

<b>LOCALITA' E DATI APPALTO</b>	<p><b>ORTONA</b>          Committente: RFI spa          Progettista: ITALFERR spa          Appaltatore: Sicurbau srl          Subappaltatore: Prati Armati srl          CIG 0854776776 - CUP J71H92000000007          Autorizzazione subappalto con ods. N. 1045 del 29/11/2018</p>
<b>TIPOLOGIA CANTIERE</b>	<p>Esecuzione in appalto dei lavori di raddoppio della linea ferroviaria Pescara - Bari tra l'ingresso Nord della stazione di Ortona e la galleria "Cimitero" esistente mediante la costruzione di una galleria a semplice binario, parte in artificiale</p>
<b>OBIETTIVI INTERVENTO</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. blocco dell'erosione</li> <li>2. rinaturalizzazione</li> <li>3. canalette pulite senza manutenzione</li> <li>4. canalette inerbite</li> </ol>
<b>ESTENSIONE</b>	<p>Circa 12.000 m<sup>2</sup></p>
<b>LITOTIPO</b>	<p>vari</p>
<b>DATA INTERVENTO</b>	<p>2019 -2022</p>
<b>NOTE</b>	



Come si presentava il cantiere nel 2016  
prima degli interventi con i PRATI ARMATI®

COME SI PRESENTAVA IL CANTIERE PRIMA DELL'APPLICAZIONE DEI PRATI ARMATI® (2016)  
Erosione e scivolamenti continui dei versanti tanto da doverli ricoprire con teli di plastica



# Il cantiere prima dell'applicazione dei PRATI ARMATI® nel 2019





Interventi di semina e idrosemina

novembre 2019







Il cantiere dopo i nostri interventi

maggio 2022

## COME SI PRESENTA IL CANTIERE AL 17 MAGGIO 2022

erosione zero, inerbimento superiore all'80%, rinaturalizzazione in atto, canalette e fossi di guardia puliti e inerbiti, inserimento artistico e paesaggistico di evidente pregio



## COME SI PRESENTA IL CANTIERE AL 17 MAGGIO 2022

erosione zero, inerbimento superiore all'80%, rinaturalizzazione in atto, canalette e fossi di guardia puliti e inerbiti, inserimento artistico e paesaggistico di evidente pregio





