

L'INTERAZIONE PENDIO ATMOSFERA: PIANTE ERBACEE A
RADICAZIONE PROFONDA PER LA PROTEZIONE DEI VERSANTI
IN CASO DI FENOMENI METEOROLOGICI INTENSI

Claudio Zarotti

Prati Armati srl

Via del Cavaliere 18 - 20090 Opera (MI)

e-mail: info@pratiarmati.it

SOMMARIO: I processi erosivi del suolo possono danneggiare gravemente infrastrutture ed ambiente. L'erosione idrica può colmare le canalette e fossi di guardia, scalzare il piede di opere in cemento armato, causare l'interrimento di corsi d'acqua, e bacini idrici. L'erosione eolica causa il distacco ed il trasporto a distanza di polveri, talvolta contaminate. Fra le tecniche che hanno dimostrato particolare validità nel contrastare questi fenomeni, le piante erbacee perenni a radicazione profonda rappresentano una soluzione ottimale dal punto di vista tecnico, ambientale, di consumo energetico di installazione e per l'assenza di manutenzione. Gli effetti positivi del manto vegetale si erano fino ad oggi focalizzati sul contributo dell'apparato radicale all'aumento della resistenza al taglio dei terreni e quindi al fattore di stabilità dei pendii. Gli impianti arborei ed arbustivi sono peraltro di lenta crescita e non hanno influenza, soprattutto nei primi anni, nell'isolare o mitigare i danni erosivi. Piante erbacee a radicazione rapida e profonda, opportunamente selezionate, riescono invece a germinare, svilupparsi e radicare in tempi brevi e sopravvivere anche in condizioni pedoclimatiche e fitotossiche impensabili per la vegetazione più tradizionale. Esse consentono inoltre di ridurre l'infiltrazione di acqua nel caso di forti piogge ed evapotraspirare significative quantità di acqua, contribuendo così anche alla prevenzione di fenomeni di instabilità profondi.

Parole chiave: erosione, frane, isolamento versanti, protezione scarpate, piante erbacee.

1 RADICAZIONE PROFONDA E RESISTENTE

Sotto il profilo meccanico tutte le radici incrementano la resistenza al taglio dei terreni. Le radici delle piante erbacee a radicazione profonda (anche alcuni metri in terreni non compattati) presentano resistenza a trazione fino a circa 200 MPa (Bischetti G.B. et al, 2001; Bischetti G.B. et al, 2009; Bonfanti F. e Bischetti G.B., 2001), sono sottili (\varnothing 1-3 mm) ed omogenee per tutta la lunghezza: anche nei conglomerati e nelle rocce più o meno fratturate, tali radici penetrano delicatamente senza creare rigonfiamenti e fratture.

Ma soprattutto esse ancorano profondamente la pianta al suolo impedendone la eradicazione da parte di flussi di acqua particolarmente violenti. La pianta, salvando se stessa, sarà così in grado di proteggere il versante. La profondità, unita alla grande massa radicale, contribuisce ad un'ottimale e omogenea sottrazione dell'acqua anche dai terreni che presentano una bassa permeabilità mediante traspirazione: la pianta sottrae acqua dal terreno in forma liquida trasferendola poi all'atmosfera sotto forma di vapore. La fitta copertura erbacea, oltre che schermare il versante dalle piogge, smorza gli sbalzi termici e di umidità e la conseguente fessurazione dei terreni.

2 INCREMENTO DELLA RESISTENZA AL TAGLIO E DEL FATTORE DI STABILITA'

Il Fattore di Stabilità (F_s) globale è un valore adimensionale definito come il rapporto tra forze/momenti/tensioni resistenti (F_a) e destabilizzanti (F_b). Nel caso di terreno armato con radici (Waldron LJ, 1977) è quindi il rapporto tra tutto ciò che concorre a sostenere il pendio (come la coesione, l'attrito, la resistenza delle radici, la componente della forza peso normale alla superficie di scivolamento) e tutto ciò che invece concorre a

creare instabilità (come ad esempio le forze di filtrazione, la componente della forza peso tangenziale). Maggiore è F_s , più il pendio risulta stabile. Ricordiamo che le piante a radicazione profonda possono essere utilizzate per bloccare l'erosione solo su pendii stabili con $F_s > 1$ (Rettori A. et al, 2010).

