

# Comportamento di una palificata prefabbricata per il contenimento delle terre: studi sperimentali

Monica Barbero\*

Fabrizio Barpi\*

Mauro Borri Brunetto\*

Oronzo Pallara\*

Daniele Peila\*\*

Lorenzo Peila\*

Alessandro Valfré\*\*\*

Paolo Cornelini\*\*\*\*

\* DISEG, Politecnico di Torino

\*\* DIATI, Politecnico di Torino

\*\*\* PMP Costruzioni Srl, Asti

\*\*\*\* AIPIN, Associazione Italiana

Ingegneria Naturalistica

Il lavoro illustra lo studio sperimentale di un'innovativa opera di sostegno dei terreni (palificata loricata) costituita da una struttura in acciaio prefabbricata, che funge da telaio, annegata nel terreno e da un paramento a vista in tronchi, tra i quali vengono piantati arbusti autoctoni o talee. Data la difficoltà di interpretare la complessa interazione tra questo tipo di struttura ed il terreno, sia durante la fase di installazione sia in esercizio, si è proceduto ad una campagna sperimentale in sito al fine di individuare le sollecitazioni agenti sulla struttura metallica e sui tronchi e di comprendere il comportamento della palificata sotto carico.

**Parole chiave:** Ingegneria naturalistica, prova in sito, frane, palificata

## Behavior of a prefabricated piling system for ground support: experimental studies.

The paper deals with the experimental study of a new prefabricated structure ("palificata loricata") for the support of unstable soil. The structure is made of a steel frame, completely filled with soil, with a face made of wood trunks among which cuttings or autochthonous bushes are planted. Because of the difficulties to interpret the complex interaction between soil and structure during the installation and the working life, an experimental in situ campaign has been performed in order to know the state of stress in the steel frame and understand the global behavior of the entire structure under usual loads.

**Keywords:** naturalistic engineering, field test, landslide, piling system

## Comportement d'une palée préfabriquée pour le support des terres: études expérimentales.

Le travail montre l'étude expérimentale d'une nouvelle structure préfabriquée ("palificata loricata") pour le support d'un sol instable. Cette œuvre est constituée d'une structure en acier préfabriquée, qui sert de chassis, noyée dans le sol et d'un

parement à vue dans des troncs où des essences autochtones et des boutures sont plantées.

Étant si difficile d'interpréter la complexe interaction entre ce genre de structure et le sol, aussi bien pendant la phase d'installation qu'en exercice, on a procédé par une campagne expérimentale in situ afin d'identifier les contraintes agissant sur la structure métallique et sur les troncs et de comprendre le comportement de la pale sous charge.

**Mots-clés:** genie naturaliste, épreuve en site, éboulements, palée.

## 1. Introduzione

Gli interventi di ingegneria naturalistica, cioè quelle opere che utilizzano, per il raggiungimento degli obiettivi progettuali, sia piante vive (per esempio la piantumazione di arbusti autoctoni o l'idrosemina sui versanti per la protezione contro l'erosione) sia, quando gli obiettivi ingegneristici richiedono strutture con maggiore resistenza meccanica, elementi "morti", il più possibile di tipo

naturale come tronchi o pietrame, sono sempre più diffusi nella pratica ingegneristica (Carbonari e Mezzanotte, 2000; De Antonis e Molinari, 2003; Bocaloro, 2006; Cornelini e Sauli, 2005).

In particolare, il legname è molto usato nella realizzazione di palificate, cioè opere di sostegno a gravità in grado di controllare dissesti corticali, contribuire alla ricostruzione di versanti franati che necessitano di una rimodellazione e fungere da conte-

nimento al piede nella costruzione di rilevati e rinterrati. Le palificate in legname sono in grado di assorbire agevolmente spostamenti ed assestamenti del terreno e possono sostituire, per esempio, le gabbionate o piccole opere strutturali in calcestruzzo, muratura o pietrame. Le palificate in legno sono, ad oggi, tra le opere più caratteristiche dell'ingegneria naturalistica. La più diffusa, usata da oltre un secolo, è la palificata doppia anche se, in questi ultimi anni, sono state realizzate delle strutture vicarianti della classica palificata doppia, anch'esse realizzate in legno, come per esempio le palificate denominate: *Vesuvio*, *Roma* o *latina* (Cornelini, 2000; 2001 e 2007).

In alcuni casi può essere necessaria una maggiore resistenza meccanica e si deve quindi ricorrere ad una struttura non completamente biodegradabile. Per questo motivo è stato sviluppato un prototipo innovativo "ibrido", costituito da una struttura metallica prefabbricata, che funge da telaio, annegata nel terreno e da un paramento a vista in tronchi di legname (Cornelini, 2009) che viene poi rinverdito da arbusti autoctoni e talee. Il prototipo descritto, denominato *palificata viva loricata* "Terrasafe" (dal latino *lorica* che significa corazza), è stato sottoposto ad una campagna di prove in vera grandezza finalizzate alla determinazione delle

sollecitazioni agenti negli elementi metallici e nei tronchi che la costituiscono, nonché alla comprensione della complessa interazione palificata-terreno.

