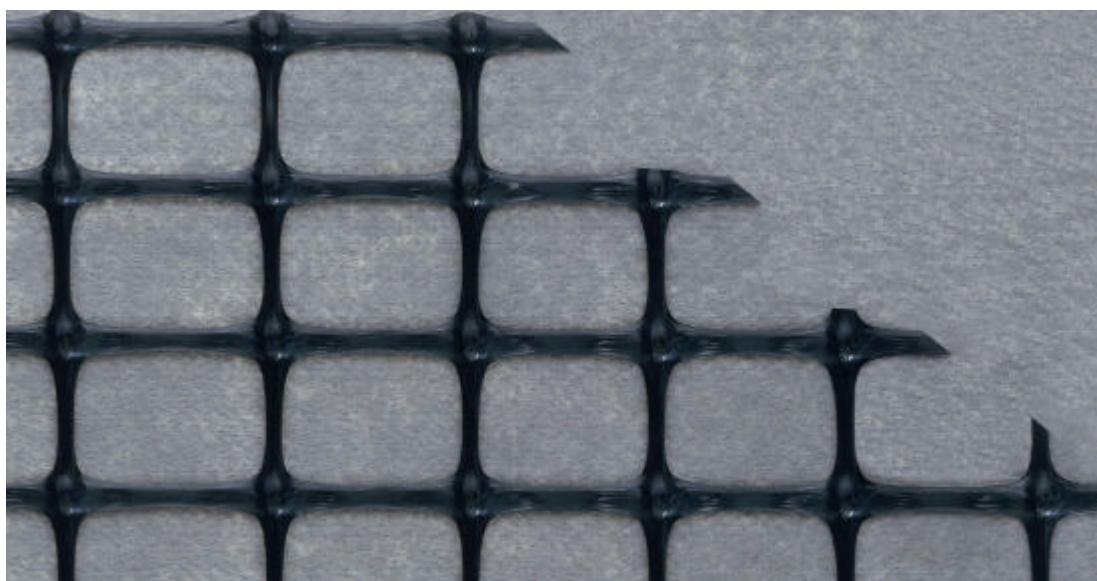


Foto n. 1 – Geocomposito (geogriglia-geotessile tipo GT330).

Gli interventi previsti per il ripristino del tratto di linea sono stati eseguiti per “campate”, ciascuna di lunghezza 30 ml sfruttando gli intervalli di esercizio di circa 6 ore ognuno (foto n° 2 e 3). Complessivamente l'estesa dell'intervento ha interessato 2000 ml di sede, tra le progressive chilometriche 7+500 e 9+000 e 10+300 e 10+800 circa, la durata complessiva dei lavori è stata di due mesi.

Sinteticamente le fasi dei lavori sono state:

- smontaggio del binario per campata di circa 30 ml;
- asportazione del pietrisco
- scavo ed asportazione del materiale del rilevato per altezze variabili, da 70 a 120 cm circa;
- livellamento o compattazione del terreno di sottofondo;
- stesa del geocomposito sul sottofondo;
- posa di materiale granulare di tipo idoneo, livellamento e compattazione;
- chiusura ed avvolgimento del materiale granulare con il geocomposito precedentemente posto;
- stesa di uno strato di misto cementato, precedentemente preparato in centrale di betonaggio;
- riposizionamento della massicciata ferroviaria e dell'armamento;
- rinalzata e livellamento.

Al termine di ogni singola fase giornaliera di lavoro, la linea veniva riaperta all'esercizio ferroviario diurno.



Foto n° 2 – Particolare di una zona prima degli interventi.



Foto n° 3 – Posa in opera del materiale granulare sul geocomposito.

## MONITORAGGIO

Dato il tipo di intervento, innovativo per almeno ciò che riguarda il ripristino di un rilevato ferroviario, si è ritenuto di monitorare, per quanto possibile con le tecniche attualmente a disposizione, il comportamento a medio e a lungo termine del geocomposito posto in opera; ciò per avere anche indicazioni sulla efficacia complessiva dell'intervento e sulla stabilità nel tempo della geometria del binario.

A tale scopo sono stati inseriti sul geocomposito otto estensimetri elettrici, così da realizzare una sezione di misura trasversale all'asse della sede (km ). Gli estensimetri installati su ciascun piano di rinforzo con una spaziatura di circa 50 cm, 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 5 cm, hanno la caratteristica di essere autocompensanti al variare della temperatura e di avere una deformazione massima del 3% ed una precisione dello 0,5%. Gli estensimetri sono stati quindi connessi ad una centralina di acquisizione/memorizzazione dati con una frequenza di acquisizione superiore a 1 KHz.