dove:

F_a : Forze stabilizzanti

F_b : Forze destabilizzanti

Il Fattore di Stabilità è strettamente dipendente anche dalla pressione interstiziale (cfr. equazione riportata di seguito) che a sua volta è influenzata dalla presenza di vegetazione.

$$F_s = \frac{\int \tau_f dl}{\int \tau dl} = \frac{\int [c' + (\sigma - u) \tan \phi'] dl}{\int \tau dl} \quad (2)$$

Dove:

$$F_s = \frac{F_a}{F_b} \quad (1)$$

Tensione normale totale: $\sigma = \frac{N}{A}$, (essendo N la risultante delle forze agenti sull'elemento di terreno ed A l'area su cui insistono tali forze)

Pressione interstiziale: u

Tensione normale efficace (Principio di Terzaghi): $\sigma' = \sigma - u$

Resistenza al taglio (tensione tangenziale a rottura):

$\tau_f = c' + \sigma' \tan \phi' = c' + (\sigma - u) \tan \phi'$

Angolo d'attrito interno efficace: ϕ'

Questa relazione è in grado di illustrare l'influenza della pressione interstiziale sulla stabilità dei pendii e la conseguente necessità di regimentare le acque superficiali e profonde (Richards, L.A., 1931).

Spiega anche l'importanza di diminuire l'infiltrazione dell'acqua nel suolo e di poter sottrarre in modo omogeneo e distribuito parte dell'acqua dal versante.

Su un pendio stabile da un punto di vista geotecnico ($F_s > 1$), un apparato radicale fitto e resistente trasferisce al terreno la propria resistenza a trazione e sottrae acqua dal versante traspirandola verso l'atmosfera: aumenta così la resistenza al taglio che si traduce in un incremento della stabilità globale e quindi anche del Fattore di Stabilità.

Le radici delle piante erbacee a radicazione profonda lavorano proprio a trazione, sfruttando così al meglio la loro resistenza meccanica (v. Fig. 1).



Figura 1: Si noti come tutte le radici lavorino a trazione



Figura 2: A1 Milano-Napoli: canaletta sempre intasata prima del trattamento (Fonte: Autostrade per l'Italia)

Una coltura vegetale fitta ed omogenea diminuisce fortemente l'erosione idrica solo se essa è ben ancorata, tramite radici profonde e resistenti, al terreno sottostante (W.H. Wishmeier, D.D. Smith, 1965). I granuli di terreno restano intrappolati sia a livello radicale, sia a livello del colletto della pianta, e non vengono trasportati a valle. Un chiaro esempio è rappresentato dall'impianto di Fabro lungo l'Autostrada A1: una trincea di circa 20.000 m² in argille plioceniche sovra-consolidate di origine marina.

3 DIMINUZIONE DELL'EROSIONE IDRICA

L'erosione idrica, oltre che asportare ingenti quantità di suolo, può compromettere la funzionalità di opere civili tradizionali: ad esempio ostruendo canalette e fossi di guardia, scalzando il piede o la sommità di opere in cemento armato, muri di sostegno, pali e micropali.

Indirettamente l'erosione idrica provoca poi l'interrimento di corsi d'acqua, laghi, bacini artificiali a seguito del trasporto solido.



Figura 3: A1 Milano-Napoli: Canaletta perfettamente pulita dopo il trattamento (Fonte: Autostrade per l'Italia)

Nel 2007, dopo oltre 20 anni di inutili tentativi di bloccare l'erosione, sono stati seminati particolari miscugli di piante erbacee a radicazione profonda. Da allora non si è più avuta la benché minima erosione e non sono più stati necessari interventi di manutenzione per lo svuotamento delle canalette di drenaggio intasate dal materiale eroso, neanche a seguito dell'alluvione del novembre 2012 (v. Fig. 2 e 3). Gli effetti di una armatura del terreno con piante erbacee perenni a radicazione profonda influenzano anche la stabilità del versante grazie alle proprietà idrauliche di seguito descritte.

