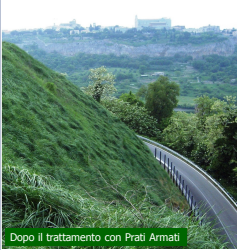
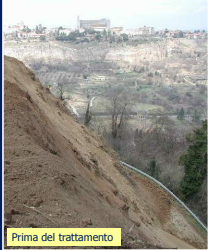




Stabilizzazione superficiale di versanti con la tecnologia Prati Armati® : implementazione di un modello di calcolo per la valutazione del coefficiente di sicurezza.

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 parimenti 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.

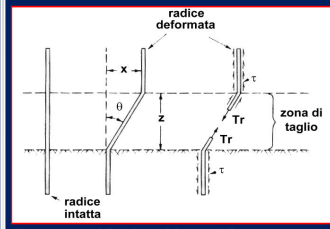


Prima del trattamento

Dopo il trattamento con Prati Armati

Orvieto (TR)

L'inerbimento di pendii e versanti con la tecnica dei PRATI ARMATI può indurre numerosi effetti sulle condizioni idrauliche e meccaniche dei terreni inerti, 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. L'incremento di resistenza a taglio del terreno per effetto delle radici è infatti da tempo riconosciuto e studiato (Vidal, 1969; Schlosser e Long, 1974), e tale effetto è attualmente schematizzato ed implementato in un apposito codice di calcolo di proprietà PRATI ARMATI



Legenda
z: spessore zona di taglio
x: spost. orizz. radice
theta: distorsione angolare
Tr: resistenza a trazione delle radici
tau: sforzo di taglio radice/terreno

Effetto meccanico delle radici. Mobilitazione della resistenza a trazione delle radici nella configurazione deformata (modificato da Gray e Leiser, 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. L'inerbimento con radici ad elevato indice di area fogliare (LAI) offre una protezione efficace dai fenomeni di erosione del suolo associati alle precipitazioni meteoriche (es.: splash erosion, rill erosion).



Esempio di inerimento per la protezione dall'erosione.

Si noti l'elevata massa fogliare interessata dalle precipitazioni.

Orvieto (TR)

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:

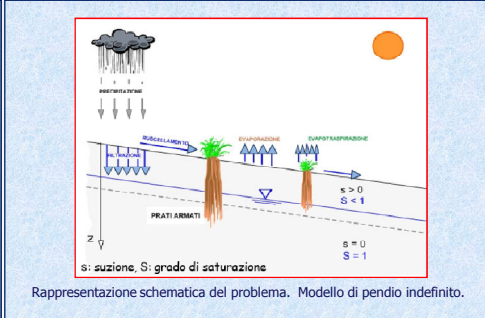
Input dati terreno. Si richiede all'utente di inserire i parametri geometrici (inclinazione del pendio, profondità della superficie libera), fisici (es.: peso dell'unità di volume), idraulici (es.: contenuto d'acqua a saturazione, proprietà di ritenzione idrica, conducibilità idraulica) e meccanici (coesione, 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 (D_min, D_max, D_medio) ed i corrispondenti valori della resistenza a trazione unitaria, T_r(D). Successivamente, occorre selezionare la funzione di distribuzione statistica dei diametri da adottare, F_r(D), (es.: normale, triangolare, lognormale). L'inserimento di questa serie di dati è finalizzato alla stima di un valore rappresentativo dell'incremento di resistenza a 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).

Eq. 1
Delta S_r = 1.15 * (A_r / A) * (D_r / D_1) * integral from 0 to D_r of T_r(D) * F_r(D) dD

Eq. 2
Delta S_r = 1.15 * T_r * (A_r / A)

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 porzione 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 tau_r(z), tenendo conto delle effettive condizioni di saturazione; il criterio di resistenza adottato (Eq. 3) è quello proposto da Vanapalli et al. (1996):

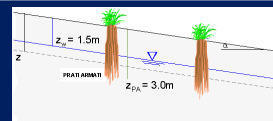
Eq. 3
tau_r = c' + (sigma_n - u_a) tan phi' + s * [tan phi' * (theta - theta_r) / (theta_s - theta_r)]

Eq. 4
FS = (tau_r(z) + Delta S_r(z)) / (gamma * D_s cos alpha sin alpha)

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, ove alpha 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 a 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.

APPLICAZIONE DEL CODICE DI CALCOLO A CASI STUDIO

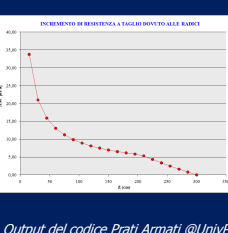
1. Specie: Eragrass
Terreno: sabbia limosa debolmente cementata:
phi' = 30°, c' = 5kPa
Profondità di falda, z_w = 1.5 m
Profondità max di radicazione, z_rA = 3.0 m



Schema di calcolo per il caso 1

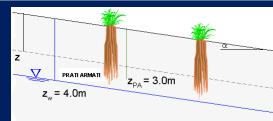
Valutazione Delta S_r con eq. 1 (Bonfanti e Bischetti, 2001)
Rapporto di radicazione A_r/A definito da legge di potenza

Table with columns: z (m), A_r/A (%), D_r (mm), T_r (kPa), F_r (kPa), Delta S_r (kPa), FS, and parameters for soil and vegetation.



Output del codice Prati Armati @UnivPg

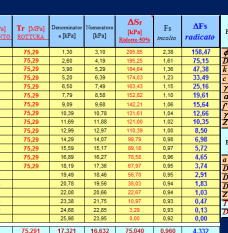
2. Specie: Eragrass
Terreno: argilla limosa:
phi' = 26°, c' = 2kPa
Profondità di falda, z_w = 4.0 m
Profondità max di radicazione, z_rA = 3.0 m



Schema di calcolo per il caso 2

Valutazione Delta S_r con eq. 1 (Bonfanti e Bischetti, 2001)
Rapporto di radicazione A_r/A definito da legge lineare

Table with columns: z (m), A_r/A (%), D_r (mm), T_r (kPa), F_r (kPa), Delta S_r (kPa), FS, and parameters for soil and vegetation.



Output del codice Prati Armati @UnivPg

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

