



Root Reinforcement as a Measure for Shallow Landslides Risk Mitigation

Giuseppe Cardile, Marilene Pisano, Nicola Moraci, Daniele Cazzuffi
giuseppe.cardile@unirc.it, marilene.pisano@unirc.it,
nicola.moraci@unirc.it, daniele.cazzuffi@cesi.it

In recent years, the use of vegetation as an intervention for risk mitigation against shallow landslides, as well as for slope erosion control, has begun to spread as a valid alternative to the more traditional methods given the increasingly urgent request for a sustainable design. In fact, reinforcing slopes with roots provides bioengineering solutions that satisfy the principal sustainability criteria for construction better. With reference to risk mitigation, the reinforcement of slopes by means of roots represents a solution that falls within the context of prevention measures, which help to prevent the triggering or reactivation of shallow landslides, allowing for the mitigation of fragility as well as the protection of the natural and anthropic landscape.

The soil thickness reinforced with roots shows an increase in soil shear strength due to a two-fold effect: the mechanical effect provided by soil-root interaction and the hydrological effect caused by the evapotranspiration phenomena that yield a reduction in the degree of saturation. The mechanical contribution, in particular, depends on both the tensile strength of the roots and their density and spatial distribution within the soil.

The aim of the paper is to show the empirical methodologies that allow evaluating this mechanical contribution to be used in modelling the behaviour of soil reinforced with vegetation.

THE MEDITERRANEA TOWARDS 2030
STUDIES AND RESEARCH ON HISTORICAL HERITAGE AND
ANTHROPIC LANDSCAPES, CONSERVATION AND REGENERATION

www.archistor.unirc.it

ArchistoR EXTRA 6 (2019)

ISSN 2384-8898

Supplemento di ArchistoR 12/2019

ISBN 978-88-85479-08-1

DOI: 10.14633/AHR185



Il rinforzo radicale come intervento per la mitigazione del rischio da frane superficiali

Giuseppe Cardile, Marilene Pisano, Nicola Moraci, Daniele Cazzuffi

Uno degli Obiettivi dell'Agenda 2030 che le Nazioni Unite intendono perseguire è quello di operare per la salvaguardia del patrimonio culturale e naturale mondiale. In questo contesto la necessità di una politica di protezione che adotti strategie e metodologie per la riduzione del rischio di disastri naturali, che siano sostenibili sia sul piano ambientale che su quello economico e sociale, risulta oltremodo spingente. L'utilizzo di radici con funzione di rinforzo¹, che costituisce uno degli interventi di mitigazione del rischio da frane² che negli ultimi anni si sono parecchio diffusi con lo scopo di prevenire l'innesco di fenomeni di dissesto che interessano porzioni superficiali dei versanti, risponde in pieno a tale necessità. Contestualmente infatti, oltre ad assolvere alla funzione di mitigazione delle fragilità nelle aree interne e montane, tali tecnologie bio-ingegneristiche consentono la naturalizzazione di aree antropiche con conseguente riduzione in termini di impatto ambientale rispetto alle più tradizionali opere di ingegneria.

I terreni rinforzati con radici presentano una maggiore resistenza a taglio rispetto a quelli non rinforzati grazie a un doppio effetto, idrologico e meccanico³. Con riferimento al primo effetto, le