Per tarare il sistema di monitoraggio, in precedenza alla installazione in sito, è stato strumentato con estensimetri dello stesso tipo utilizzati in sito, un campione di geocomposito e sottoposto quindi con apparecchiature di laboratorio a sollecitazioni in modo tale da rilevare dati che possono essere utili a stabilire una correlazione tra il fattore di risposta dell'estensimetro e le misure di deformazione del geocomposito ed ottenere in sito un valore affidabile della deformazione totale.

I primi dati acquisiti ed elaborati mostrano la deformabilità del geocomposito, in particolare le fig. 3 e 4 si riferiscono alle misure rilevate al passaggio di un treno formato da locomotore 656 in composizione con otto carrozze passeggeri, ad una velocità pari a ..... km/h. gli estensimetri elettrici di riferimento sono il 5° ed il 6° posizionati nella parte superiore del geocomposito, a circa 30 cm sotto il piano di piattaforma.

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.

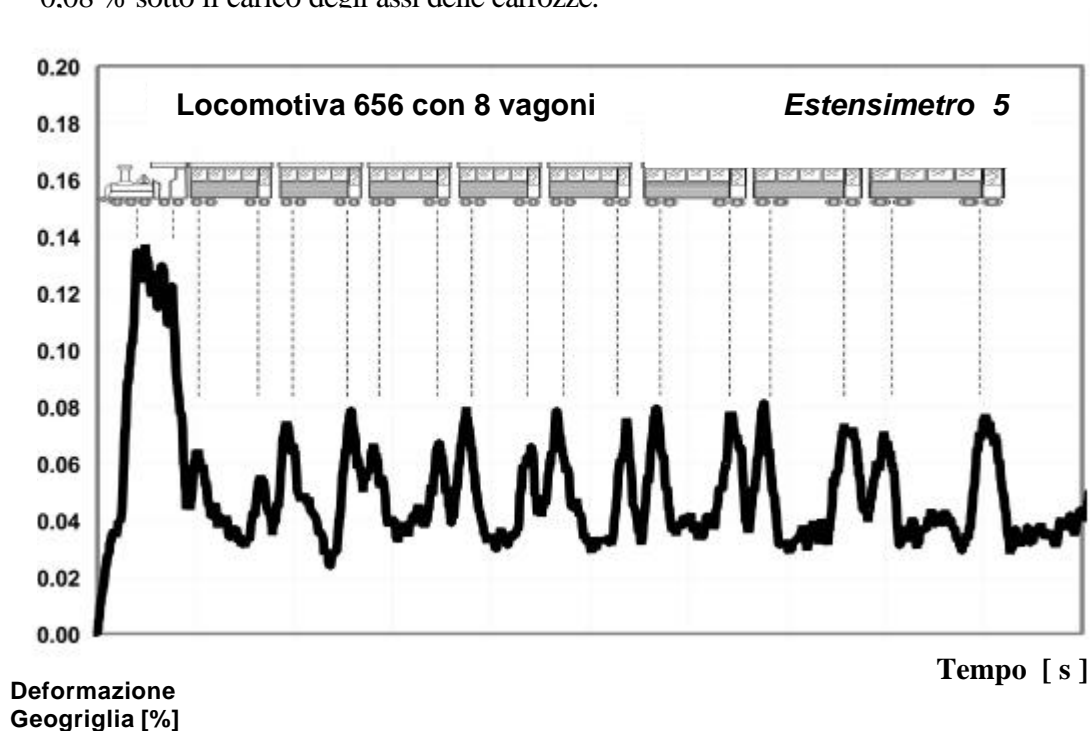


Fig. 3 – dati rilevati dall'estensimetro n° 5 installato sulla geogriglia di rinforzo a 30 cm di profondità

