

## **XII INCONTRO ANNUALE DEI GIOVANI INGEGNERI GEOTECNICI**

Un'iniziativa dell'Associazione Geotecnica Italiana, con il patrocinio del Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale dell'Università degli Studi di Padova



**Padova, 31 Maggio – 1° Giugno 2023**

### **ATTI DEL CONVEGNO**

**A cura di: Paolo Crescini, Gianluca Bella, Sabrina Moretti e Maria Iovino**

# OPERE DI CAPTAZIONE E REGIMENTAZIONE DELLE ACQUE SUPERFICIALI E METEORICHE REALIZZATE CON PIANTE ERBACEE PERENNI A RADICAZIONE PROFONDA E RESISTENTE DIRETTAMENTE SUL TAL QUALE SU VERSANTI E RILEVATI IN TERRE E AMMASSI ROCCIOSI.

Marcello Zarotti (marcello.zarotti@pratiarmati.it)  
Prati Armati srl

**ABSTRACT.** I processi erosivi del suolo possono danneggiare gravemente infrastrutture ed ambiente. Le precipitazioni intense possono erodere fortemente i terreni, colmare canalette e fossi di guardia realizzati per la captazione e regimentazione delle acque meteoriche e superficiali, scalzare il piede di opere civili, causare l'interrimento di corsi d'acqua, bacini idrici e così via. Fra le tecniche che hanno dimostrato particolare validità nel contrastare questi fenomeni, le Pianta Erbacee Perenni a Radicazione Profonda e Resistente rappresentano una soluzione ottimale dal punto di vista tecnico, economico, ambientale, di realizzazione, per l'assenza di manutenzione e con un consumo energetico e di inquinamento per l'installazione fino a 100 volte inferiore rispetto a tecniche tradizionali. Con questa tecnologia è possibile realizzare innovative opere di captazione e regimentazione delle acque superficiali e meteoriche direttamente sul tal quale o addirittura sfruttando le naturali linee di ruscellamento già presenti.

## 1. LA TECNOLOGIA INNOVATIVA E NATURALE

Le Pianta Erbacee Perenni a Radicazione Profonda e Resistente bloccano l'erosione ed influenzano positivamente la stabilità del versante grazie alle proprietà di isolamento idraulico e di traspirazione: diminuisce l'infiltrazione, si riduce la fessurazione e la pressione interstiziale, migliorando così i principali parametri geomeccanici dei terreni. Tale armatura vegetale protegge inoltre dall'interrimento le tradizionali opere idrauliche superficiali quali canalette e fossi di guardia, generalmente realizzate con materiali plastici, metallo, calcestruzzo, e così via e viene anche annullata ogni manutenzione a lungo termine. (Rettori A, at, 2010, *Stabilizzazione superficiale di versanti con la tecnologia Prati Armati®: implementazione di un modello di calcolo per la valutazione del coefficiente di sicurezza.*)

## 2. BASE SCIENTIFICA DI RIFERIMENTO

È noto in letteratura che le radici, sotto il profilo meccanico, incrementano la resistenza al taglio dei terreni. (Napoli P. at al, 2014. *Interazione terreno-vegetazione nei fenomeni superficiali di instabilità dei versanti. Culture Territori Linguaggi – 5, 201, Università degli Studi di Perugia*). Fino ad oggi l'attenzione è stata posta su piante arboree che presentano radici di grandi dimensioni. Le piante erbacee a radicazione profonda sono invece caratterizzate da un apparato radicale profondo sottile e resistente che presenta numerosi vantaggi per il contrasto all'erosione e la regimentazione delle acque in quanto creano un manto uniforme e sono in grado di resistere anche a eventi meteorologici molto intensi e non prevedibili. Studi e sperimentazioni in questo senso (Apollonio C., et al, 2021, *Hillslope Erosion Mitigation: An Experimental Proof of a Nature-Based Solution*) sono state effettuate presso università, enti di ricerca, etc: l'università della Tuscia in collaborazione con l'università di Perugia hanno ad esempio sperimentato, su una collina sperimentale attrezzata e strumentata, la capacità di evitare qualunque erosione e rallentare il deflusso dell'acqua sottoponendo le parcelle a carichi di irrorazione di acqua di 2200 litri/m<sup>2</sup>/giorno. L'erosione misurata è diminuita di oltre 1000 volte rispetto a parcelle non inerbite, rallentando istante per istante il flusso idraulico (cfr filmato Rai 1 – Linea Verde: <https://www.pratiarmati.it/articoli-scientifici/i-prati-armati-hanno-resistito-a-2-200-litri-m2-in-24-ore-nessuna-erosione/>)