La palificata loricata studiata si presenta di facile e rapida installazione grazie all'assemblaggio di elementi prefabbricati (profilati metallici leggeri e di facile trasporto) e di tronchi precedentemente tagliati della misura prevista che non devono essere fissati con chiodi e bulloni eliminando, quindi, anche la loro perforazione ed è una struttura resistente grazie alla durabilità e non bio-degradabilità degli elementi metallici. Infine, se necessario, è possibile eseguire una agevole manutenzione sostituendo i tronchi che dovessero ammalorarsi della facciata e lo scavo per l'installazione, è ridotto con la possibilità di accostare il più possibile la struttura al versante e con risparmio dei movimenti terra.

La sperimentazione ha previsto l'allestimento di due distinti campi prove in vera grandezza in cui sono stati realizzati dei tratti della palificata loricata, opportunamente strumentati, per verificarne il comportamento sotto carico. In particolare, sono stati sottoposti a prova due differenti prototipi, il secondo dei quali costituisce l'affinamento del primo in termini di ottimizzazione strutturale e dimensionale degli elementi metallici.

## 2. Descrizione della palificata loricata "TerraSafe"

Il singolo elemento della palificata, inteso come insieme di supporto metallico e tronchi frontali (Figura 1 e 2), ha una larghezza di 3m e un'altezza di 1.8m e presenta la faccia esterna, costituita da tronchi di diametro compreso tra 16cm e 20cm, inclinata di 60° sull'orizzontale. La struttura resistente è composta da

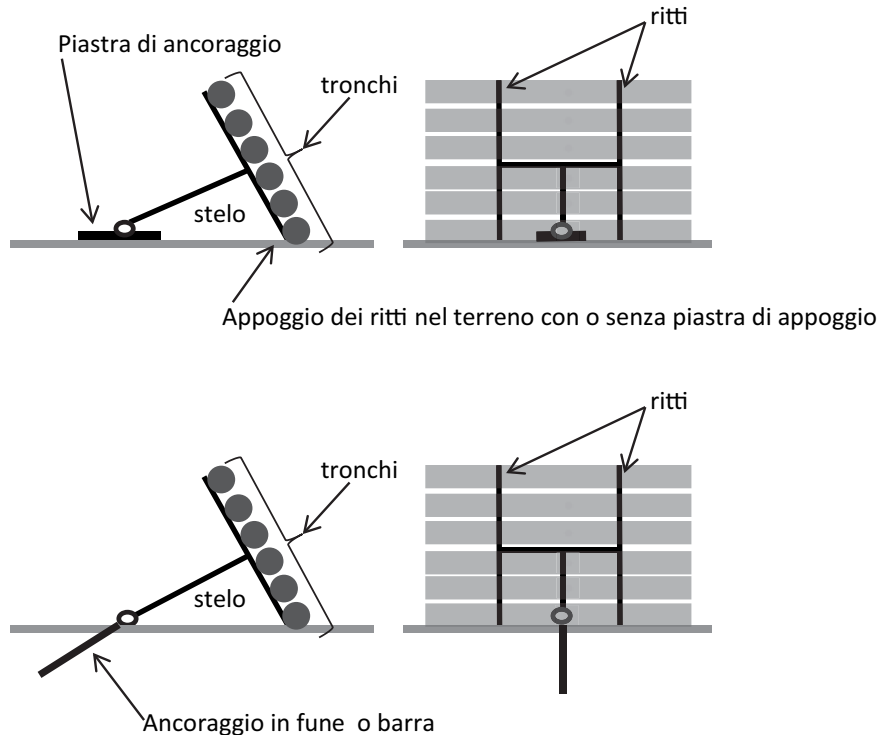


Fig. 1. Schema di un elemento di palificata loricata "TerraSafe" con indicazione dei principali elementi e delle due configurazioni possibili: con piastra di ancoraggio o con ancoraggio realizzato in barra od in fune.

*Scheme of a "TerraSafe" element with indication of its main components and both the foundation types: plate or anchorage.*

un telaio, realizzato in profilati di acciaio, saldati o imbullonati tra di loro, che termina con uno stelo il quale è collegato ad una piastra di ancoraggio o a un ancoraggio in fune o barra cementato nel terreno. Allo stelo è collegata una traversa a cui sono saldati i due ritti che sostengono il paramento frontale di tronchi. I tronchi di legno sono a loro volta

sostenuti da appositi supporti e sono assicurati con una catena di contenimento e, in tal modo, formano un paramento discontinuo che fornisce il sostegno al terreno di riempimento e, non essendo continuo e chiuso, consente la piantumazione di talee facilitando il drenaggio.

Le caratteristiche geometriche e meccaniche degli elementi strut-



Fig. 2. Esempio degli elementi installati nel sito di Roatto (Asti). A destra è possibile vedere la struttura completata con la posa tra i tronchi di piantine radicate, a sinistra è visibile la palificata montata prima del riempimento.

