

## Rinforzo meccanico dei terreni con il **VETIVER** e calcolo del fattore di sicurezza

### Scopo dell'intervento

La tecnologia del **VETIVER** nel campo del consolidamento e protezione dei versanti si propone essenzialmente tre obiettivi:

- ✓ un effetto consolidante immediato per effetto di una elevata velocità di accrescimento dell'apparato radicale delle piante;
- ✓ un effetto consolidante a lungo termine per effetto di radici estremamente resistenti che raggiungono livelli profondi (anche 5 metri di profondità) nel corso del tempo;
- ✓ un effetto antiersivo per l'elevato potenziale di attecchimento e quindi con formazione di una fitta coltre vegetale.

### Descrizione dell'intervento

A differenza dei sistemi di consolidamento tradizionali, questa tecnologia altamente innovativa si presenta come una vera e propria barriera vegetale viva ed autoadattante, non fondata sui materiali inerti convenzionali, ma basata sulle eccezionali caratteristiche di piante erbacee perenni.

Queste piante, messe a dimora nel terreno, penetrano rapidamente in profondità per svariati metri, ancorandosi con fermezza al substrato, mentre la parte aerea della pianta, crescendo, va a formare una fitta siepe alta qualche decina di centimetri, che non blocca il deflusso dell'acqua, ma si comporta come un filtro vegetale, rallentandone il corso e trattenendo il fango ed i detriti trasportati.

### Descrizione delle specie disponibili

**VETIVER** è stato selezionato dopo lunghi studi e ricerche analizzando moltissime specie erbacee, potenzialmente interessanti per consolidare i terreni, in ragione di un apparato radicale che si sviluppa a grande profondità.

Il **VETIVER** oltre a sviluppare un profondo apparato radicale, sono caratterizzate da una notevole resistenza a condizioni pedoclimatiche estreme: resistono fra  $-10^{\circ}\text{C}$  e  $+60^{\circ}\text{C}$ , sviluppano una vegetazione non ingombrante (mediamente intorno ai 50-100 cm di altezza) e possiedono un portamento cespitoso che fa sì che tali piante non si diffondano rispetto al sito in cui vengono messe a dimora (come viceversa potrebbe accadere con altri tipi di graminacee, quali le rizomatose). In questo modo vengono evitati eventuali problemi di infestazione dell'area, senza inibire lo sviluppo della vegetazione autoctona.

## **Messa a dimora delle piante nel terreno**

La tecnica di messa a dimora delle piante avviene sostanzialmente attraverso il trapianto da vaso per il **VETIVER**.

### **L'azione antierosiva delle piante**

La rusticità delle piante utilizzate, con un attecchimento che generalmente si supera il 90%, unitamente alla velocità di accrescimento dell'apparato radicale permette un immediato effetto antierosivo.

Lo sviluppo ipogeo della pianta, che può raggiungere i 5 metri di profondità, conferisce alla pianta la capacità di reperire, in qualsiasi condizione climatica, il giusto apporto idrico per la sopravvivenza della stessa.

Anche l'attività biologica del terreno viene intensificata, a seguito dell'arricchimento in sostanza organica.

Dal punto di vista prettamente idrologico, l'evapotraspirazione riduce il contenuto dell'acqua nel terreno, ritardando la saturazione, diminuendo la pressione nei pori, impedendo la perdita dell'effetto di coesione apparente e quindi limitando il deflusso superficiale.

In questo modo si andranno a creare condizioni favorevoli affinché nel terreno si generi l'humus necessario, perso a causa dell'azione dilavante delle acque superficiali, e quindi si ricrei uno spessore di suolo adatto a generare forme di vita autoctone.