Canalette e fossi di guardia  
inerbiti e puliti da fango e melma





Alcune caratteristiche de  
i PRATI ARMATI ®

# RINATURALIZZAZIONE

I PRATI ARMATI® POSSONO INIBIRE O FAVORIRE LA RINATURALIZZAZIONE



## Funzioni esplicate dai PRATI ARMATI®

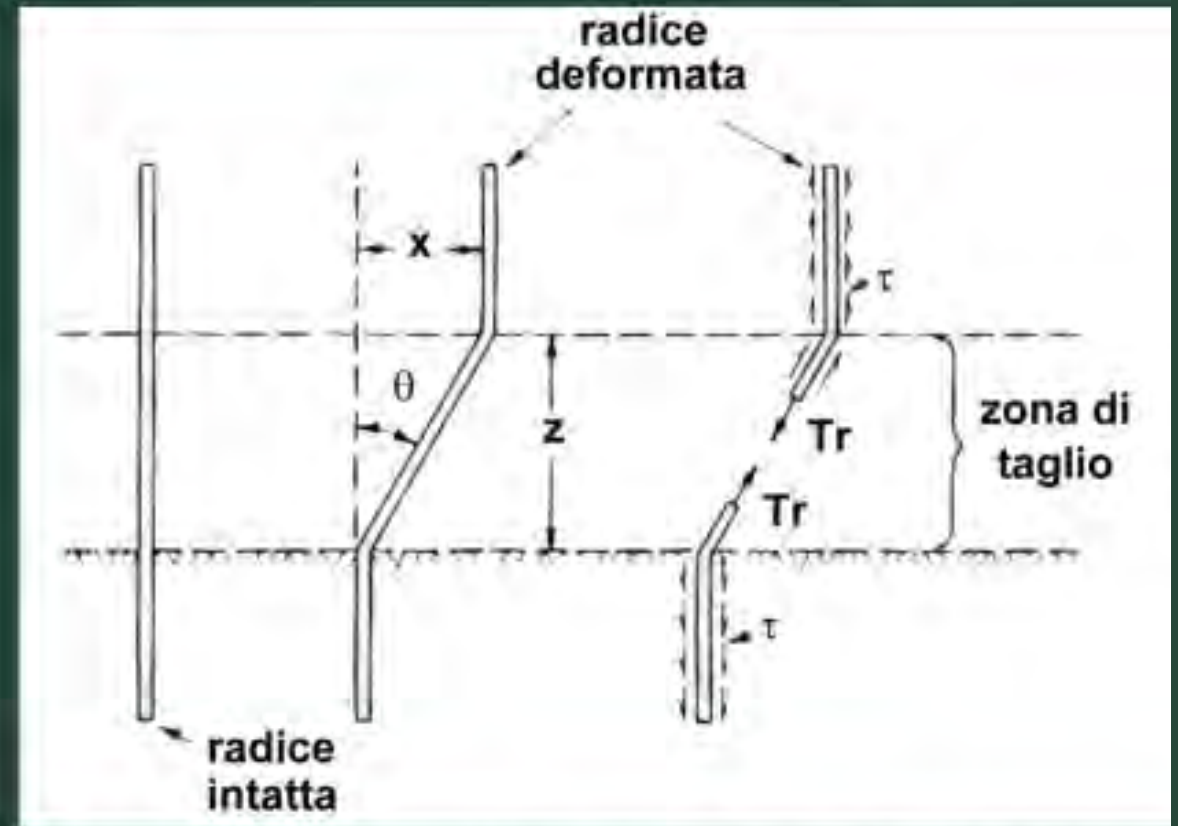
### Armatura del terreno

Un apparato radicale fitto e con buone proprietà meccaniche, arma il terreno e ne aumenta la resistenza al taglio. Le piante così ancorate non vengono asportate neppure da eventi piovosi molto intensi consentendo un'ottimale protezione superficiale del versante.



Particolare delle radici di PRATI ARMATI®

### Aumento della resistenza al taglio del terreno con le radici di PRATI ARMATI®



Mobilizzazione della resistenza a trazione delle radici per attrito con il terreno (da Gray & Sotir, 1996; modificato).





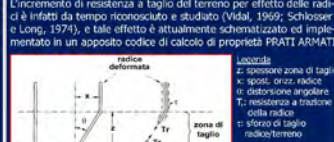
### Stabilizzazione superficiale di versanti con la tecnologia Prati Armati® : implementazione di un modello di calcolo per la valutazione del coefficiente di sicurezza.

Andrea **RETTORI**, Manuela **CECCONI**, Vincenzo **PANE**, Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale, Università degli Studi di Perugia  
Claudio **ZAROTTI**, Prati Armati S.r.l.

Fenomeni superficiali di instabilità dei versanti ed eventuali fenomeni di erosione possono essere efficacemente contenuti mediante l'impianto di coltri vegetali con apparato radicale relativamente profondo. Nel 1999 si costituiva in Italia la società PRATI ARMATI® che ha sviluppato un'innovativa tecnologia "verde" per fronteggiare i fenomeni di erosione del suolo, di cui detiene l'esclusiva mondiale. Tale tecnologia appare ad oggi particolarmente efficiente nel contenere fenomeni di instabilità di coltri superficiali per diverse tipologie di depositi interessati. I risultati ottenuti in diversi cantieri in Italia ed all'estero ne sono testimonianza.



L'inerbimento di pendii e versanti con la tecnica dei PRATI ARMATI® può indurre numerosi effetti sulle condizioni idrauliche e meccaniche del terreno inerbite, che a loro volta si riflettono sulle condizioni di equilibrio del pendio stesso. Uno di questi effetti, di natura meccanica, è evidentemente attribuibile alle radici.



Effetto meccanico delle radici. Stabilizzazione della resistenza a trazione delle radici nella configurazione deformata (modificata da Gray e Leon, 1989)

Dal punto di vista idraulico, l'impianto di radici può ridurre significativamente il contenuto d'acqua del terreno, sia inibendo l'infiltrazione di acqua meteorica, che attraverso l'assorbimento di acqua da parte delle radici. Il problema è evidentemente complesso, dal momento che i fenomeni in gioco sono molteplici ed il loro studio richiede competenze specifiche in diversi settori, dall'agronomia, alla pedologia, la fisica dei terreni, all'idraulica e non ultimo all'ingegneria geotecnica.



Esempio di inerbimento per la protezione dall'erosione. Si noti l'elevata massa fogliare interessata dalle precipitazioni. (Dovello 199)

#### DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO Prati Armati\_UnivPg

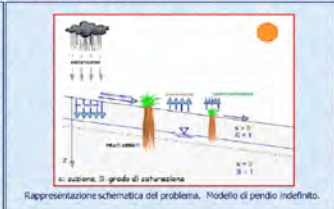
Il modello di calcolo è strutturato in VISUAL BASIC e costituisce lo sviluppo del software originariamente formulato da PRATI ARMATI (Bonfanti e Bischetti, 2001). Il codice, è così articolato:

**Input dati terreno.** Si richiede all'utente di inserire i parametri geometrici (inclinazione del pendio, profondità della superficie libera), fisico (es.: peso dell'unità di volume), idraulico (es.: contenuto d'acqua a saturazione, proprietà di ritenzione idrica, conducibilità idraulica) e meccanico (coesione, angolo di attrito del terreno) che definiscono completamente il modello di pendio indefinito.