*Example of the structure installed at Roatto (Asti, Italy). On the right the final configuration when the bushes start to grow is shown; on the left the elements before the filling are shown.*



Fig. 3. Realizzazione del campo prove del prototipo I. È possibile vedere il dettaglio delle fasi di riempimento dello stendimento superiore.

*Construction phases of the test site for the prototype I. The detail of the filling phase of the upper alignments is shown.*

turali dei due prototipi sottoposti a prova sono:

### Prototipo 1

- stelo, ritti ed elemento trasversale: profilato cavo UNI EN 10210 100x100x5 in acciaio S235JRH;
- fondazione a piastra in acciaio di dimensioni 800x800x10 mm;
- sette tronchi in legno con diametro 160-200mm e lunghezza 3m.

### Prototipo 2

- stelo: profilato cavo UNI EN 10210 50x50x3mm in acciaio S235JRH;
- ritti ed elemento trasversale: profilo cavo UNI EN 10210 70x70x3mm in acciaio S235JRH;
- fondazione a piastra in acciaio di dimensioni 750x750x5mm;
- sei tronchi in legno con diametro 160-200 mm e lunghezza 3m.

Nella sperimentazione i tronchi utilizzati erano di castagno scortecciato, nella pratica operativa possono essere utilizzati tronchi di larice o altra specie in funzione delle caratteristiche del sito di posa e delle prescrizioni progettuali. La scortecciatura dei tronchi non è un fattore vincolante, per quanto consigliabile.

Le fasi di montaggio della struttura, il cui telaio metallico può anche essere pre-assemblato in officina, (sintetizzate nelle fotografie di figura 3 nel caso del campo prove) sono così riassumibili:

- predisposizione del piano di appoggio della struttura reso pianeggiante eventualmente mediante operazioni di scavo;

- posa della piastra di ancoraggio o dell'eventuale ancoraggio profondo iniettato secondo le prescrizioni progettuali;
- posa della struttura metallica e sua connessione all'ancoraggio;
- posizionamento dei tronchi;
- predisposizione dello stendimento;
- riempimento dello stendimento con terreno. Il riempimento dello stendimento può essere realiz-

zato operando sia da monte che da valle.

Variazioni operative a questa sequenza di posa possono essere dettate da aspetti locali dei cantieri grazie alla modularità dell'elemento ed il fatto che può essere trasportato in pezzi separati e assemblato in sito. Nel caso si renda necessario, è possibile disporre gli allineamenti su più file sovrapposte dopo aver terminato il riempimento della fila inferiore (Fig. 4).



Fig. 4. Esempio di applicazione degli elementi a Fuscaldo (Cosenza) dove a monte della S.S. 18 sono stati installati 70 elementi del prototipo 2 su due allineamenti sovrapposti. Data la grande presenza d'acqua nel sito, a tergo degli elementi sono stati installati in direzione longitudinale tubi microfessurati drenanti (diametro 200 mm) protetti con geotessuto, integrati con elementi drenanti trasversali alla base degli elementi.

*View of Fuscaldo (Cosenza) installation on the mountainside of the road S.S. 18: 70 elements of prototype 2 were installed on two alignments one upon the other. Due to the presence of water a longitudinal draining pipe protected with geotextiles (200mm diameter) was installed behind the foundation of the structure. Some transversal drains were also installed at the base of the elements.*

### 3. Descrizione del campo prove

Per definire le sollecitazioni indotte nella struttura dai carichi trasmessi dal terreno, nelle diverse fasi di posa in opera e di esercizio, è stato studiato, da parte del Politecnico di Torino, e realizzato con la collaborazione della PMP Costruzioni Srl, un campo prove in vera grandezza dove sono stati installati degli elementi di palificata loricata "Terrasafe", appositamente strumentati, per rilevare la deformazione longitudinale in alcune sezioni del telaio in acciaio, mediante trasduttori estensimetrici, e gli spostamenti di alcuni punti della struttura con una stazione topografica totale. Il campo prove è stato realizzato in una cava di sabbia a Castello di Annone (At), il cui terreno è stato utilizzato per il riempimento degli elementi.

La sabbia usata è stata caratterizzata granulometricamente come indicato nella figura 5 e in termini di resistenza come segue:

- sabbia sciolta:  $\gamma = 12.5 \text{ kN/m}^3$ ; angolo di attrito di picco  $f_p = 42.6^\circ$ , angolo di attrito allo stato critico  $f_{\text{StatoCritico}} = 37.1^\circ$ ;
- sabbia addensata:  $\gamma = 14.8 \text{ kN/m}^3$ ; angolo di attrito di picco  $f_p = 52.2^\circ$ , angolo di attrito allo stato critico  $\phi = 40.8^\circ$ . In entrambi i casi la coesione è stata considerata trascurabile.