Nel corso di un apposito studio sull'erosione, l'esame dell'entità del ruscellamento a seguito di un singolo evento piovoso piuttosto significativo, ha fatto rilevare valori significativamente diversi in parcelle totalmente inerbite rispetto a parcelle parzialmente inerbite: nel secondo caso si sono verificate perdite di suolo di 172 t/ha (pari a circa 160 m<sup>3</sup>) contro appena 0,02 t/ha delle parcelle inerbite. L'inerbimento si rivela quindi una tecnica efficace sia nel controllo dell'erosione, sia nella riduzione delle perdite di elementi nutritivi da parte del terreno, con probabile effetto positivo anche sull'inquinamento delle falde (Fontana M. e Venturi A. (1999) – Le tecniche di conduzione. Agricoltura, 27(3): 36-43).

### **L'azione dell'apparato radicale nel terreno**

Dal punto di vista meccanico, le piante esercitano con efficacia la loro funzione di ancoraggio e consolidamento. Le radici vanno ad armare il terreno, rinforzandolo e quindi aumentandone la resistenza al taglio.

Inoltre, le radici ancorandosi in un substrato più resistente, risultano un valido supporto nella prevenzione dello scivolamento gravitativo del terreno. Pertanto, l'effetto stabilizzante del terreno garantito dalle piante, inizia a partire dal momento della realizzazione della sistemazione, con la crescita delle radici e della parte epigea delle piante e va a rafforzarsi nel tempo.

A differenza degli alberi, le specie erbacee selezionate non sovraccaricano il terreno con il loro peso e non innescano fenomeni di instabilità dovuti al momento flettente (effetto “vela”).

## **Effetto consolidante**

La capacità di rinforzo del **VETIVER** consiste nell'imbrigliare il terreno e trasferire allo stesso la resistenza a trazione delle radici.

L'elevatissimo numero di radici presenti, che hanno un diametro molto sottile (da 0.1 a 2 mm) ed omogeneo lungo tutto il loro sviluppo, unita alla grande resistenza meccanica consentono di realizzare un'eccezionale armatura profonda del terreno.

Con questa premessa e sapendo che il valore di area radicata è funzione della profondità dal piano campagna, (in allegato viene riportato un grafico in cui sono evidenziati i valori di resistenza al taglio che generalmente queste piante forniscono su un'ipotetica superficie di scivolamento), si potrà calcolare l'incremento di resistenza al taglio che le piante possono conferire al terreno nel corso del tempo.

## **Il rinforzo meccanico dei terreni ad opera del **VETIVER****

Dalla seconda metà degli anni settanta (Waldron, 1977 – Wu, 1979), si è cominciato a considerare l'impianto di specie vegetali quali opere di rinforzo del terreno, specie nelle situazioni in cui questo è soggetto a problemi di instabilità.

Oggi le tecniche si sono affinate e quindi si è in grado di proporre i primi risultati, sia teorici che sperimentali, che confermano come talune specie, dall'elevata valenza biotecnica, possono, secondo una trattazione geotecnica, essere utilizzate come elemento consolidante in pendii in terra soggetti a frane superficiali da scivolamento lungo superfici piane o a piccola curvatura.

**VETIVER** ha dimostrato risultati sorprendenti dovuti alla particolare conformazione dell'apparato radicale ed alle sue capacità resistenti.