1. BOVOLENTA, MAZZUOLI, BERARDI 2018; PISANO, CARDILE, RICCIARDI 2020.

2. CANELLI *ET ALII* 2012; MORACI *ET ALII* 2015.

3. CAZZUFFI, CARDILE, GIOFFRÈ 2014; CAZZUFFI, GIOFFRÈ, CARDILE 2016; DIAS, PIRONE, URCIUOLI 2017.

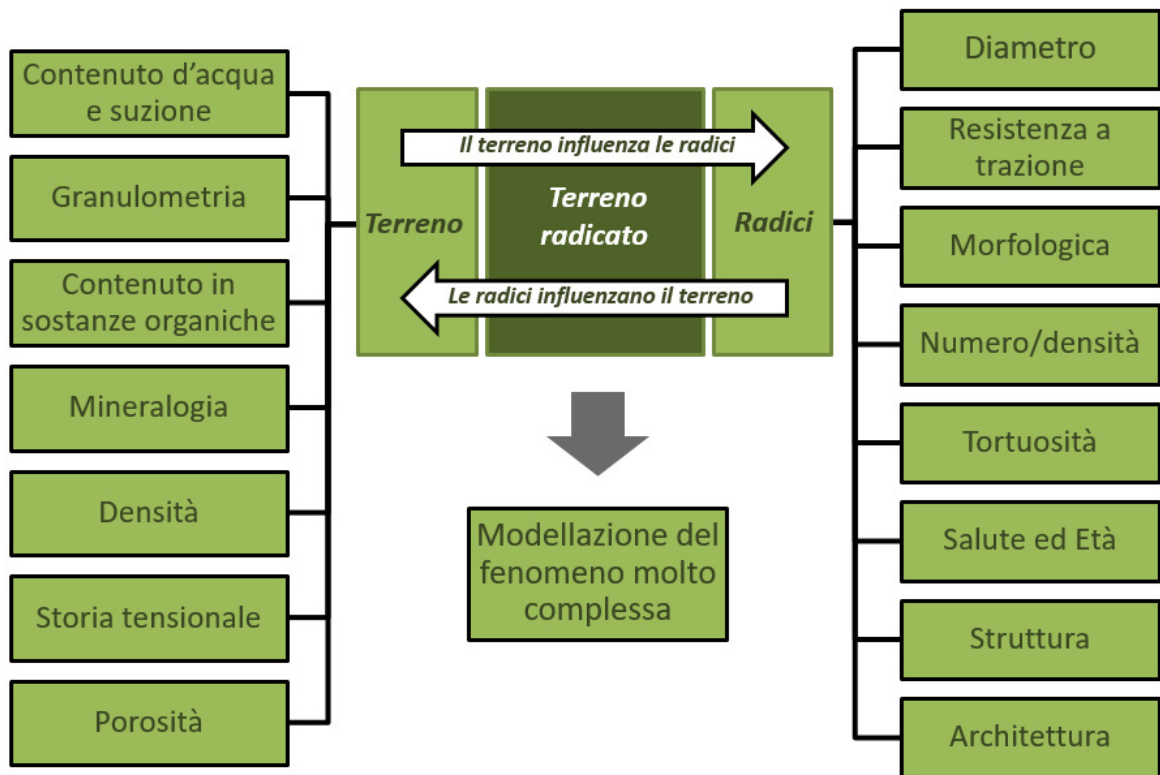


Figura 1. Principali fattori che condizionano la resistenza del sistema terreno-radici.

piante regolano sia l'infiltrazione delle acque meteoriche che vengono intercettate dall'apparato epigeo rallentandone il flusso e in parte assorbite dalle radici, sia il trasferimento di acqua dal terreno all'atmosfera tramite processi di evapo-traspirazione che si traducono in una riduzione del grado di saturazione del terreno con conseguente incremento della suzione e dunque della resistenza al taglio. Per comprendere invece l'effetto meccanico, è sufficiente assimilare il terreno radicato ad un materiale composito costituito da fibre dotate di resistenza a trazione (le radici, appunto) inserite all'interno di una matrice che resiste a compressione e taglio. Quando il terreno è soggetto a uno stato di deformazione a taglio provocato dallo scorrimento relativo dei grani lungo una potenziale superficie di rottura, gli sforzi di taglio che si sviluppano nella matrice di terreno allungano le radici, mobilitando uno stato tensionale di trazione che incrementa la resistenza a taglio del terreno radicato. Le radici che intersecano le superfici di scorrimento possono essere immaginate come ancoraggi che mobilitano una resistenza allo sfilamento all'interfaccia terreno-radice⁴, e questo implica che le radici contribuiscono all'incremento della resistenza al taglio fintanto che non si raggiungono le condizioni limite di rottura per raggiungimento della resistenza a trazione delle singole radici o per sfilamento delle stesse dalla matrice di terreno (quest'ultimo poco comune data la complessa configurazione morfologica dell'apparato radicale, nonché la modifica che la struttura originaria del terreno subisce ad opera di essudati emessi dalle radici⁵).