Le radici di queste piante erbacee sono in grado di svilupparsi in qualunque litotipo penetrando anche alcuni metri nei terreni sciolti e non compattati; presentano resistenze a trazione certificate dai laboratori dell'università di idraulica agraria di Milano di oltre 200 MPa; sono sottili, con diametro inferiori a 3 mm e omogenee lungo tutto il loro sviluppo. Si evitano così effetti destabilizzanti dovuti a rigonfiamenti e ingrossamenti ad esempio in strati rocciosi alterati, conglomerati etc. (Bischetti G.B., Bonfanti F.& Greppi M., 2001. *Misura della resistenza a trazione delle radici: apparato sperimentale e metodologia d'analisi*) (Bonfanti F.& Bischetti G.B., 2001. *Resistenza a trazione delle radici e modello di interazione terreno-radici*)

### 3. VANTAGGI TECNICI, ECONOMICI, APPLICATIVI, AMBIENTALI ED ENERGETICI

Questa innovativa tecnologia consente di realizzare direttamente sul tal quale le opere di captazione e regimentazione delle acque superficiali e meteoriche, eliminando completamente l'uso di materiali e manufatti estranei al litotipo di cui è costituito il versante, quali canalette in cemento e ferro, briglie, embrici, etc. Figura 1



Figura 1. Esempi delle problematiche più comuni delle canalette tradizionali.



Figura 2. Autostrade per l'Italia, l'impressionante realizzazione antierosiva e di regimentazione delle acque eseguita seguendo le naturali linee di ruccellamento dell'acqua.

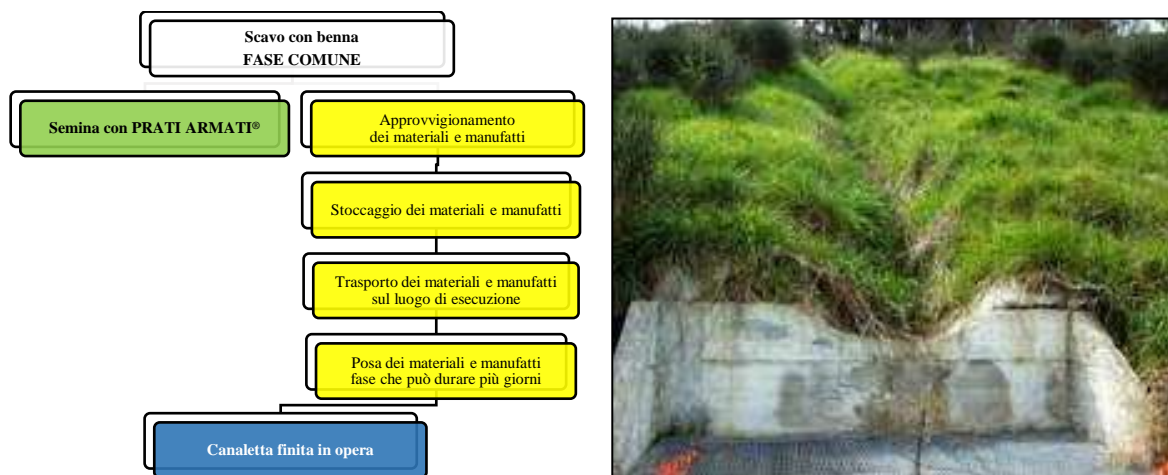


Figura 3. Confronto della complessità realizzativa di canalette tradizionali raffrontate alla semplicità di canalette inerbite.

I vantaggi di questa soluzione, realizzata seminando direttamente sul terreno tal quale possono essere così sintetizzati:

- le opere realizzate non sono rigide e seguono gli assestamenti dei versanti, evitando infiltrazioni nelle discontinuità del versante,
- non vengono applicati pesi concentrati sul versante,