**Input dati specie vegetazione.** Occorre definire i valori caratteristici della specie selezionata, in termini di diametro delle radici,  $D_{max}$ ,  $D_{min}$ ,  $D_{med}$  ed i corrispondenti valori della resistenza a trazione unitaria,  $T_u(D)$ . Successivamente, occorre selezionare la funzione di distribuzione statistica dei diametri da adottare,  $F_u(D)$ , (es.: normale, triangolare, lognormale). L'inserimento di questa serie di dati è finalizzato alla stima di un valore rappresentativo dell'incremento di resistenza al taglio offerto dalle radici,  $\Delta S_r$ , secondo l'approccio proposto (eq. 1) da Bischetti et al. (2001) oppure avvalendosi dell'eq. proposta da Waldron (1977).

$$\Delta S_r = 1.15 \frac{\Delta T_u}{A} \int_0^z T_u(D) F_u(D) dD \quad \text{Eq. 1}$$
$$\Delta S_r = 1.15 T_u \frac{\Delta R}{A} \quad \text{Eq. 2}$$

**Input Area Radicata.** Considerata la natura prevalentemente fittonante delle specie in esame, in genere il rapporto di radicazione,  $A_R/A$ , si mantiene praticamente costante con la profondità. Tuttavia, nel modello è consentito scegliere una fra tre diverse funzioni  $A_R/A(z)$  (costante, lineare, legge di potenza), che in tutti i casi è caratterizzata da un andamento decrescente con la profondità.



Rappresentazione schematica del problema. Modello di pendio indefinito.

Occorre poi definire una seconda serie di dati per la singola specie, con lo scopo di valutare i parametri, prevalentemente di natura empirica, che definiscono le leggi dell'evapotraspirazione (Allen et al., 1998; Feddes, 1987), la capacità di intercettazione della precipitazione da parte della copertura epigea, in funzione delle diverse fasi di crescita, l'effetto indotto sui fenomeni di run-off. Dalle equazioni risolventi che controllano tali fenomeni e dalla soluzione numerica dell'equazione di Richards, è possibile stimare il profilo di contenuto d'acqua volumetrico nel terreno in condizione di parziale saturazione per ogni istante temporale all'interno del volume di terreno radicato. Il codice di calcolo consente a questo punto di calcolare la resistenza a taglio del terreno  $\sigma(s)$ , tenendo conto delle effettive condizioni di saturazione; il criterio di resistenza adottato (Eq. 3) è quello proposto da Vanapalli et al. (1996):

$$\tau_f = c' + (\sigma_n - u_a) \tan \phi' + s \tan \phi'_s \quad \text{Eq. 3}$$

**Valutazione del coefficiente di sicurezza per lo schema di pendio indefinito.** Secondo un approccio convenzionale, il coefficiente di sicurezza FS può essere calcolato tramite l'equazione 4, dove  $\theta$  rappresenta l'angolo di inclinazione del pendio rispetto all'orizzontale e  $D_s$  la profondità della superficie di scorrimento dal piano campagna. Il modello di calcolo permette di valutare l'incremento di resistenza al taglio offerto dalle radici  $\Delta S_r$ , anche nei riguardi dello stato limite di sfilamento della radice dal terreno, che talvolta può risultare più critico di quello a trazione.

Per il problema in esame, le condizioni al contorno in termini di flusso dipendono dall'equazione di bilancio delle masse, tenendo conto dei fenomeni di evaporazione al suolo, traspirazione delle radici, infiltrazione di acqua nel terreno, ruscellamento lungo il pendio.

Nel terreno non saturo, le equazioni che governano il flusso della fase liquida e della fase periforme (equazione di continuità e legge di Darcy), dato alcune ipotesi, conducono alla ben nota equazione di Richards (1931). La soluzione di questa equazione fornisce l'andamento del contenuto d'acqua,  $\theta(z, t)$ , in funzione della profondità ( $z$ ) e del tempo ( $t$ ).

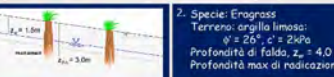
Note le proprietà di ritenzione idrica del terreno, curva caratteristica  $\theta(s)$ , è quindi possibile ricavare il profilo di saturazione  $s(z)$ . Da quest'ultima, infine, adottando un criterio di rottura che tenga conto della parziale saturazione, è possibile valutare la resistenza a taglio del terreno (es.: Fredlund et al., 1996; Vanapalli et al., 1996) e le condizioni di equilibrio del pendio (coefficiente di sicurezza).