L'interazione terreno-radici è piuttosto complessa poiché ad essa contribuiscono molteplici fattori che condizionano la risposta del sistema (fig. 1). Tra tutti i possibili fattori, i più importanti sono sicuramente le caratteristiche di resistenza delle radici e la loro distribuzione spaziale all'interno del terreno, la cui influenza dipende da vari aspetti che vanno dalle caratteristiche geometriche, biochimiche, meccaniche e morfologiche del sistema radicale a quelle geotecniche e biochimiche del terreno a contatto, all'uso del suolo e ad altre peculiarità ambientali (caratteristiche climatiche, nutrienti, età e salute della pianta, collocazione geografica, etc.). Tutto questo fa sì che sia la resistenza a trazione delle radici, sia la loro distribuzione spaziale risultino condizionate da un'elevata variabilità che causa incertezze nei parametri di progetto, e questo comporta che allo stato attuale la progettazione di interventi di mitigazione del rischio mediante l'uso di vegetazione potrebbe non soddisfare il criterio di affidabilità richiesto dagli Eurocodici. In questo contesto, alcuni ricercatori⁶ hanno condotto un'analisi di stabilità di tipo probabilistico al fine di valutare il livello di affidabilità

4. WALDRON 1977.

5. AMATO, LANDI, MAZZOLENI 2006; NAPOLI *ET ALII* 2014, p. 27.

6. CARDILE *ET ALII* 2019.

di pendii rinforzati con radici. I risultati hanno mostrato che non sempre è possibile garantire che se un pendio risulta stabile, e dunque soddisfa il criterio di sicurezza per il quale il fattore di sicurezza è almeno pari all'unità (secondo quanto richiesto dagli Eurocodici), esso abbia anche un livello di affidabilità accettabile, ovvero possa soddisfare i requisiti richiesti, e questo proprio a causa della variabilità dei parametri di progetto.

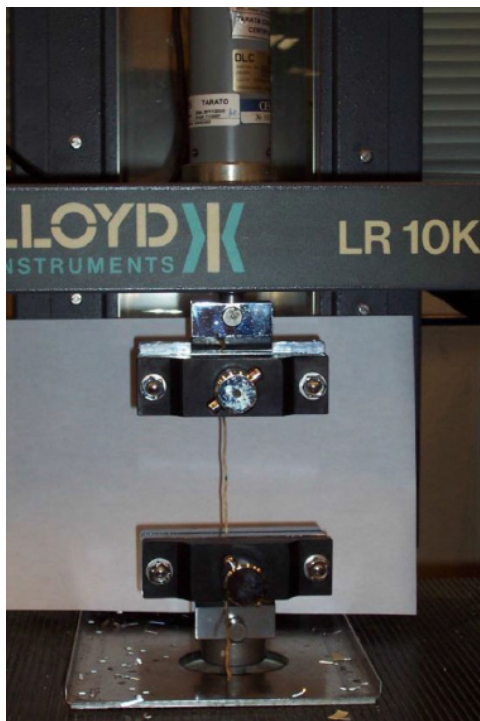
Appare chiaro come la quantificazione del contributo alla resistenza fornito dalle radici sia un'operazione piuttosto importante e difficile da realizzare. Il seguente articolo si propone di illustrare le principali metodologie sperimentali che sin dagli anni '60 si sono sviluppate a questo scopo.

Metodi sperimentali per l'analisi del contributo al rinforzo del terreno fornito da radici

Le prove sperimentali che consentono di valutare l'incremento di resistenza a taglio fornito dalle radici ad uno strato di terreno possono essere effettuate in laboratorio (prove di trazione e prove di taglio diretto) o in sito (prove di sfilamento e prove di taglio diretto).

Le prove di laboratorio effettuate sulle singole radici consentono di determinare la resistenza a trazione delle stesse (prove di trazione). Tali prove vengono eseguite su provini preventivamente condizionati a valori di temperatura e umidità relativa rispettivamente pari a 20°C e 65%, utilizzando un'apparecchiatura dotata di un sistema per il serraggio della radice e un attuatore che impone la velocità di spostamento desiderata (fig. 2); il valore della resistenza a trazione viene letto tramite una cella di carico mentre le deformazioni sono generalmente calcolate per mezzo di un trasduttore di spostamento. Le procedure di prova adottate dai vari ricercatori sono generalmente simili, differendo tuttavia in misura sostanziale nel modo in cui il provino viene agganciato al sistema pinze. Le prove vengono eseguite a velocità di spostamento costante, generalmente variabile tra i 2 e i 20 mm/min, e possono ritenersi valide se la rottura si verifica in prossimità della mezzeria del provino. Le radici sono prelevate in sito tramite metodi di scavo effettuati manualmente o con getti d'acqua in pressione per permettere di rimuovere il terreno attorno alla pianta in maniera progressiva senza danneggiare le radici (fig. 3).