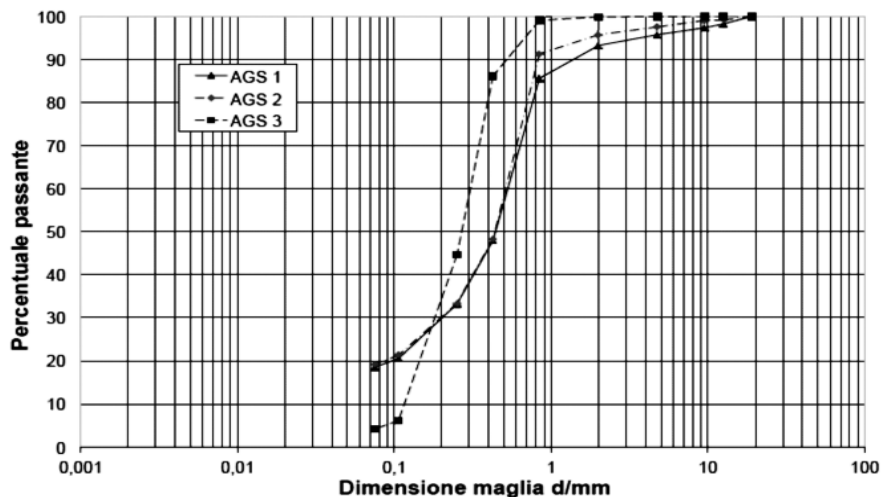


Fig. 5. Curve granulometriche di tre campioni della sabbia utilizzata nelle prove. Granulometric curves of three samples of the sand used for the tests.

### 3.1 Campagna sperimentale sul prototipo 1

Lo studio del prototipo 1 ha avuto lo scopo principale di verificare il dimensionamento preliminare della struttura e la possibilità di realizzare due stendimenti sovrapposti senza che lo stendimento inferiore registrasse spostamenti significativi. La figura 6 mostra lo stendimento inferiore di tre elementi prima del riempimento.

Sul telaio metallico (Fig. 7) sono stati installati i trasduttori di deformazione per la successiva valutazione delle sollecitazioni agenti, le cui caratteristiche sono riportate in Tabella 1.

I risultati ottenuti dalle misure sul primo prototipo sono sintetizza-

Tab. 1. Caratteristiche dei trasduttori di deformazione HBM SLB700A (prodotti da HBM Messtechnik).

Characteristics of the strain trasducers HBM SLB700A (produced by HBM Messtechnik).

Caratteristica	Valore
Deformazione nominale	500 mm/m
Sensibilità nominale	1.5±0.15 mV/V
Max. deformazione operativa	150%
Deformazione di rottura	300%
Spostamento nominale	ca. 0.038 mm

ti nelle figure 8 e 9, che riportano i valori delle letture di deformazione in funzione del tempo di prova. Il grafico di figura 8 mostra la risposta degli strumenti in relazione agli eventi significativi accaduti durante



Fig. 6. Vista d'insieme frontale e laterale del campo prove durante l'installazione del primo stendimento del prototipo I. L'elemento strumentato è quello centrale.

Global view of the test site during the installation of the prototype I. The instrumented element is the one in the middle

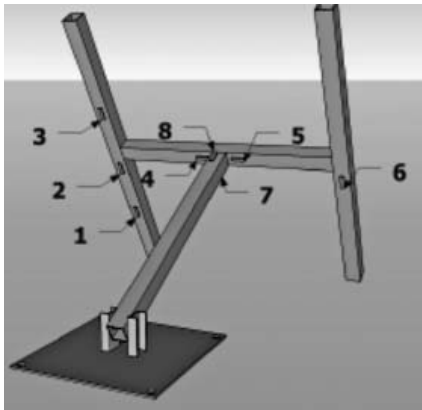


Fig. 7. Posizionamento e numerazione dei trasduttori di deformazione installati sul prototipo I.

*Location and numbering of the strain transducers installed on prototype I.*

lo svolgimento della prova: termine delle operazioni di riempimento a tergo della struttura; completamente del sovraccarico costituito da uno strato aggiuntivo di terreno compattato; stazionamento dell'escavatore direttamente sopra la palificata strumentata per simulare l'azione di un ulteriore sovraccarico. Si può notare come le grandi oscillazioni delle misure comprese tra l'istante 16:02 e l'istante 16:08 della prova siano appunto da mettere in relazione con l'azione dinamica indotta dai passaggi dell'escavatore sulla verticale dell'elemento strumentato. La figura 9 evidenzia l'incremento di sollecitazione nell'elemento inferiore durante il montaggio ed il riempimento della fila superiore di elementi.

I risultati delle misure di deformazione evidenziano bassi valori di sollecitazione negli elementi di acciaio, ampiamente all'interno dei limiti elastici dei materiali, sia considerando un solo livello di elementi, anche con sovraccarico, sia considerando due livelli di elementi. Pertanto la struttura, nella configurazione di prova e riempita con una sabbia sciolta, si è mostrata in grado di sopportare i carichi trasmessi dal terreno che sono sostanzialmente riconducibili ai valori di spinta attiva del terreno di riempimento.