4 EFFETTI CHE CONTRIBUISCONO ALLA STABILITÀ DEI PENDII

La fitta copertura erbosa sul pendio ha anche effetto sulle condizioni idriche del terreno, sia nello strato superficiale, sia a livello più profondo. Aumentano infatti:

1. la frazione di acqua che ruscella in superficie sopra la coltre erbacea allettata anziché sul suolo nudo;
2. la frazione di acqua che viene sottratta dal terreno tramite le radici e successivamente trasferita all'atmosfera attraverso le foglie (traspirazione fogliare);
3. la protezione superficiale dagli sbalzi termici e di umidità che innescano crepacciamenti e fratturazioni

I tre effetti combinati, in tempi e modi differenti, diminuiscono la quantità di acqua che si infiltra o permane nel terreno e ne omogenizzano la distribuzione.

Oltre alla funzione di protezione superficiale dall'erosione, la copertura erbacea ha quindi un effetto positivo indiretto sulle condizioni di equilibrio del pendio. Infatti la diminuzione della quantità di acqua meteorica che penetra nel pendio

produce, nel lungo termine, il contenimento delle massime estensioni verso l'alto della superficie piezometrica nelle stagioni di massima piovosità, contribuendo perciò a migliorare il coefficiente di stabilità del pendio.

5 COMPORTAMENTO IN CASO DI FORTI PRECIPITAZIONI

Durante le precipitazioni di forte intensità la parte epigea (le foglie) si adagia e si compatta sul pendio formando una copertura continua, che diminuisce la penetrazione dell'acqua nel terreno e facilita il ruscellamento al di sopra della coltre vegetale, proprio come il tetto in paglia di una capanna, proteggendo il pendio dall'erosione.

Da un punto di vista meccanico le foglie possono essere assimilate a mensole incastrate, con un incastro che presenta una pendenza pari all'angolo di scarpa:

0° nel caso di superficie piana,

90° in caso di parete verticale.

Sulle foglie si genera un momento flettente che tende a deformarle in funzione del proprio peso, del proprio modulo elastico, della lunghezza, dello spessore, delle nervature presenti e in funzione del periodo vegetativo (foglia in piena vegetazione o foglia secca, v. Fig. 4).

La massima deformazione si ha, a parità di foglia, quando l'inclinazione del versante è verticale (la foglia è potenzialmente soggetta al massimo allettamento), la minima quando il versante è orizzontale (la foglia tende ad essere soggetta al minimo allettamento).

La pioggia bagna le foglie che si caricano di un peso distribuito che ne aumenta la freccia di deformazione.

La pioggia che cade sulla foglia esercita una forza dinamica che contribuisce a flettere ulteriormente la

foglia, mantenendola piegata in caso di piogge di forte intensità in quanto il ritorno elastico della foglia è impedito o limitato dal continuo e intenso flusso di acqua che cade su di essa e dal comportamento non perfettamente elastico della foglia che subisce una deformazione irreversibile, rimanendo allettata sul pendio.

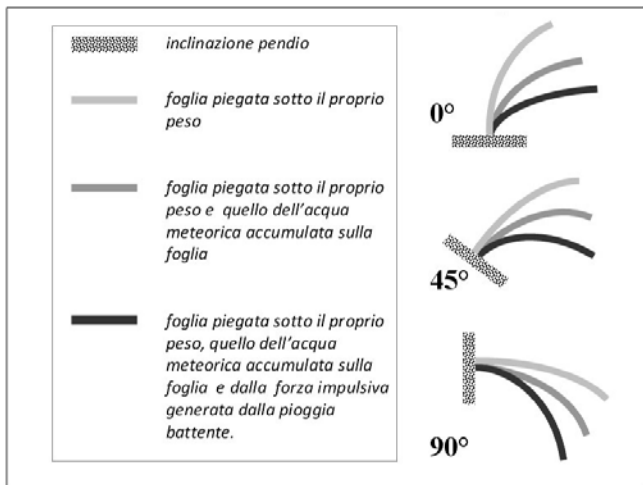


Figura 4: Allettamento delle foglie in funzione della pendenza del versante e dell'intensità della pioggia