I risultati ottenuti, oltre ad essere condizionati dal tipo di serraggio e dalla velocità di prova, dipendono tra l'altro dalla specie e dal diametro della radice, dal fatto che essa sia "viva" o secca, dall'età e dalla salute della pianta, dalla stagione e dalle condizioni ambientali. Anche la lunghezza dei provini può giocare un ruolo nella stima della resistenza a trazione in quanto nei provini lunghi è più probabile che siano presenti punti deboli causati da discontinuità nelle fibre.



A sinistra, figura 2. Apparecchiatura per le prove di trazione su radici (da CAZZUFFI, CARDILE, GIOFFRÈ 2014, p. 9); in alto, figura 3. Campionamento mediante procedura di rimozione del terreno con acqua pressurizzata (da CAZZUFFI, CARDILE, GIOFFRÈ 2014, p. 8).

La grande variabilità dei risultati ottenuta dalle prove di trazione condotte su una stessa specie è stata mostrata da diversi ricercatori⁷, i quali hanno ottenuto valori di deviazioni standard fino al doppio maggiori del valore medio.

Le “prove di taglio diretto”, che è possibile effettuare sia in laboratorio che in sito, consentono di determinare la resistenza al taglio di provini radicati. Uno dei risultati generalmente ottenuti da queste prove mostra che la resistenza al taglio di picco di tali provini appare essere significativamente maggiore di quella ottenuta sullo stesso tipo di terreno non radicato e che i valori di spostamento in corrispondenza dei quali entrambe le resistenze di picco si mobilitano non coincidono⁸. Questo

7. BISCHETTI *ET ALII* 2005.

8. GIADROSSICH *ET ALII* 2017, p. 1.

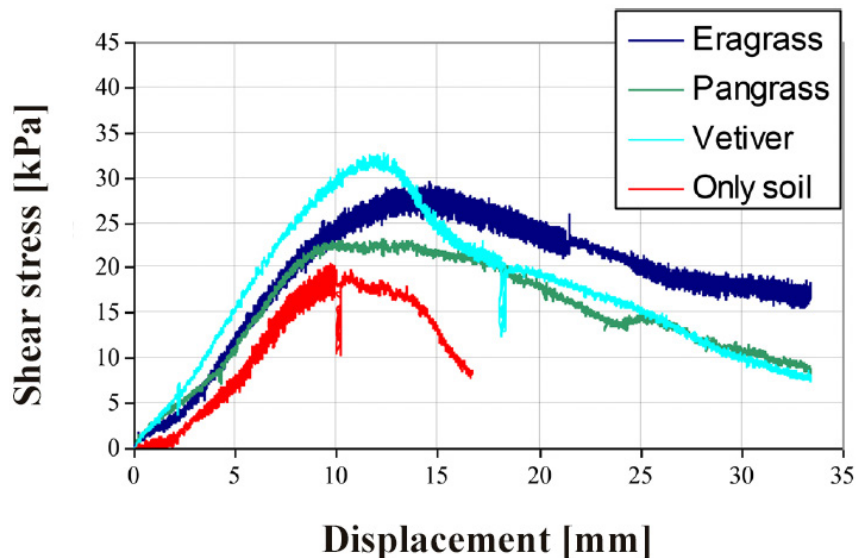


Figura 4. Curve tensione di taglio-spostamento ottenute per terreno non radicato e per terreno rinforzato con diverse specie di graminacee, campionato alla profondità di 0.6 m (da CAZZUFFI, CARDILE, GIOFFRÈ 2014, p. 18).