Il coefficiente di sicurezza FS è dato da:

$$FS = \frac{\tau_f(z) + \Delta S_r(z)}{\gamma \cdot D_s \cos \theta \sin \theta} \quad \text{Eq. 4}$$

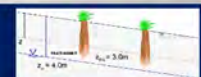
#### APPLICAZIONE DEL CODICE DI CALCOLO A CASI STUDIO

1. Specie: Eragrostis  
Terreno: sabbia limosa debolmente cementata:  
 $\phi = 30^\circ$ ,  $c' = 50$  kPa  
Profondità di falda,  $z_w = 1.5$  m  
Profondità max di radicazione,  $z_{ra} = 3.0$  m

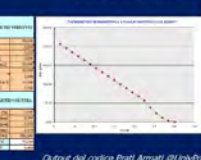
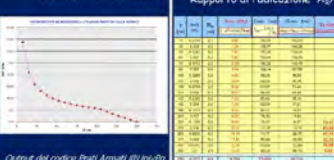


Schema di calcolo per il caso 1

2. Specie: Eragrostis  
Terreno: argilla limosa:  
 $\phi = 20^\circ$ ,  $c' = 25$  kPa  
Profondità di falda,  $z_w = 4.0$  m  
Profondità max di radicazione,  $z_{ra} = 3.0$  m



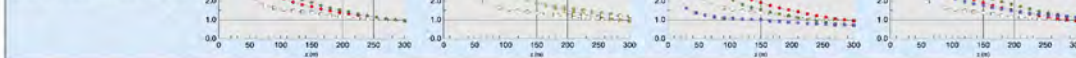
Schema di calcolo per il caso 2



#### Risultati del codice PratiArmati@UnivPg

Coeff. di sicurezza FS vs prof. z

- a) confronto 2 specie vegetazione
- b) effetto posizione falda
- c) confronto terreni diversi
- d) effetto della coesione del terreno

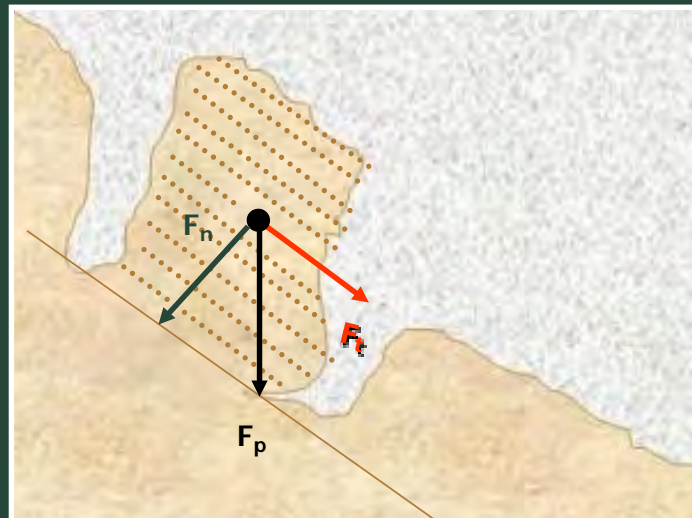


## Funzioni esplicate dai PRATI ARMATI®

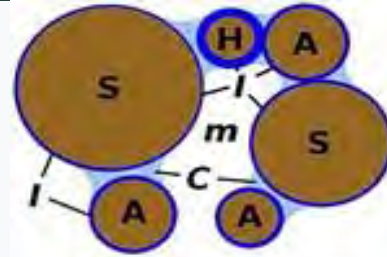
Si evita il crepacciamento superficiale con conseguente diminuzione dell'infiltrazione



In assenza di copertura vegetale si possono sviluppare fessurazioni e crepe. Su versanti in pendenza, le forze destabilizzanti e i momenti agenti rendono le deformazioni via via più consistenti e irreversibili.



## Funzioni esplicate dai PRATI ARMATI® Buffer idrico



Meccanismo della ritenzione idrica nel terreno

**Legenda:** S: particella non colloidale- A: colloidale minerale - H: colloidale organico - I: acqua d'imbibizione - C: acqua capillare - m: macroporo

Come colloidale idrofilo l'humus ha la proprietà intrinseca di legare le molecole d'acqua sulla sua superficie, **assorbendo un quantitativo pari a 20 volte il proprio peso**. Di conseguenza l'humus ha una notevole capacità di ritenzione idrica, superiore a quella dei colloidali minerali del terreno. Va tuttavia precisato che la [tensione matriciale](#) dell'acqua nell'humus ha valori più bassi, perciò per sottrarre l'acqua all'humus è necessario un maggior dispendio energetico da parte delle piante.