Anche i tronchi sono stati strumentati per la misurazione delle de-

formazioni mediante l'apposizione di riscontri di precisione per la determinazione dell'allungamento di basi con lunghezza nominale di 200mm, tramite un comparatore avente precisione di 5 mm. Le misure hanno evidenziato l'insorgenza di deformazioni molto ridotte, al limite della precisione strumentale del comparatore utilizzato. Il che ha evidenziato come, con le spinte agenti nella geometria adottata nel campo prove, i tronchi erano ampiamente verificati.

I due livelli di stendimenti sono stati lasciati in sito per oltre cinque mesi (da ottobre 2011 a marzo 2012) in modo da verificarne il comportamento nel tempo anche durante un ciclo stagionale invernale. Durante il periodo invernale si sono verificate

nella zona abbondanti precipitazioni nevose e piogge intense nel mese di marzo, che hanno consentito di verificare l'ottimo comportamento della struttura in condizioni climatiche avverse, l'assenza di dilavamento del terreno tra i tronchi (anche in assenza di piante radicate) e di particolari cedimenti della struttura nel suo insieme.

La prima campagna sperimentale ha quindi consentito di evidenziare che:

- i tronchi sono poco sollecitati. Questo risultato ha permesso di modificare geometricamente i sistemi di aggancio in un'ottica di ottimizzazione della struttura complessiva;
- la struttura metallica utilizzata,

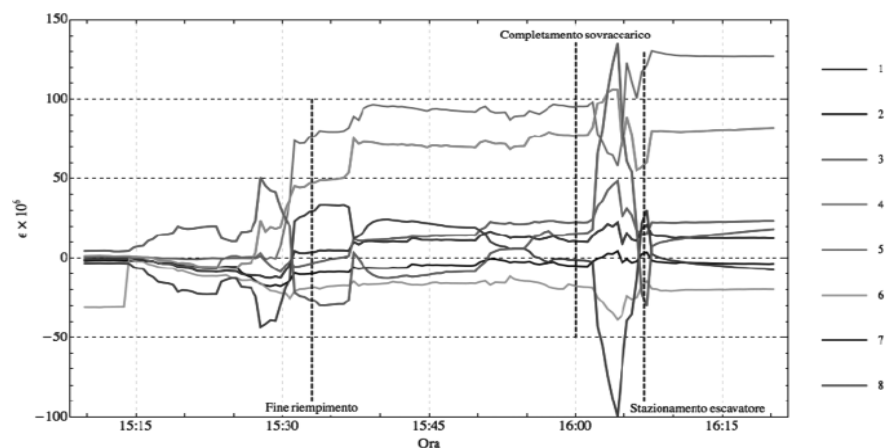


Fig. 8. Deformazioni della struttura misurate durante la prova sul prototipo I. *Measured strains during the test on prototype I.*

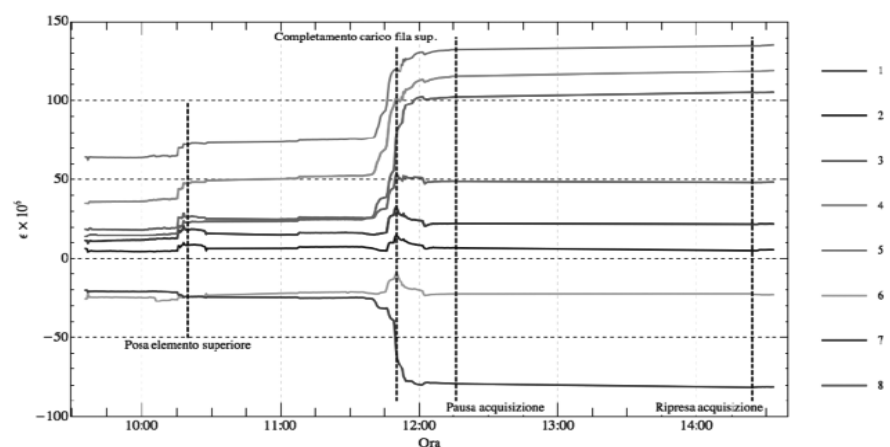


Fig. 9. Deformazioni misurate durante l'installazione del secondo stendimento del prototipo I.

*Measured strains during the installation of the upper alignment of elements of prototype I.*

nella configurazione di carico di prova, che comunque simula molto bene le condizioni che più comunemente si possono trovare nella pratica, è sottoposta a sollecitazioni ampiamente compatibili con le caratteristiche di resistenza degli elementi metallici. Questo risultato ha consentito di ri-progettare l'intero telaio alleggerendolo (prototipo 2).