Le foglie bagnate, allettandosi, tendono poi ad aderire le une alle altre in conseguenza delle forze di adesione fra le gocce d'acqua e le foglie e quelle di coesione fra gli strati sottili di acqua presenti sulla superficie delle foglie, e a causa della inflessione permanente che hanno subito. La coltre vegetale nel suo insieme, spesso anche molte decine di centimetri, acquista quindi una sorta di 'coesione apparente' che la rende più compatta e quindi meno permeabile, creando un letto di scorrimento che isola il versante (Fig 5, 6 e 7). In caso di precipitazioni intense, l'effetto impermeabilizzante della vegetazione erbacea è molto diverso a seconda della inclinazione del pendio:

1. se il versante è molto acclive, una frazione rilevante di acqua meteorica ruscella al di sopra della coltre vegetale allettata, defluendo verso valle, anche quando la vegetazione è disseccata, così come accade sul tetto di una capanna in paglia. Un impianto erbaceo fitto, su un versante

in forte pendenza, lo isola quindi molto bene in caso di precipitazioni forti e prolungate;

2. se il versante è poco pendente (o addirittura se l'estradosso è orizzontale), la vegetazione erbacea riduce soltanto l'energia cinetica delle gocce di acqua battente, ma gran parte dell'acqua raggiunge, prima o poi, il suolo.

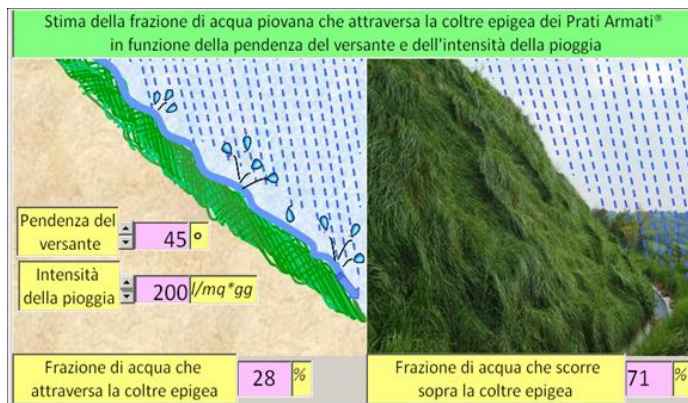


Figura 5: Stima della frazione di acqua piovana che attraversa la coltre epigea in funzione della pendenza del versante e dell'intensità della pioggia



Figura 5: Ruscellamento dell'acqua meteorica al di sopra della coltre vegetale allettata



Figura 6: Gocce sulla foglia

Foglie e radici si degradano ciclicamente nel tempo creando sia nel terreno (radici) sia sopra la superficie del terreno, uno strato di sostanza organica che influenza le proprietà di ritenzione e rilascio idrico del terreno.

L'humus è infatti in grado di assorbire e trattenere quantitativi d'acqua fino a 20 volte il proprio peso, creando una sorta di buffer (ossia una specie di spugna vegetale) che presenta i seguenti vantaggi:

1. Trattiene più acqua in superficie diminuendone l'infiltrazione;
2. Crea un serbatoio di acqua per la sopravvivenza della pianta nei momenti di maggiore siccità;
3. Modifica e migliora la struttura e la composizione del terreno, rendendolo oltretutto più fertile.

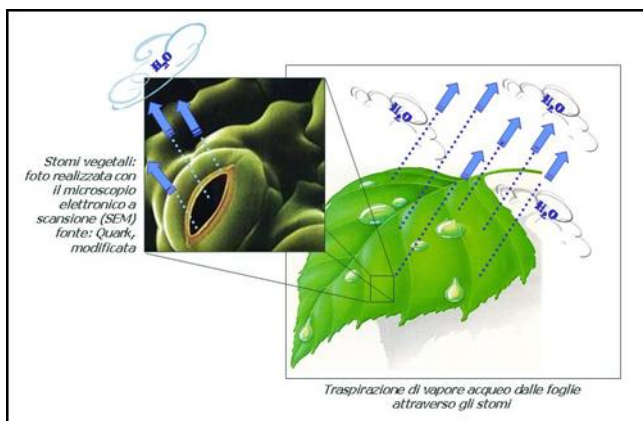


Figura 7: Stomi ingranditi al microscopio elettronico (in alto a sinistra, fonte Quark) e foglia traspirante, in basso a destra

La presenza di vegetazione determina una riduzione del contenuto d'acqua e un ritardo della saturazione dei terreni sia per effetto del sigillamento del versante, sia per trasferimento traspirativo di acqua dal suolo all'atmosfera. Le piante sottraggono acqua dal terreno in forma liquida attraverso le radici e la trasferiscono all'atmosfera come vapore attraverso la parte epigea (fusto e foglie).