### Modello suolo = esperimento con la spugna (4)



- spiegazione:
- l'acqua che gocciola riesce a fuoriuscire per azione della gravità
- l'acqua che rimane viene trattenuta per azione delle forze di adesione (capillarità)
- ma questa si riesce ad estrarre applicando una pressione

## Funzioni esplicate dai PRATI ARMATI® Impermeabilizzazione dei versanti

La fitta coltre vegetale dei PRATI ARMATI® - saldamente ancorata al versante dalle radici profonde e resistenti - protegge i versanti dagli agenti atmosferici: pioggia, neve, vento ed anche da gelo-disgelo e sbalzi termici.

In caso di precipitazioni, soprattutto se intense, l'acqua ruscella al di sopra della coltre epigea dei PRATI ARMATI® senza provocare erosione.

Diminuisce così anche l'infiltrazione nel sottosuolo.



Assorbimento di parte dell'energia cinetica dell'acqua battente e ruscellamento al di sopra della coltre vegetale



Orvieto (TR) - Versante sigillato dalla coltre vegetale dei PRATI ARMATI®

### EUROCODICE 7 - Vegetazione ed erosione (cap.11: Stabilità globale)

#### ✓ AZIONI E SITUAZIONI DI PROGETTO (11.3.(2)P)

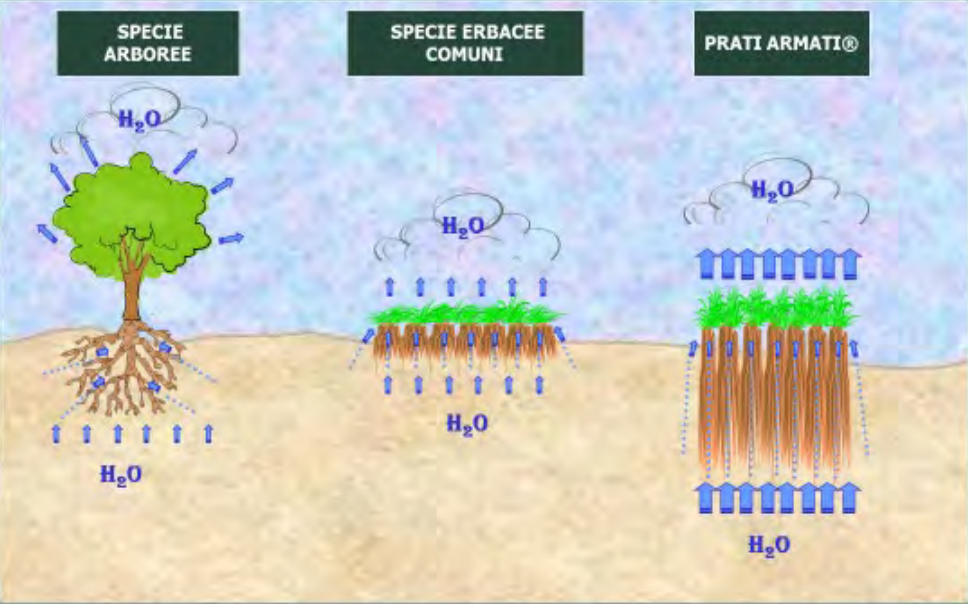
Occorre considerare l'effetto delle seguenti circostanze, ove appropriato:

- variazioni climatiche, incluse variazioni di temperatura .....
- .....
- **vegetazione** o la sua rimozione

#### ✓ CONSIDERAZIONI PROGETTUALI E COSTRUTTIVE (11.4)

- L'instabilità può verificarsi su pendii ... la cui inclinazione, che può essere determinata dalla **erosione**, è prossima all'angolo di resistenza a taglio.
- Le superfici di pendii esposte a potenziale **erosione** devono essere **protette**, se necessario, per assicurare che è mantenuto il livello di sicurezza.
- **I pendii dovrebbero essere "sigillati", piantumati** o protetti artificialmente. Per scarpate con berme, deve essere considerato un sistema di drenaggio entro la berma.
- **Pendii potenzialmente instabili possono essere stabilizzati per mezzo di gabbioni, ancoraggi, drenaggi, ....., vegetazione**, o una combinazione di questi.