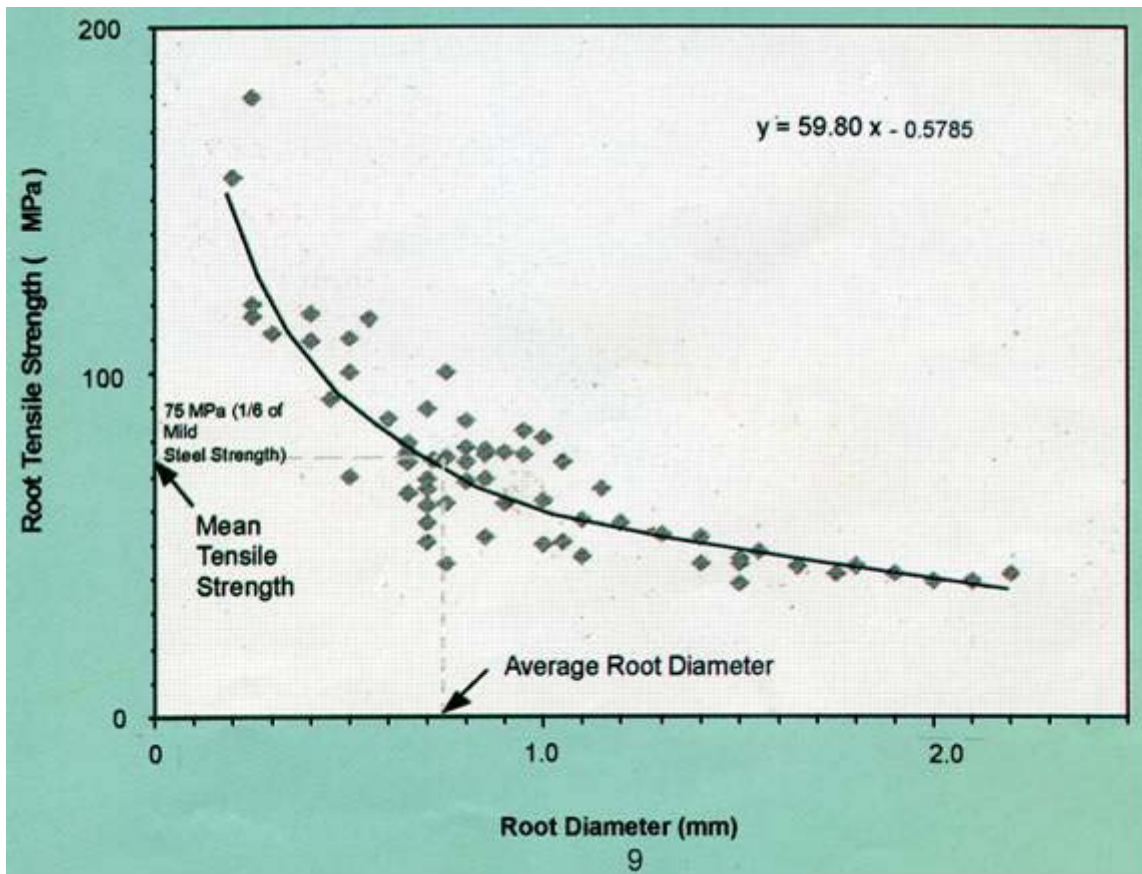


Fig. 1 – Curve resistenza a trazione – diametro per il **VETIVER**. Notare il particolare trend di caduta esponenziale dello sforzo con il diametro, dovuto alla particolare conformazione fibrosa delle radici delle piante.

Da una serie di prove di trazione su campioni di radici condotte dal *Vetiver Network* negli USA e presso L'Università di Milano è stato possibile constatare l'elevato valore di resistenza, e la relazione che lega quest'ultima proprietà al diametro della radice (fig.1).

Altre caratteristiche fondamentali sono la grande intensità di radicazione e la profondità che l'apparato radicale riesce a raggiungere, il basso sovraccarico che apportano al pendio trattandosi di piante erbacee ed infine l'elevata adattabilità climatica (fra  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) ed alla reazione del terreno (con pH compreso fra 4 e 12).