- si evitano infiltrazioni dovute a rotture e scollamenti delle opere rigide dal litotipo sottostante, anche a seguito di dilatazioni termiche o idriche, rigonfiamenti, assestamenti differenti fra i vari materiali Figura 1,
- si riduce, istante per istante, la velocità dell'acqua che scorre nelle canalette, con possibilità di variare in modo semplice la scabrezza del rivestimento erbaceo dovuto alla diversa struttura epigea delle piante erbacee utilizzate,
- l'energia cinetica dell'acqua, anche in presenza di elevate velocità di flusso, viene dissipata, istante per istante, per attrito attraverso la fitta coltre epigea,
- le opere idrauliche di captazione così realizzate non richiedono alcuna manutenzione,

Inoltre:

- le opere di regimentazione e captazione così realizzate possono essere sovradimensionate a piacere senza incrementi di costi (sono realizzate sul tal quale mediante una semplice benna o addirittura utilizzano le preesistenti tracce scavate dall'acqua) e consentono ai progettisti di realizzare così opere in grado di sopportare eventi anche non prevedibili e del tutto eccezionali,
- eventuali fuoriuscite di acqua vengono immediatamente rallentate dalle piante a radicazione profonda distribuite su tutto il versante che diventa contemporaneamente un sistema antierosivo e di regimentazione idraulica nel suo insieme, Figura 2
- ulteriori vantaggi sono la riduzione fino a cento volte dei consumi energetici e di inquinamento e dei tempi di realizzazione rispetto all'utilizzo di tecniche tradizionali, Figura 3
- non richiedono alcuna manutenzione,
- consentono un perfetto inserimento paesaggistico, Figura 4
- consentono una rapidità di realizzazione anche cento volte superiore rispetto alle tecniche tradizionali con drastica riduzione dei tempi, dei costi, dei rischi di cantiere e di dispendio energetico e di inquinamento.



Figura 4. Canaletta inerbita realizzata direttamente su ammassi rocciosi e terre. Si noti la perfetta adattabilità alla conformazione e tipologia del terreno.

#### 4. POSSIBILITA' DI REGOLARE LA VELOCITA' DELL'ACQUA

Le soluzioni qui proposte consentono anche di modulare la resistenza idraulica delle opere di captazione e regimentazione delle acque superficiali e meteoriche in quanto è possibile variare il numero di Manning (1891), che quantifica la scabrezza di una superficie. Il numero di Manning ( $n = 1/k_s$ ) è definito come l'inverso del coefficiente di Strickler-Manning che è un parametro che si usa nello studio dei flussi dei condotti, dei canali e dei fiumi che quantifica la velocità media di un liquido che scorre sulla superficie libera. Le superfici inerbite possono essere caratterizzate da un intervallo molto ampio del numero di Manning come si può apprezzare dalla tabella, cosa non possibile con nessuna altra tecnologia.

Ricordando che valori elevati del numero di Manning indicano una elevata scabrezza, si riportano i numeri di Manning e le variazioni possibili associate ai manufatti realizzati con materiali tradizionali, quali embrici, fmsider, opere idrauliche in generale:

Infatti esistono specie erbacee con la parte epigea allettante (si definisce pianta erbacea allettante una pianta erbacea in cui la parte epigea si piega facilmente sotto l'effetto di una forza e rimane piegata in quanto non presenta proprietà elastiche), altre con la parte epigea rigida ed elastica, che si possono scegliere già in fase di progettazione o di realizzazione, senza alcuna complicazione tecnica ed impiantistica ed a parità di prezzo, consentendo variazioni molto significative del numero di Manning (cfr Tabella 1) (Manning, R, 1891, On the flow of water in open channels and pipe)

TABELLA 1

Materiale	Numero di Manning	variazioni in base alla rugosità del manufatto
<b>Acciaio (canalette)</b>	0.011 - 0.017	154%
<b>Lamiera ondulata (tipo finsider)</b>	0.021 - 0.030	142%
<b>Calcestruzzo grezzo (canalette)</b>	0.014 - 0.020	143%
<b>Scogliera</b>	0.023 - 0.035	152%
<b>Canali in terra non vegetati</b>	0.023 - 0.030	133%
<b>Piante erbacee a radicazione profonda</b>	0.030 - 0.500	1660%

La tecnologia consente anche di alternare varie soluzioni in un'unica opera come risulta evidente nella vasta rete di canalizzazioni eseguite su cantiere RFI di Santa Vittoria d'Alba (CU-Piemonte).