### 3.2 Campagna sperimentale sul prototipo 2

La seconda campagna sperimentale ha previsto l'installazione di uno stendimento di tre elementi del prototipo 2, di cui quello centrale è stato strumentato con gli stessi tra-

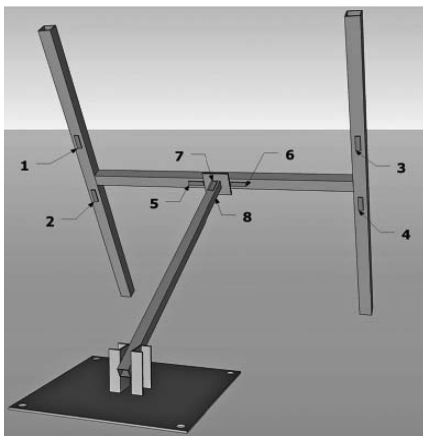


Fig. 10. Posizionamento e numerazione dei trasduttori di deformazione installati sul prototipo 2

*Location and numbering of the strain transducers installed on prototype 2.*



Fig. 11. Vista d'insieme del campo prove con il prototipo 2 dopo l'applicazione del sovraccarico.

*Global view of the test site with prototype 2 after the overloading.*

duatori di deformazione utilizzati per il prototipo 1, ma differentemente disposti (Fig. 10) per adattarsi alla differente conformazione del telaio. La piastra di ancoraggio è stata inoltre strumentata con trasduttori di forza e riscontri per le misure di spostamento. I movimenti dell'intera struttura sono stati misurati mediante un rilievo topografico. La fase di riempimento a tergo della struttura è stata, in questo caso, seguita dall'applicazione di un sovraccarico realizzato con cinque blocchi di calcestruzzo aventi lato di 1m e peso di circa 2400kg cadauno.

Gli spostamenti della piastra metallica di fondazione sono stati misurati attraverso l'uso di due trasduttori di spostamento LVDT (RDP DCW 1000B), aventi corsa pari a  $\pm 25$  mm, posti di fronte alla struttura. Ciascun trasduttore è stato posto a contatto con l'estremità di una barra di acciaio, collegata tramite uno snodo sferico filettato ad un lato della piastra. Essi hanno permesso di valutare gli spostamenti orizzontali della piastra di fondazione per tutta la durata della prova (Fig. 12).

Per valutare le forze verticali agenti sulla piastra di ancoraggio, si sono utilizzati quattro trasduttori piezoresistivi AP400-6 con capacità di 500 daN e precisione 1% (prodotti da Automation Progetti) appoggiati in corrispondenza dei quattro vertici della piastra di fondazione. Al di sopra dei trasduttori si è posta una piastra nervata in acciaio, avente

le stesse dimensioni della piastra di base e forata centralmente per il passaggio dello stelo, al fine di ripartire il carico del terreno soprastante sui quattro strumenti di misura (Fig. 13).

Infine, per misurare i movimenti d'insieme della struttura, sono state installate, sul fronte della palificata, 4 mire topografiche collegate al telaio metallico la cui posizione è stata rilevata durante la prova mediante una stazione totale Leica, posizionata di fronte alla palificata, a una distanza di circa 15 m (Fig. 14). Le misure topografiche hanno evidenziato che gli spostamenti del paramento in tronchi tendono ad essere principalmente verticali (man mano che aumenta il caricamento a tergo) perché nel prototipo installato nel campo prove i ritri non terminano con una piastra di appoggio, tendendo così ad affondare nel terreno fino a che il primo tronco non tocca il terreno di base fornendo, quindi, un sostegno al paramento (il prototipo 2 può essere munito di base di appoggio dei ritri, se necessario in relazione alle caratteristiche del terreno di fondazione, con piastre analoghe a quelle utilizzate nel prototipo 1). Lo spostamento verso valle della struttura è risultato compreso tra 70mm e 90mm per le mire inferiori e tra 130mm e 150mm per le mire superiori. Queste letture evidenziano anche come al progredire del caricamento vi sia una piccola rotazione della struttura indotta dalla spinta a tergo del terreno. Le misure di spostamento della piastra hanno invece evidenziato uno spostamento verso valle di 2mm in fase di caricamento, che è incrementato a 10mm con l'applicazione del sovraccarico (Fig. 15) mentre i trasduttori di forza installati sulla piastra hanno mostrato che il terreno grava sulla piastra di fondazione con il peso di un parallelepipedo avente base coincidente con la fondazione e altezza pari a quella del riempimento, geometria di carico che può essere usata nelle verifiche strutturali.

Infine, i trasduttori di deformazione sul telaio metallico hanno consen-

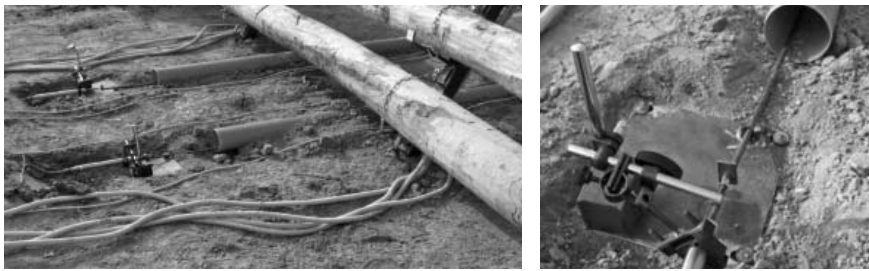


Fig. 12. Vista d'insieme della parte terminale delle barre di misura dello spostamento della piastra (prototipo 2).  
View of the devices used for the measurements of the anchoring plate displacements (prototype 2).