risultato spiega dunque la ragione per la quale i terreni radicati contribuiscono alla riduzione della suscettibilità di pendii a frane superficiali. L'apparecchiatura utilizzata in laboratorio è costituita da due semi-scatole, una mobile e una fissa, all'interno delle quali viene posizionato il provino. Quest'ultimo viene successivamente sottoposto ad una tensione verticale applicata nella parte superiore e ad uno spostamento orizzontale laterale che provoca la rottura lungo il piano di taglio imposto. Le prove possono essere effettuate su provini indisturbati o ricostituiti le cui dimensioni possono raggiungere valori massimi dell'ordine del metro al fine di evitare l'insorgere di effetti scala legati alle dimensioni della scatola di taglio e al diametro delle radici in rapporto all'area radicata in corrispondenza del piano di taglio. I risultati ottenuti possono essere molto variabili in quanto condizionati da molteplici fattori difficilmente controllabili, quali il tipo di rottura delle singole radici (rottura a trazione o sfilamento) e la loro orientazione rispetto al piano di taglio.

Per evitare l'influenza degli effetti scala alcuni ricercatori⁹ hanno effettuato, a una velocità di spostamento pari a 0.2 mm/min, delle prove di taglio diretto con un'apparecchiatura di grandi

9. CAZZUFFI, CRIPPA 2005; CAZZUFFI, CORNEO, CRIPPA 2006.

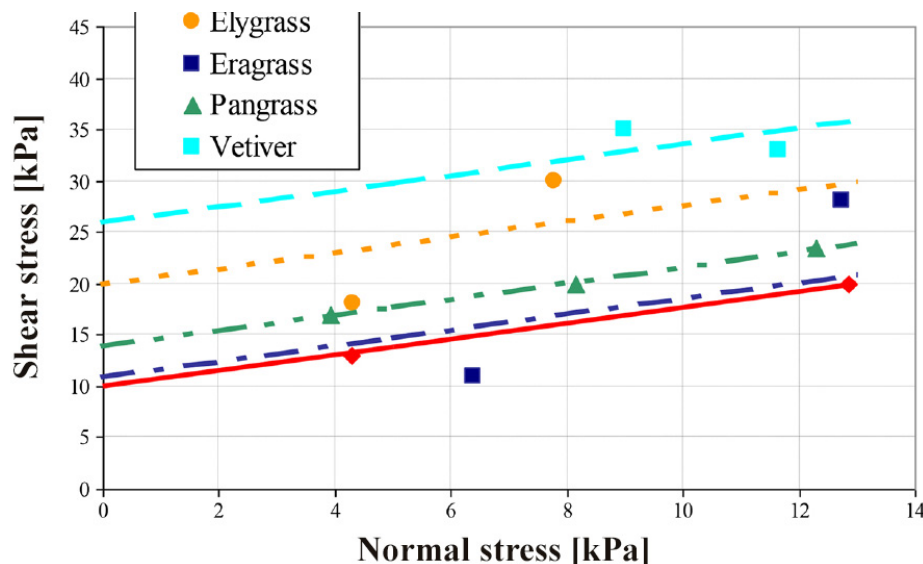


Figura 5. Involuppi di rottura da prove di taglio diretto ottenuti per terreno non radicato e per terreno rinforzato con diverse specie di graminacee (modificato da CAZZUFFI, CRIPPA 2005, p. 5).

dimensioni su provini cilindrici di terreno indisturbato, radicato e non, aventi diametro pari a 200 mm. I risultati in termini di curve tensione di taglio-spostamento ottenute per terreno non radicato e per terreno rinforzato con diverse specie di graminacee, campionato alla profondità di 0.6 m, sono riportati in figura 4. Nella figura 5 è invece possibile analizzare gli involuppi di rottura ottenuti per i suddetti provini testati a differenti tensioni di confinamento: i risultati rappresentati nel piano di Mohr mostrano che il contributo alla resistenza fornito dalle radici può essere individuato in un incremento di coesione apparente (l'angolo di resistenza al taglio dei provini rinforzati e non rimane invariato).

Le "prove di sfilamento" possono essere eseguite in sito e in laboratorio su una o più radici e hanno lo scopo di misurare la resistenza allo sfilamento che l'interfaccia terreno-radice oppone ad una forza di trazione applicata in corrispondenza dell'estremità della radice, o del sistema di radici, testata. In sito la prova viene eseguita in trincea utilizzando un'apparecchiatura generalmente costituita da un telaio metallico e da un verricello connesso alla radice mediante un cavo metallico, e dalla strumentazione di misura: il valore della resistenza allo sfilamento viene letto tramite una cella di carico posta tra il suddetto cavo metallico e la radice serrata, mentre lo spostamento

viene registrato mediante un trasduttore di spostamento. Occorre prestare particolare attenzione all'angolo di inclinazione della radice rispetto alla direzione di sfilamento poiché esso influenza notevolmente i risultati ottenuti.