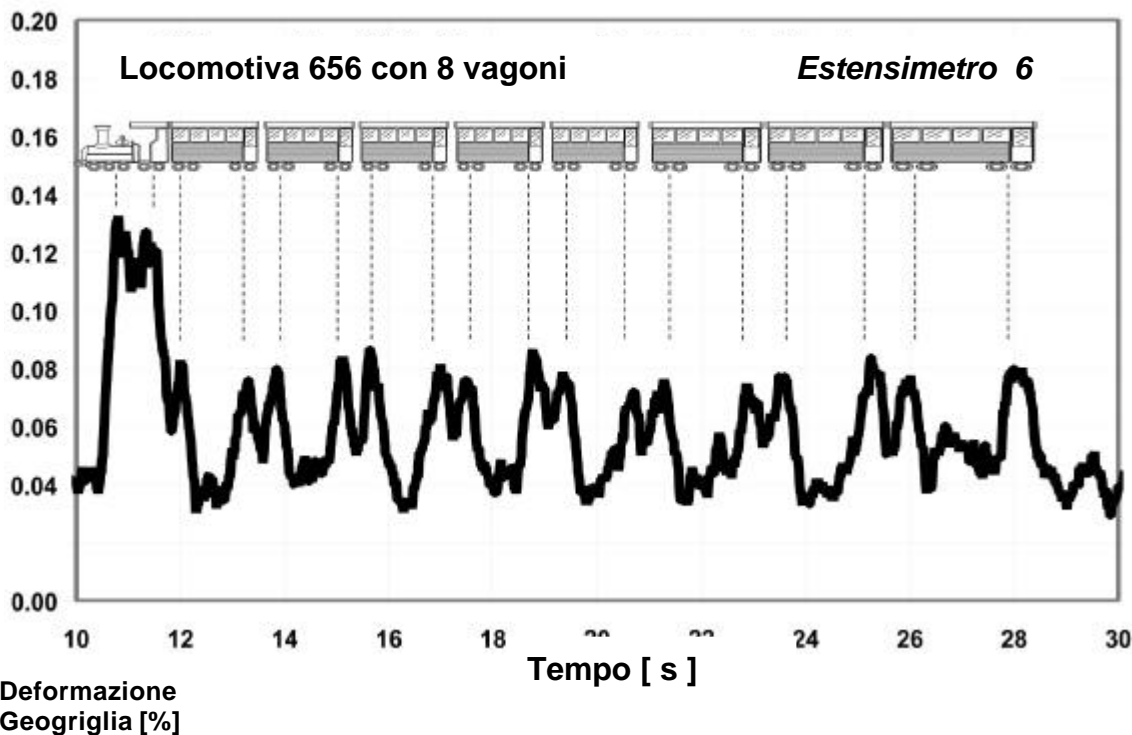


Fig. 4 - dati rilevati dall'estensimetro n° 6 installato sulla geogriglia di rinforzo a 30 cm di profondità.

## CONCLUSIONI

Le misure ad oggi acquisite, ancorchè segnalino deformazioni di lieve entità, evidenziano una curva deformazione/tempo di tipo ciclico, fanno ritenere altresì che il geocomposito in opera contribuisce alla attenuazione in profondità dei carichi dinamici trasmessi dalla sovrastruttura (armamento e ballast) al passaggio dei treni. Gli estensimetri posti lateralmente (a distanza  $\geq 1$  metro dalla rotaia) riscontrano deboli sollecitazioni e deformazioni, 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.

Il monitoraggio ha come obiettivo principale quello dello studio del comportamento a lungo termine del tipo di intervento eseguito e dei materiali posti in opera. Con il monitoraggio in sede e con le verifiche plano-geometriche del binario che sono effettuate sia con la tradizionale strumentazione topografica sia con le puntuali



Terontola, per tensioni verticali statiche di 40 kPa, a 0,80 m di profondità hanno mostrato il buon comportamento delle geogriglie di rinforzo e modestissime deformazioni elastiche nel sottofondo.

#### *Ringraziamenti*

*Gli Autori ringraziano il dott. Mezzabotta della Dir. Comp.le Infrastruttura per la collaborazione, la disponibilità e per il contributo fornito nella stesura del presente lavoro.*

#### ***Bibliografia essenziale***

Brinkgreve, R.B.J. e Vermeer P.A. – “Plaxis User’s Manual Professional Version 6.1”,  
*Balkema, Rotterdam (1998)*

Jain, V.K. e Kesheav, K – “Stress Distribution in Railway Formation – A Simulated study” – *Vol. I, Atti del 2° Simposio Internazionale su “pre-failure deformation characteristics of geomaterials” IS Torino (1999)*

Buonanno, A e Mele, R e A.A. – “La sperimentazione AV sul corpo stradale” CIFI  
Ingegneria Ferroviaria, Roma (1993)

Ferrovie dello Stato – “Standard progettuali del corpo stradale” doc. int. Roma (1991)