Fig. 13. Posizionamento dei trasduttori di carico sotto la piastra della palificata loricata strumentata (prototipo 2).  
Load transducers at the anchor plate (prototype 2).



Fig. 14. Posizione delle mire topografiche sulla struttura (prototipo 2).  
Positioning of the targets for topographical measurements (prototype 2).

tito di risalire alle sollecitazioni (forza normale e momento flettente) agenti nelle rispettive sezioni (Fig. 16). Per

Tab. 2. Momento flettente calcolato per le sezioni di riferimento (configurazione I – a riempimento terminato; configurazione II – a sovraccarico applicato) (prototipo 2).  
Computed bending moments for the reference sections (configuration I – at the end of the filling; configuration II – after the overloading) (prototype 2).

Configurazione	$M_{x,1}$ [kNm]	$M_{x,2}$ [kNm]	$M_{x,3}$ [kNm]	$M_{x,4}$ [kNm]	$M_{x,5}$ [kNm]	$M_{x,6}$ [kNm]
I	+0.169	+0.169	+0.777	+0.338	+0.118	+0.203
II	+0.253	+0.203	+1.081	+0.405	+0.203	+0.253

quanto riguarda le sezioni corrispondenti ai trasduttori da 1 a 6 (sollecitate sostanzialmente a flessione retta) è sufficiente eseguire una semplice proporzionalità fra la misura di deformazione e la sollecitazione agente data la geometria del sistema, mentre per la determinazione delle sollecitazioni nella sezione di attacco dello stelo sulla trave orizzontale si deve osservare che si è in presenza di flessione e forza normale. I calcoli sono stati effettuati nelle due configurazioni finali della prova: a completamento del riempimento (configurazione I) ed a sovraccarico applicato (configurazione II). Le tabelle 2 e 3 riportano i risultati ottenuti che evidenziano come le sollecitazioni indotte siano compatibili con le resistenze ammissibili dell'acciaio utilizzato.

I risultati della seconda campagna sperimentale hanno consentito di evidenziare come, nelle condizioni di carico presumibilmente agenti in esercizio (con terreno di riempimento ottenuto con sabbia pulita ed eventuale sovraccarico), riconducibili a condizioni di spinta attiva, la struttura del prototipo 2 è sollecitata compatibilmente con la resistenza dell'acciaio del telaio, infatti le ten-

sioni sono lontane dai limiti elastici. Occorre però evidenziare che lo studio ha riguardato una configurazione simile a quella tipica di esercizio, ma non è stato possibile analizzare la resistenza ultima della palificata, per difficoltà tecnica dell'applicazione di carichi così elevati. La piastra di fondazione deve in ogni caso essere dimensionata in relazione alle caratteristiche geotecniche del terreno di fondazione, in funzione delle caratteristiche geologiche e geotecniche locali è inoltre possibile, se necessario, aumentare la resistenza allo scorrimento mediante idonei picchetti di fissaggio, aumentando la rugosità alla base della piastra e/o le sue dimensioni o, in alternativa, vincolando l'estremo dello stelo con un ancoraggio in fune o in barra adeguatamente dimensionato.

### Conclusioni

La ricerca sperimentale ha consentito di studiare il comportamento di una struttura innovativa prefabbricata per il sostegno delle terre: la palificata loricata "Terrasafe". La struttura, costituita da un telaio metallico annegato nel terreno e da un paramento a vista in tronchi di legname che ha la funzione di agire quale contenimento del terreno poi rinverdito con arbusti autoctoni e/o talee, è stata sottoposta a sperimentazioni in vera grandezza finalizzate alla verifica diretta del comporta-

Tab. 3. Momento flettente e sforzo normale per la sezione di attacco dello stelo. (configurazione I – a riempimento terminato; configurazione II – a sovraccarico applicato) (prototipo 2).  
Bending moment and normal stress force at the upper section of the anchor beam (configuration I – at the end of the filling; configuration II – after of the overload) (prototype 2).

Configurazione	N [kN]	$M_x$ [kNm]
I	11.1	-0.176
II	18.9	-0.209

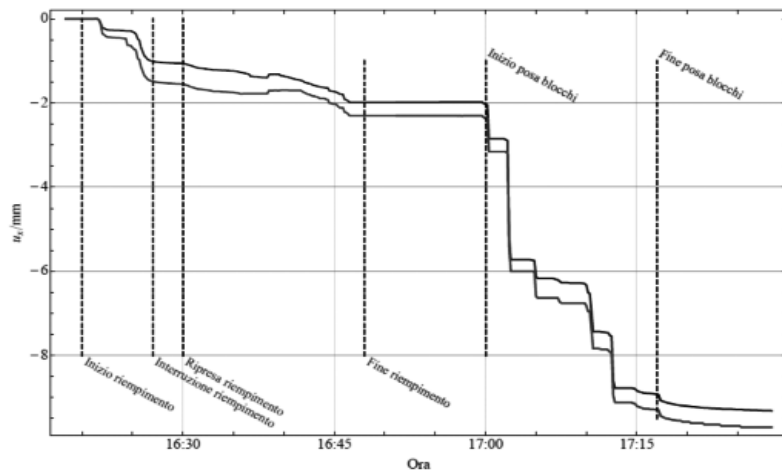


Fig. 15. Spostamenti della piastra durante la prova (prototipo 2).  
Anchor plate displacements during the test (prototype 2).