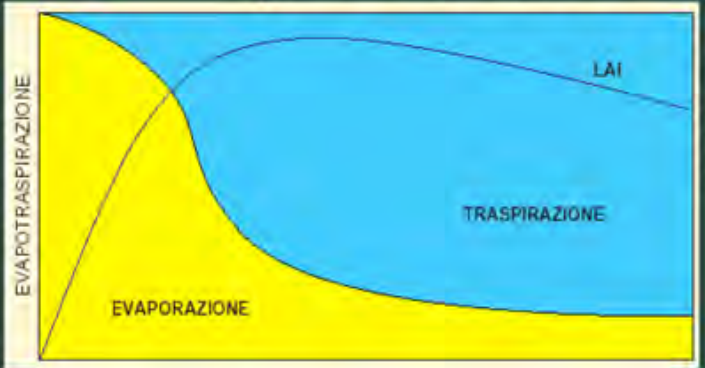
La vegetazione assorbe l'acqua dal suolo trasferendola all'atmosfera, determinando una riduzione della saturazione dei terreni e della pressione interstiziale: migliorano così alcuni parametri geomeccanici dei terreni quali la coesione.



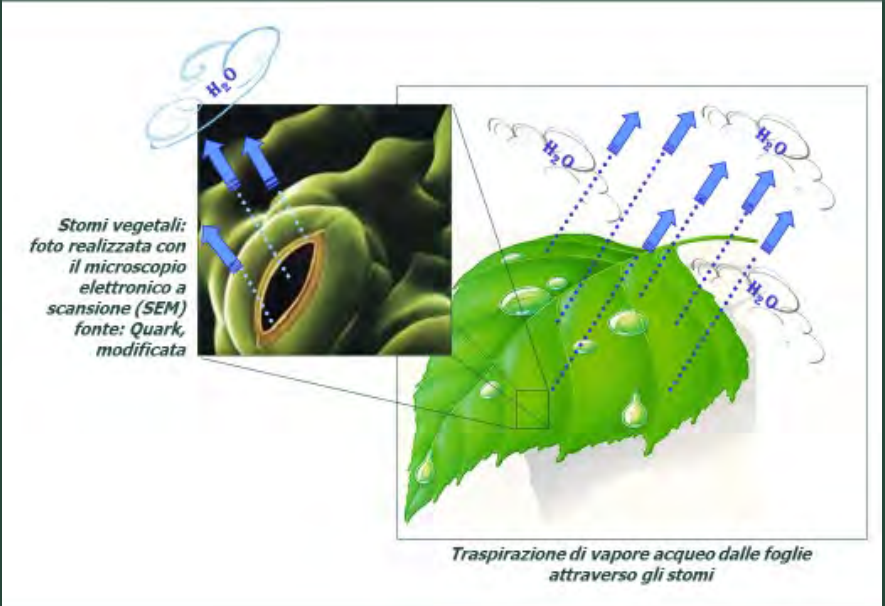
### Funzioni esplicate dai PRATI ARMATI®

Evapotraspirazione e diminuzione della pressione interstiziale

L'evapotraspirazione di un prato tradizionale di graminacee alto 12 cm in pianura padana durante l'anno misurata in litri/m2/giorno (Fonte: Ermes Agricoltura)



Rapporto tra evaporazione e traspirazione in relazione all'indice di area fogliare LAI (LAI = m<sup>2</sup> foglia/m<sup>2</sup> di terreno) della coltura (fonte: Ermes Agricoltura)





Ingrandimento di peli radicali di una radice di PRATI ARMATI®, in grado di estrarre dagli interstizi del terreno l'acqua convogliandola verso l'atmosfera.

Si realizza così una sorta di coesione drenata dei litotipi coesivi, impossibile da realizzare con altri metodi.

Il sistema è de-entropico in quanto sfrutta l'energia solare per migliorare i principali parametri geomeccanici del terreno.

analisi energetica e di inquinamento per varie soluzioni antierosive  
(superficie di riferimento: 1 ha = 10.000 mq)

7. Interpretazioni dei risultati e conclusioni

Nella prima parte vengono descritti i risultati del caso studio di un **pendio autostradale**, mentre nella seconda quelli del caso studio **discarica a pendio**.

A loro volta per ognuno dei due casi studio sono stati analizzati:

- i fabbisogni energetici;
- l'emissione di CO<sub>2</sub>;
- gli inquinanti gassosi;

7.2 Risultati del caso studio: PENDIO AUTOSTRADALE

Sono state confrontate le richieste energetiche (esprese in GJ) e l'inquinamento emesso (CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> e pm), per sistemare 1 ha di pendio, analizzando quattro soluzioni:

- soluzione con georete;
- soluzione con geocelle;
- soluzione con biostuoia;
- soluzione con piante a radicazione profonda (R.P.)