Alcuni ricercatori¹⁰ hanno condotto delle prove di sfilamento utilizzando un'apparecchiatura che consente di investigare contemporaneamente fino a circa venti radici. I risultati hanno evidenziato che il cinematiso di rottura è condizionato da un insieme di fattori: l'attrito all'interfaccia terreno-radici, il numero e l'estensione di ramificazioni presenti nelle radici, la loro rigidità a trazione e tortuosità. Esso può verificarsi per rottura a trazione della radice principale, per rottura progressiva delle radici ramificate, per rottura a taglio all'interfaccia o per una combinazione delle precedenti¹¹. La prevalenza del meccanismo di rottura per trazione o per sfilamento dipende dalla resistenza al taglio del terreno, e conseguentemente dell'interazione tra radici e terreno, e dalla resistenza a trazione e struttura delle radici.

I meccanismi di interazione elementare che mobilitano la resistenza allo sfilamento, ampiamente spiegati nel contesto del rinforzo del terreno con geosintetici¹², sono i) l'attrito che si sviluppa al contatto tra la superficie laterale delle radici e il terreno a contatto e ii) la resistenza passiva che si sviluppa a causa dell'architettura delle radici (resistenza mobilitata dal terreno in corrispondenza delle porzioni ramificate poste trasversalmente alla direzione di sfilamento).

Nell'ipotesi semplificata di elemento singolo privo di ramificazioni avente diametro "d" e radicato nel terreno in direzione verticale, la resistenza allo sfilamento P_R è pari a:

$$P_R = \tau \cdot A_l = \sigma'_n \cdot \tan \delta \cdot \pi \cdot d \cdot L_a \quad (1)$$

in cui le τ sono le tensioni tangenziali che si sviluppano lungo la superficie laterale della radice A_l , σ'_n è la tensione agente in direzione normale a tale superficie laterale, δ è l'angolo di attrito terreno-radice e L_a è la porzione di radice su cui si mobilita tale resistenza. È pertanto possibile affermare che la resistenza allo sfilamento dipende dalla profondità della radice rispetto al piano di campagna (stato tensionale), dalle caratteristiche meccaniche del terreno, dalle caratteristiche d'interfaccia e dalla geometria della radice. I valori di resistenza allo sfilamento in sito sono generalmente maggiori di

10. GIADROSSICH ET ALII 2013.

11. NORRIS 2005; POLLEN 2007; WU 2013.

12. MORACI, CARDILE 2009; MORACI, CARDILE 2012; CARDILE, MORACI, CALVARANO 2016; MORACI, CARDILE, PISANO 2017; CARDILE, PISANO, MORACI 2019; PISANO, CARDILE, MORACI 2019.

quelli calcolati attraverso l'espressione (1) in quanto le tensioni tangenziali si sviluppano lungo un'area più grande per la presenza di ramificazioni, il diametro non si mantiene costante e le caratteristiche di tortuosità delle radici e la loro morfologia implicano la mobilitazione di superfici di rottura passiva tridimensionali¹³.

In laboratorio, ulteriori prove che possono essere utilizzate per investigare il comportamento di terreni radicati sono le "prove triassiali di compressione". Tuttavia, l'applicazione di tali apparecchiature nel contesto dei terreni rinforzati con radici è piuttosto limitata a causa delle ridotte dimensioni delle radici che possono essere studiate utilizzando provini standard. Alla luce di ciò è necessario sviluppare apparecchiature triassiali di grandi dimensioni che siano in grado di fornire risultati non condizionati da effetti scala.

13. CARDILE *ET ALII* 2017; CARDILE, PISANO, MORACI 2020.

Bibliografia

AMATO, LANDI, MAZZOLENI 2006 - M. AMATO, G. LANDI, S. MAZZOLENI, *Il contributo della vegetazione alla stabilità dei terreni in pendio. Meccanismi e variabilità dei processi*, in G. URCIOLI (a cura di), *Questioni di Ingegneria Geotecnica*, Hevelius, Benevento 2006, pp. 105-125.