L'assorbimento di acqua dal suolo operata dalle piante determina anche un aumento della resistenza meccanica del terreno e quindi una maggiore stabilità globale del versante. Solo a titolo di esempio, una pianta adulta di mais traspira fino a 7 l/m² al giorno. La traspirazione di un prato tradizionale di graminacee alto 12 cm, con radici profonde alcune decine di centimetri è di circa 5 l/m² al giorno nei periodi estivi in Pianura Padana (equivalenti a 50 t per ettaro di acqua al giorno).

La traspirazione delle piante erbacee a radicazione profonda non solo è maggiore di quanto sopra indicato, ma sottrae acqua lungo un maggior profilo verticale e in modo più distribuito e capillare. Questo fenomeno risulta particolarmente importante nei materiali quali le argille in cui la permeabilità è bassa e le maggiori prestazioni sono anche dovute a:

1. un apparato fogliare molto sviluppato (fino a 50-150 cm d'altezza) e quindi maggiore superficie traspirante;
2. una maggiore profondità, quantità e densità delle radici;
3. capacità di sopravvivenza anche in condizioni di aridità, salinità del suolo ed elevate temperature, tipica delle piante a "Fotosintesi C4". Le piante a Fotosintesi C4, (rispetto a quelle a Fotosintesi C3 (che sono le più comuni) non presentano, o presentano in maniera molto ridotta, il processo della fotorespirazione che può ridurne fino al 50% l'efficienza fotosintetica. Una maggiore efficienza fotosintetica comporta un aumento della produzione di biomassa (apparato radicale

compreso) e un accrescimento molto più rapido (Campbell N., Reece J., 2004).

6 PENDII CON CONTENUTO D'ACQUA NON OMOGENEO

In pendii con contenuto di acqua non omogeneo queste piante continuano a traspirare l'acqua nelle zone più umide mentre arrestano la traspirazione nelle zone meno umide contribuendo ad equalizzare il contenuto di umidità del versante. La coltre vegetale disseccata contribuisce inoltre a ridurre l'evaporazione del terreno evitando crepacciamenti e fessurazioni. Alla ripresa delle piogge anche le piante ingiallite e apparentemente morte, riprendono la loro funzione traspirativa. Rimane invece sempre inalterata la capacità di schermare il versante da piogge di forte intensità.



Figura 8: Crepacciamento delle argille in assenza di copertura vegetale



Figura 9: Esempio di deformazioni irreversibili del versante

7 COMPORTAMENTO NEI PERIODI DI SICCITÀ

Nei periodi di siccità prolungata la lunghezza delle radici e la particolare fisiologia di queste piante (a prevalente fotosintesi di tipo C4) ne evitano la moria, in quanto esse trovano in profondità l'umidità necessaria alla sopravvivenza e, ombreggiando la superficie del pendio, la proteggono da un eccessivo essiccamento. Viene così mantenuto un certo grado di umidità, che previene fenomeni di crepacciamento legati alla capacità di ritiro dei materiali. Le erbe anche se ingiallite mantengono la loro funzione protettiva rispetto a precipitazioni di forte intensità e smorzano gli sbalzi termici e di umidità. Il terreno non è così soggetto a continui ritiri e dilatazioni che provocano fratture anche profonde su cui la forza di gravità genera effetti destabilizzanti (v. Fig. 9 e 10).

8 ESEMPI IN CASO DI CATASTROFI NATURALI

Molti impianti antiersivi realizzati con PRATI ARMATI® hanno resistito indenni a catastrofi naturali, quali siccità anomale e alluvioni. Vengono qui di seguito riportati due esempi: uno realizzato in Umbria, a Orvieto, lungo la SP 111 della Badia, l'altro in Sardegna sulle pendici della diga di Orgosolo.

Primo esempio: nel novembre 2012, dopo una stagione estremamente siccitosa (assenza totale di precipitazioni per circa 6 mesi, da maggio a ottobre), la zona di Orvieto-Fabro è stata investita da precipitazioni a carattere torrenziale di intensità eccezionale, circa 400 mm di acqua in due giorni (dati della rete Pluviometrica Regionale Umbra), che hanno causato gravi frane e inondazioni.