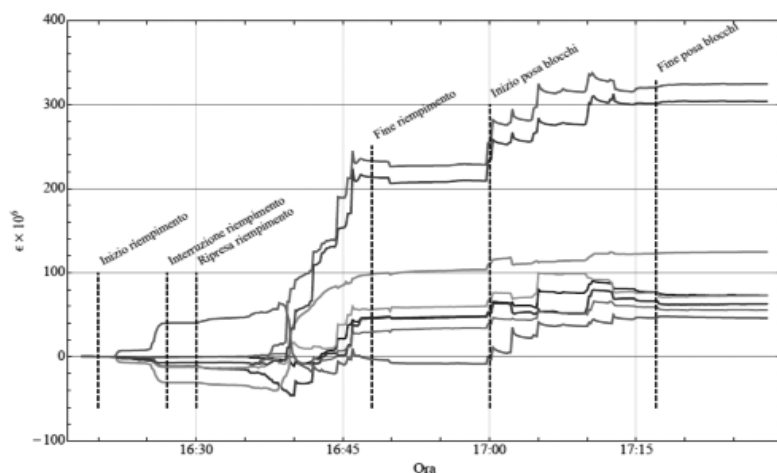


Fig. 16. Deformazioni della struttura misurate durante la prova sul prototipo 2.  
Measured strains during the test on prototype 2.

mento e delle sollecitazioni negli elementi strutturali della barriera. L'uso degli elementi strutturali descritti ed in particolare del telaio metallico (completamente annegato nel terreno e quindi non visibile) ha consentito di conseguire ottime

prestazioni in particolare per quel che riguarda la velocità di montaggio, essendo l'opera prefabbricata, e di facilità di assemblaggio e trasporto ed, infine, l'efficacia stabilizzante come documentato nel corso della ricerca.

### Ringraziamenti

La ricerca è stata svolta nell'ambito del progetto di ricerca "Studi inerenti opere innovative per la stabilizzazione di pendii in terra" tra il DIATI - Politecnico di Torino e la PMP costruzioni Srl, avente per responsabile il Prof. D. Peila. Gli autori ringraziano la PMP Costruzioni Srl per aver consentito la pubblicazione dei risultati e per il finanziamento della ricerca. La parte sperimentale relativa alla strumentazione della struttura e l'interpretazione dei risultati sperimentali è stata svolta da M. Barbero, F. Barpi, M. Borri Brunetto, O. Pallara, D. Peila e L. Peila. A. Valfè e P. Cornellini hanno predisposto i prototipi di prova e il coordinamento della realizzazione del campo prove. L. Peila ha eseguito le prove di laboratorio sui terreni ed ha collaborato alle prove sperimentali in campo. Tutti gli autori hanno contribuito in egual misura alla stesura del lavoro.

### Bibliografia

- Barbero M. e Barpi F. (2012), Geomechanical modeling to study the effects of slope instability on buildings: a case study in northern Italy, *Geoingegneria Ambientale e Mineraria*, vol. 2, pp. 5-18.
- Boccalaro F. (2006), *Difesa del Territorio e ingegneria naturalistica*, Dario Flaccovio Editore
- Carbonari A. e Mezzanotte M. (2000), *Tecniche naturalistiche nella sistemazione del territorio*, Provincia Autonoma di Trento
- Cargnel G. (2011), Tests on steel wire and cable net mesh, *Geoingegneria Ambientale e Mineraria*, 132 (1)
- Cornellini P. e Sauli G. (2005), *Manuale di indirizzo delle scelte progettuali per interventi di ingegneria naturalistica - Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, Ministero dell'Economia e delle Finanze. Progetto Operativo Difesa del Suolo - Ed. Poligrafico e Zecca dello Stato - Roma*, pp. 389
- Cornellini P. (2001), *La palificata viva ROMA, una nuova tipologia di ingegneria naturalistica*, Acer, 1, pp. 70-71
- Cornellini P. (2007), *la palificata latina*, Acer, 6, pp. 61-65
- Cornellini P. (2009), *Verde e Infrastrutture: una nuova tecnica di consolidamento*, Acer, 5, pp. 59-61
- Cornellini P. (2011), *La palificata viva l'Aquila*, Acer, 3, pp. 45-49
- De Antonis L., Molinari V.M. (2003), *Interventi di sistemazione del territorio con tecniche di Ingegneria Naturalistica*, Regione Piemonte