1.000 GJ corrispondono all'energia contenuta in 25 l di petrolio.

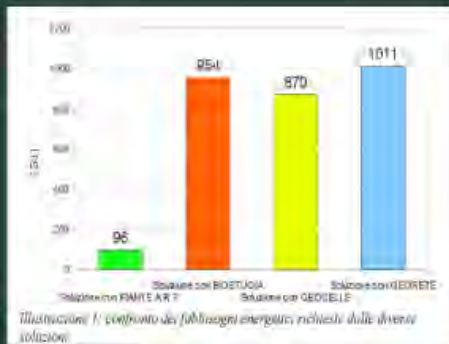


Illustrazione 1: confronto dei fabbisogni energetici richiesti dalle diverse soluzioni

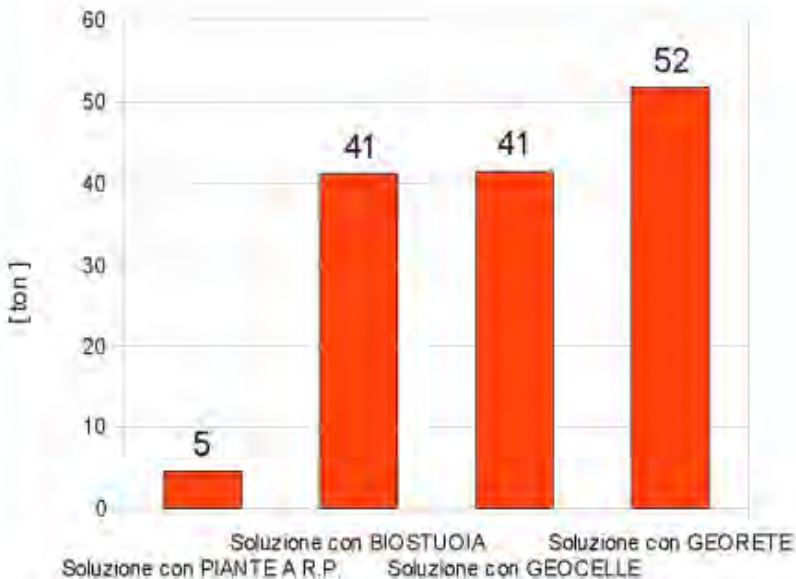


Illustrazione 6: confronto emissioni di CO<sub>2</sub> per le quattro soluzioni

## ASPETTI ENERGETICI E DI INQUINAMENTO

L'energia spesa e l'inquinamento prodotto per realizzare il cantiere di Ortona è da 10 a 100 volte inferiore a quella di metodi tradizionali, i cui risultati antierosivi non sono peraltro paragonabili.

Il cantiere assorbirà a regime molta più CO<sub>2</sub> di quanto potrebbero fare le piante tradizionali

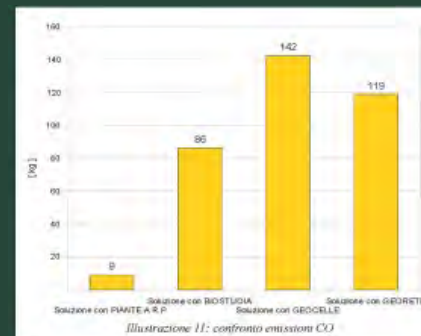


Illustrazione 11: confronto emissioni CO

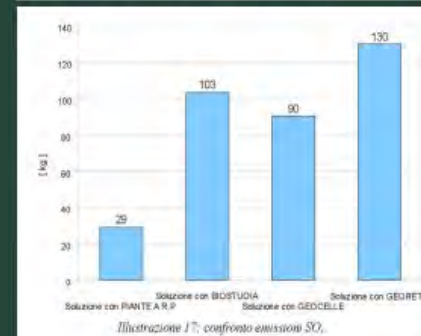


Illustrazione 17: confronto emissioni SO<sub>2</sub>

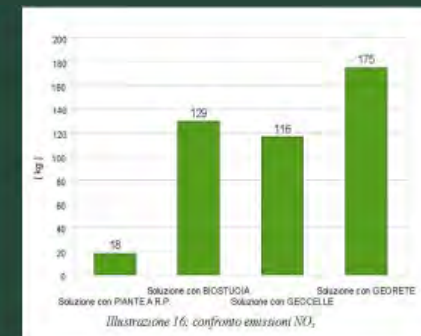


Illustrazione 16: confronto emissioni NO<sub>x</sub>

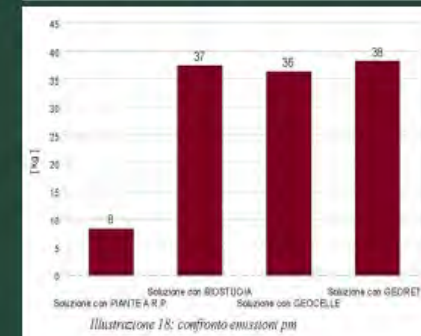


Illustrazione 18: confronto emissioni pm

### I PRATI ARMATI® E IL PROTOCOLLO DI KYOTO

I PRATI ARMATI® possono immagazzinare **fino a 5** volte l'anidride carbonica (CO<sub>2</sub>) assorbita dalle più comuni piante erbacee impiegate negli inerbimenti tradizionali, contribuendo così ai crediti stabiliti dal Protocollo di Kyoto.