L'impianto di Orvieto è un lungo pendio acclive di circa 10.000 m² franato nel 2004 a seguito di piogge intense (v. Fig. 11) e poi riprofilato e messo in sicurezza nel 2005 anche con l'utilizzo delle specie erbacee a radicazione profonda. Il terreno, costituito da depositi vulcanici eterogenei, grazie a questa protezione non ha mai più richiesto interventi di manutenzione (v. Fig. 12). Nelle cunette alla base della scarpata, alta circa 30 metri, non si è mai più accumulata terra, neanche a seguito dell'alluvione di novembre 2012, a dimostrazione dell'assenza sia di cedimenti sia di fenomeni erosivi (v. Fig. 13).



Figura 12: Cantiere di Orvieto in perfette condizioni dopo l'alluvione di novembre 2012



Figura 10: Cantiere di Orvieto prima dell'intervento (2005)



Figura 11: Cantiere di Orvieto dopo 8 mesi dalla semina 2006)

Secondo esempio: varie scarpate in porfidi e graniti prospicienti la diga di Orgosolo (NU) sono stati trattati con questi inerbimenti fra il 2008 e il 2011 (v. Fig. 14 e 15). Gli impianti hanno perfettamente resistito (v. Fig. 16) anche all'alluvione che ha colpito l'intera Sardegna il 18 novembre 2013 causata dal passaggio del ciclone Cleopatra che in poche ore ha scaricato circa 500 mm di pioggia (dati: Corriere della Sera - Isole - del 20/11/2013)

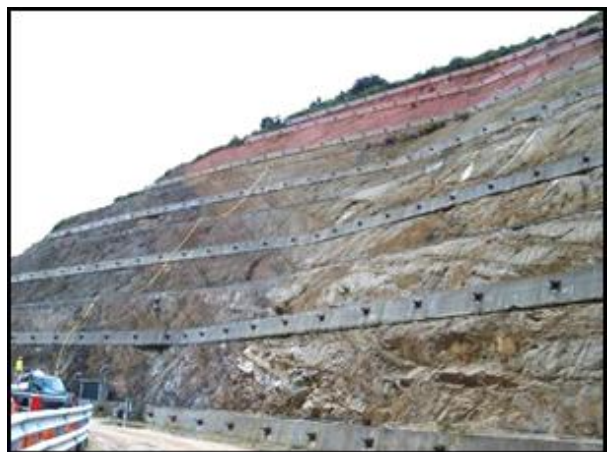


Figura 13: Il cantiere di Orgosolo prima dell'intervento (2011)



Figura 14: Il cantiere di Orgosolo ad aprile 2013, prima dell'alluvione



Figura 15: Il cantiere di Orgosolo in perfette condizioni dopo l'alluvione del novembre 2013

9 CONCLUSIONI

L'erosione, anche a causa dei cambiamenti climatici, con piogge sempre più intense e concentrate, è diventato un problema geotecnico non più marginale. L'erosione idrica, oltre che asportare rilevanti quantità di suolo, può compromettere la funzionalità di opere civili tradizionali: ad esempio colmando canalette e fossi di guardia, scalzando il piede di opere in cemento armato, muri di sostegno, e scoprendo la sommità di pali e micropali. Inoltre il mancato isolamento dei versanti, con conseguente infiltrazione e presenza di acqua nel suolo, può innescare fenomeni di instabilità. Le piante erbacee a radicazione rapida e profonda riescono a germinare, svilupparsi e sopravvivere anche in condizioni pedoclimatiche e fitotossiche impensabili per la vegetazione più tradizionale. Questo consente di inerbire e di contrastare l'erosione idrica ed eolica in aree fino a poco tempo fa ritenute proibitive per lo sviluppo della vegetazione. Esse consentono inoltre, anche su pendii costituiti da depositi sterili e inquinati, impossibili da inerbire con piante tradizionali, di diminuire sia l'infiltrazione di acqua nel sottosuolo, sia di traspirare significative quantità di acqua sottraendola dal suolo e trasferendola all'atmosfera, contribuendo così a prevenire fenomeni di instabilità.