BISCHETTI ET ALII 2005 - G.B. BISCHETTI ET ALII, *Root strength and root area ratio of forest species in Lombardy (Northern Italy)*, in «Plant and Soil», 2005, 278-2, pp. 11-22.

BOVOLENTA, MAZZUOLI, BERARDI 2018 - R. BOVOLENTA, M. MAZZUOLI, R. BERARDI, *Soil bio-engineering techniques to protect slopes and prevent shallow landslides*, in «Rivista Italiana di Geotecnica», 2018, 3, pp. 44-65.

CANELLI ET ALII 2012 - L. CANELLI ET ALII, *Debris flow risk mitigation by the means of rigid and flexible barriers - experimental tests and impact analysis*, in «Natural Hazards and Earth System Sciences», 2012, 12, pp. 1693-1699.

CARDILE, MORACI, CALVARANO 2016 - G. CARDILE, N. MORACI, L.S. CALVARANO, *Geogrid pullout behaviour according to the experimental evaluation of the active length*, in «Geosynthetics International», 2016, 23/2, pp. 194-205.

CARDILE ET ALII 2017 - G. CARDILE ET ALII, *Modelling interference between the geogrid bearing members under pullout loading conditions*, in «Geotextiles and Geomembranes», 2017, 45/3, pp. 169-177.

CARDILE ET ALII 2019 - G. CARDILE ET ALII, *Reliability analysis of root-reinforced slopes*, in H. SIGURSTEINSSON, S. ERLINGSSON, B. BESSASON (a cura di), *Geotechnical Engineering, foundation of the future*, XVII European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, (Reykjavik, Islanda, 1-6 Settembre 2019), The Icelandic Geotechnical Society 2019, pp. 1-8, https://www.ecsmge-2019.com/uploads/2/1/7/9/21790806/445-ecsmge-2019_cardile.pdf (ultimo accesso 24 ottobre 2019).

CARDILE, PISANO, MORACI 2019 - G. CARDILE, M. PISANO, N. MORACI, *The influence of a cyclic loading history on soil-geogrid interaction under pullout condition*, in «Geotextiles and Geomembranes», 2019, 47/4, pp. 552-565, <https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2019.01.012> (ultimo accesso, 26 ottobre 2019).

CARDILE, PISANO, MORACI 2020 - G. CARDILE, M. PISANO, N. MORACI, *A Predictive Model for Pullout Bearing Resistance of Geogrids Embedded in a Granular Soil*, in F. CALVETTI ET ALII (a cura di), *Geotechnical Research for Land Protection and Development*, Atti del 7° Convegno Nazionale dei Ricercatori di Ingegneria Geotecnica (Lecco, Italia, 3-5 Luglio 2019), Lecture Notes in Civil Engineering, 2020, 40, pp. 438-445, https://doi.org/10.1007/978-3-030-21359-6_46, (ultimo accesso 25 ottobre 2019).

CAZZUFFI, CRIPPA 2005 - D. CAZZUFFI, E. CRIPPA, *Shear strength behaviour of cohesive soils reinforced with vegetation*, in *Geotechnology in Harmony with the Global Environment*, 16th International Conference on Soil mechanics and Geotechnical Engineering (Osaka, Giappone, 12-16 Settembre 2005), Millpress Science Publishers, Rotterdam 2005, pp. 2493-2498.

CAZZUFFI, CORNEO, CRIPPA 2006 - D. CAZZUFFI, A. CORNEO, E. CRIPPA, *Slope stabilisation by perennial "gramineae" in Southern Italy: plant growth and temporal performance*, in «Geotechnical and Geological Engineering», 2006, 24, pp. 429-447.

CAZZUFFI, CARDILE, GIOFFRÈ 2014 - D. CAZZUFFI, G. CARDILE, D. GIOFFRÈ, *Geosynthetic Engineering and Vegetation Growth in Soil Reinforcement Applications*, in «Transportation Infrastructure Geotechnology», 2014, 1, pp. 262-300.