TIPOLOGIE VEGETALI	TONNELLATE DI CO <sub>2</sub> ASSORBITA PER ETTARO OGNI ANNO (t/ha/anno)
Foresta decidua temperata (piante C3)	20
Prateria temperata (piante C3)	8
Coltura <b>annuale</b> di mais (pianta C4):	41,5
<b>Impianto antierosivo perenne di PRATI ARMATI®</b> (pianta C4)	<b>Fino a 40</b>

## Funzioni esplicate dai PRATI ARMATI®

Aspetti ambientali, naturalistici e sviluppo di produzioni tipiche locali  
**API e FARFALLE convivono con le Infrastrutture Stradali e Ferroviarie**  
Specie fiorifere per favorire l'insediamento di specie animali quali api e farfalle.

Ciò consente una maggiore accettazione delle infrastrutture da parte delle associazioni ambientaliste e della cittadinanza tanto sensibili a questi aspetti.

World Bee Day: sulle dolci strade dei **mieli d'Abruzzo**: <https://www.abruzzoturismo.it/it/world-bee-day-sulle-dolci-strade-dei-mieli-dabruzzo>

Il miele è l'interprete ideale di mete turistiche dove la storia, i miti, le tradizioni, l'arte e la cultura, i profumi e i sapori compongono un itinerario tutto da scoprire. (Le città del miele)

Il 20 maggio si celebra la Giornata mondiale delle Api, il World Bee Day: La data fu scelta in memoria dello sloveno Anton Jansa, pioniere delle moderne tecniche di apicoltura.

**Il ruolo delle api è di importanza vitale per la nostra sopravvivenza e la loro salvaguardia è divenuta ormai un obiettivo imprescindibile per la vita nel pianeta.** L'opera infaticabile di impollinazione permette la crescita e il consumo di molte specie di ortaggi, frutta e verdure. Cambiamenti climatici, riduzione di disponibilità di colture in fiore, importazioni di api dall'estero, fitofarmaci hanno messo a rischio la specie.

**In Abruzzo l'apicoltura** è attività praticata sin da tempi remoti, tanto che ne dà notizia un geografo arabo vissuto nell'alto Medioevo, che descrive gli abitanti della nostra regione dediti alla caccia e alla raccolta del miele. L'apicoltura razionale, invece, quella basata sull'utilizzo di arnie costruite per essere ispezionate, sembra essersi sviluppata in Abruzzo dalla fine dell'800. La sua rilevanza, anche economica, è testimoniata dall'attività delle associazioni provinciali degli apicoltori già prima della seconda guerra mondiale, e poi dalla costituzione, nel 1960, della Cooperativa Apistica Abruzzese di Lanciano.

L'associazione, nata per tutelare e favorire i comuni a vocazione apistica, opera dal 2001 ed ogni anno organizza il **premio nazionale "Il miele del Sindaco"** assegnato al territorio che più simbioticamente esprime il connubio tra identità locale e prodotto artigianale.

**Millefiori, sulla, lupinella, girasole, santoreggia, acacia sono solo alcune delle varietà del Miele d'Abruzzo che interessano l'intero territorio regionale.**



# Prove di trazione

Particolari del cantiere





OLTRE AGLI OBIETTIVI DEL PROGETTO di: blocco dell'erosione, rinaturalizzazione, canalette pulite e canalette inerbite



ALLA COLLETTIVITA' ED ALLA STAZIONE APPALTANTE ne sono derivati i seguenti VANTAGGI:

- Incremento della resistenza al taglio e del fattore di sicurezza
- Diminuzione del crepacciamento superficiale con conseguente diminuzione dell'infiltrazione
- Isolamento del versante dalle piogge
- Buffer idrico
- Consumi energetici di impianto (inquinamento) ridotto da 10 a 100 volte rispetto a tecniche tradizionali
- Sottrazione di ingenti quantità di CO<sub>2</sub>
- Reinsediamento ambientale e paesaggistico
- Inserimento di specie azotofissatrici per evitare concimazioni azotate causa di eutrofizzazione e inquinamento
- Inserimento di specie fiorifere per migliorare l'aspetto estetico, il reinsediamento paesaggistico e incrementare la presenza di api e farfalle





**PRATI  
ARMATI®**  
contro la desertificazione  
e l'erosione dei suoli