L'efficacia della soluzione è ben dimostrata ed illustrata attraverso due applicazioni (una scarpata stradale in Umbria e l'invaso di una diga in Sardegna), dove impianti antierosivi realizzati con piante erbacee a radicazione profonda hanno resistito indenni a catastrofi naturali, quali siccità anomale seguite da violente alluvioni.

BIBLIOGRAFIA

- Bischetti G.B., Bonfanti F., Greppi M., 2001. *Misura della resistenza a trazione delle radici: apparato sperimentale e metodologia d'analisi*. Quaderni di Idronomia Montana, 21/1, 349-360.
- Bischetti G.B., Chiaradia E. A., Epis T., 2009. *Prove di trazione su radici di esemplari di piante PRATI ARMATI®. Rapporto conclusivo*. Dipartimento di Ingegneria Agraria, Università degli Studi di Milano.
- Bonfanti F., Bischetti G.B., 2001. *Resistenza a trazione delle radici e modello di interazione terreno-radici*. Istituto di Idraulica Agraria, Milano-Rapporto interno.
- Campbell N., Reece J., 2004. *BIOLOGIA*, edizioni Zanichelli
- Rassam D.W., Cook F., 2002. *Predicting the shear strength envelope of unsaturated soils*. Geotechnical Testing Journal, Technical Note, 25: 215-220.
- Rettori A., Cecconi M., Pane V., Zarotti C., 2010. *Stabilizzazione superficiale di versanti con la tecnologia Prati Armati®: implementazione di un modello di calcolo per la valutazione del coefficiente di sicurezza*. Accademia Nazionale dei Lincei – X Giornata Mondiale dell'Acqua, Convegno: Frane e Dissesto Idrogeologico, marzo 2010.
- Richards, L.A., 1931. *Capillary conduction of liquids through porous medium*. Physics, Vol. 1.
- Waldron LJ, 1977. *The shear stress resistance of root-permeated homogeneous and stratified soil*. Soil Science Society of America Proc., 41:843-849
- W.H. Wismeier, D.D. Smith, 1965. *Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountain*. Agr. Handbook, n. 282, U.S. Dept. of Agriculture.

ABSTRACT

SLOPE-ATMOSPHERE INTERACTION: DEEP ROOTING GRASS PLANTS FOR THE PROTECTION OF SLOPES IN THE EVENT OF INTENSE METEOROLOGICAL PHENOMENA

Keywords: erosion, landslides, slope isolation, slope protection, herbaceous plants

The water erosion, besides removing large quantities of soil, may impair the functionality of traditional civil works, for example by bridging channels and ditches, displacing the foot of reinforced concrete works and retaining walls, uncovering the top of poles and micropiles, causing the silting of rivers, lakes and reservoirs. Wind erosion damages land and natural vegetation by removing soil particles from one place and depositing it in another. In the event that these particles are contaminated by heavy metals, hydrocarbons and so on, a negative impact is to be expected on the entire ecosystem: plants, animals and humans.

Among the techniques that have recently demonstrated a particular validity in fighting these phenomena, the deep rooting perennial herbaceous plants represent an excellent solution in terms of technical results and environmental impact, besides requiring very low amount of energy for installation and zero maintenance. Thesis and research work carried out in recent years have made it possible, for the first time, the quantification of these results.

The use of these plants have been mainly focusing their capability to improve some geomechanical parameters like the soil cohesion factor, thus increasing the shear strength and therefore the factor of slope stability.

Nevertheless it must emphasized that trees and shrubs grow slowly and have no influence, especially in the early years, to isolate or mitigate the damages caused by erosive rainfall and strong winds. Properly

selected herbaceous plants, are instead capable to germinate and rapidly develop deep roots allowing them to survive even in climatic and phytotoxic conditions unthinkable for most traditional vegetation.

Even on slopes consisting of tailings and contaminated deposits, impossible to grassy with traditional plants, they allow to decrease in the short term water infiltration and to remove through evapo-transpiration significant amount of water from the subsoil, thus contributing to the prevention of deep instability phenomenon.

The effectiveness of the solution is well confirmed and illustrated by two applications (a road escarpment in Umbria and the reservoir of a dam in Sardinia), where anti-erosion mantles of deep rooting herbaceous plants could perfectly resist to natural disasters, such as abnormal droughts followed by violent floods.