Nella foto di figura 5c) si vede come una pianta erbacea con caratteristiche di elevata rigidezza ed elasticità filtra l'acqua diminuendone l'energia cinetica trasformando la stessa per attrito in calore, diminuendone istante per istante la velocità: il vettore velocità dell'acqua cambia direzione, da tangenziale (rispetto al piano di scorrimento) a perpendicolare come accade nelle briglie idrauliche in pietra nei corsi d'acqua montani. Oltretutto tali opere non hanno limiti di inclinazione se non quelli dovuti all'angolo di attrito interno dei vari litotipi e, in quelle opere in parte su terra ed in parte su roccia, come nella fig.3, consentono un'ottimale aderenza al versante.

Dalla tabella 1 si vede come i manufatti tradizionali abbiano una modesta capacità di rallentare l'acqua istante per istante. La velocità dell'acqua assume rilevanza sempre maggiore più la pendenza è elevata e su opere poste a pendenze elevate l'acqua acquista via via velocità se non si utilizzano salti idraulici, complessi, costosi, di non facile installazione ed ancoraggio al versante, cosa invece possibile con la semplice tecnologia delle piante erbacee a radicazione profonda in grado invece di rallentare l'acqua oltretutto in modo programmabile.

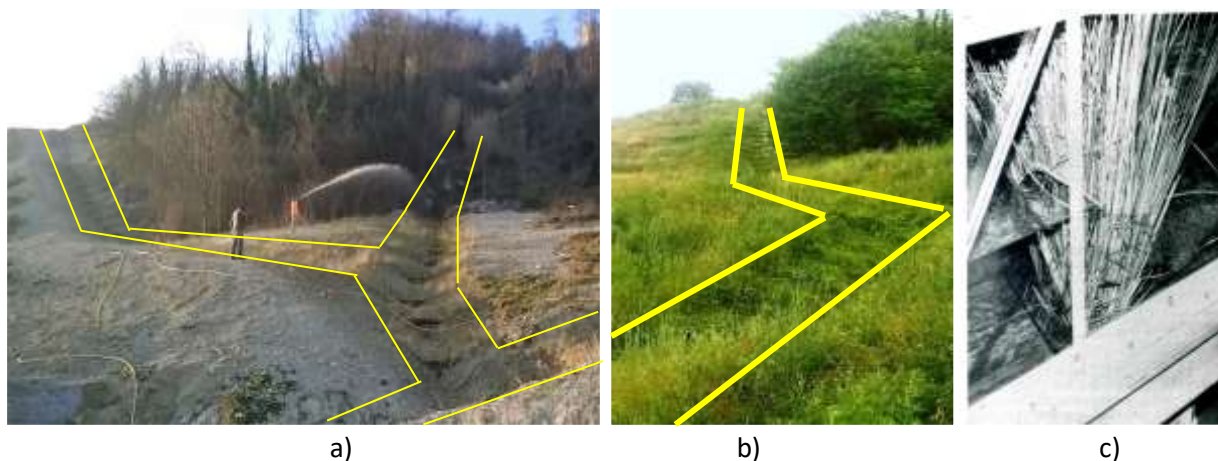


Figura 5. RFI S. Vittoria d'Alba Canalette realizzate direttamente sul tal quale con piante allettanti frammiste a piante assurgenti, elastiche, tenaci e particolare della dissipazione dell'energia idraulica da parte di queste ultime.

## 5. BIBLIOGRAFIA

Manning, R., 1891, On the flow of water in open channels and pipe, *Transactions of the Institution of Civil Engineers of Ireland*.

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

Bonfanti F. & Bischetti G.B., 2001. *Resistenza a trazione delle radici e modello di interazione terreno-radici*. Istituto di Idraulica Agraria, Milano-Rapporto interno.

Rettori A., Cecconi M., Pane V. & Zarotti C., 2010, C Geotech Testing Journal, Technical Note, 25: 215-220. *Stabilizzazione superficiale di versanti con la tecnologia Prati Armati®: implementazione di un modello di calcolo per la valutazione del coefficiente di sicurezza*.

Rettori A., at, 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: Consuntivo

Apollonio C., Petroselli A., Tauro F., Cecconi M., Biscarini C., Zarotti C., Grimaldi S., *Hillslope Erosion Mitigation: An Experimental Proof of a Nature-Based Solution*, DAFNE Department, Tuscia University, 01100 Viterbo, Italy, DI Department, University of Perugia, 06125 Perugia, Italy, SHeC Center Sustainable Heritage Conservation, Università per Stranieri di Perugia, 06123 Perugia, Italy, PRATI ARMATI SRL, Opera, 20090 Milan, Italy;