CAZZUFFI, GIOFFRÈ, CARDILE 2016 - D. CAZZUFFI, D. GIOFFRÈ, G. CARDILE, *Environmental aspects in geosynthetic-soil reinforcement structures: the role of vegetation*, in *Geosynthetics for Infrastructure Development*, 6th Asian Regional

- Conference on Geosynthetics (New Delhi, India, 8-11 Novembre 2016), Central Board of Irrigation and Power, New Delhi 2016, pp. 120-148.
- DIAS, PIRONE, URCIUOLI 2017 - A.S. DIAS, M. PIRONE, G. URCIUOLI, *Review on the Methods for Evaluation of Root Reinforcement in Shallow Landslides*, in «Advancing Culture of Living with Landslides», 2017, 2, pp. 641-648.
- GIADROSSICH ET ALII 2013 - F. GIADROSSICH ET ALII, *Mechanical interactions between neighbouring roots during pullout tests*, in «Plant and Soil», 2013, 367/2, pp. 391-406.
- GIADROSSICH ET ALII 2017 - F. GIADROSSICH ET ALII, *Methods to measure the mechanical behaviour of tree roots: a review*, in «Ecological Engineering», 2017, 109, pp. 256-271.
- MORACI, CARDILE 2009 - N. MORACI, G. CARDILE, *Influence of cyclic tensile loading on pullout resistance of geogrids embedded in a compacted granular soil*, in «Geotextiles and Geomembranes», 2009, 27, pp. 475-487.
- MORACI, CARDILE 2012 - N. MORACI, G. CARDILE, *Deformative behaviour of different geogrids embedded in a granular soil under monotonic and cyclic pullout loads*, in «Geotextiles and Geomembranes», 2012, 32, pp. 104-110.
- MORACI ET ALII 2015 - N. MORACI ET ALII, *Analyses and design procedure of a new physical model for debris flows: results of numerical simulations by means of laboratory tests*, in «Italian Journal of Engineering Geology and Environment», 2015, 2, pp. 29-40.
- MORACI, CARDILE, PISANO 2017 - N. MORACI, G. CARDILE, M. PISANO, *Soil-geosynthetic interface behaviour in the anchorage zone [Comportamento all'interfaccia terreno-geosintetico nella zona di ancoraggio]*, in «Rivista Italiana di Geotecnica», 2017, 1, pp. 5-25.
- NAPOLI ET ALII 2014 - P. NAPOLI, M. CECCONI, V. PANE, G. CALABRESI, *Interazione terreno-vegetazione nei fenomeni superficiali di instabilità dei versanti*, Università degli Studi di Perugia, Perugia 2014.
- NORRIS 2005 - J. E. NORRIS, *Root reinforcement by hawthorn and oak roots on a highway cut-slope in Southern England*, in «Plant and Soil», 2005, 278/1, pp. 43-53.
- PISANO, CARDILE, MORACI 2019 - M. PISANO, G. CARDILE, N. MORACI, *Soil-geogrid interface behaviour under cyclic pullout conditions*, in F. SILVESTRI, N. MORACI (a cura di), *Earthquake geotechnical engineering for protection and development of environment and constructions*, 7th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering (Roma, 17-20 Giugno 2019), CRC Press, Boca Raton, London, New York 2019, pp. 4507-4514.
- PISANO, CARDILE, RICCIARDI 2020 - M. PISANO, G. CARDILE, A. RICCIARDI, *Deterministic and Probabilistic Analyses of Slopes Reinforced with Vegetation*, Atti del 7° Convegno Nazionale dei Ricercatori di Ingegneria Geotecnica (Lecco, Italia, 3-5 Luglio 2019), in F. CALVETTI ET ALII (a cura di), *Lecture Notes in Civil Engineering*, 2020, 40, pp. 379-386, https://doi.org/10.1007/978-3-030-21359-6_40, (ultimo accesso, 26 ottobre 2019).
- POLLEN 2007 - N. POLLEN, *Temporal and spatial variability in root reinforcement of streambanks: accounting for soil shear strength and moisture*, in «Catena», 2007, 69/3, pp. 197-205.
- WALDRON 1977 - L.J. WALDRON, *The shear resistance of root-permeated homogeneous and stratified soil*, in «Soil Science Society of America Journal», 1977, 41, pp. 843-849.
- WU 2013 - T.H. WU, *Root reinforcement of soil: review of analytical models, test results, and applications to design*, in «Canadian Geotechnical Journal», 2013, 50, pp. 259-274.