## Applicazione e risultati

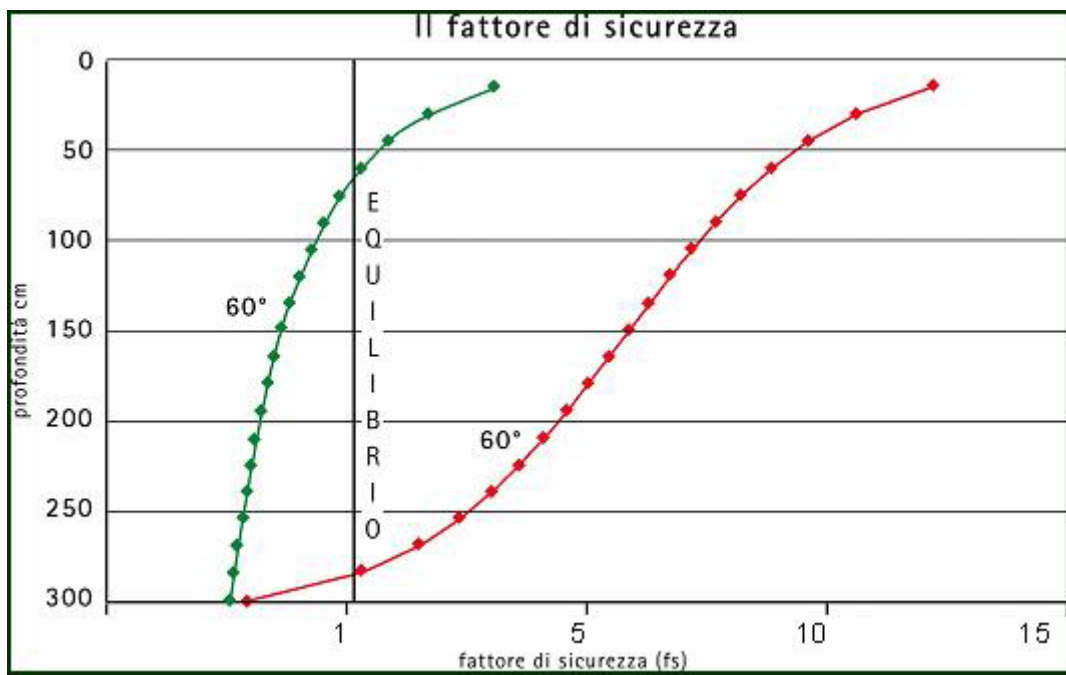
L'osservazione e la quantificazione di tutti gli aspetti fisico meccanici caratterizzanti il **VETIVER** ha permesso di sviluppare un applicativo (Sh.Re.So) che, tenendo conto nel codice sorgente di tutte queste informazioni, riesce a restituire in output il valore dell'incremento del fattore di sicurezza del pendio

illimitato (fig. 2) a partire dai dati relativi al terreno ed al pendio oggetto della sistemazione.

La distribuzione lineare con la profondità deriva dalla formula iniziale di Waldron, 1977, poi modificata da Bonfanti e Bischetti, 2001:

$$\Delta E_r = 1.15 \left( \int_{\phi_1}^{\phi_2} (T_r(\phi) \cdot F_d(\phi)) d(\phi) \right) \frac{A_R}{A}$$

nella quale  $T_r$  usato è l'integrazione della funzione resistenza a trazione/diametro e della funzione distribuzione dei diametri nell'intervallo dei diametri della variante considerata. In via cautelativa sono state scelte una distribuzione triangolare dei diametri e una distribuzione lineare per il valore di  $A_r$  con la profondità.



Si è così in possesso di uno strumento valido in fase progettuale a definire, previa campagna di raccolta dati sul terreno, la fattibilità degli interventi e non meno importante la loro efficacia.

Fig. 2 – Nel grafico è riportato un esempio di progetto di sistemazione di un pendio in limo sabbioso, con valore di coesione di 10 kpa, angolo di resistenza al taglio di 25° e saturo fino in superficie. Sono messe a confronto le curve del  $F_s$  con la profondità per due diversi casi (1: terreno non radicato; 2: terreno radicato con VETIVER e con valore iniziale di  $ar = 1\%$  e per pendenze di 60°).

Si è scelto il metodo dell'equilibrio limite del pendio illimitato perché bene si adatta al tipo di scivolamento oggetto delle sistemazioni mediante **VETIVER**; oltretutto esiste la possibilità di avere in output dal programma i valori di incremento dello sforzo di taglio con la profondità esclusivi delle radici (fig. 2) così da poter essere utilizzati in altri modelli di stabilità qualora ve ne fosse la necessità.

I grafici presentati nella figura 2 è stato ottenuto facendo scelte cautelative, mettendosi cioè a favore di sicurezza. In particolare si può notare come il contributo delle radici sposti la curva del Fs oltre il valore di equilibrio garantendo quindi la stabilità.

Fino a 50 cm di profondità gli alti valori di Fs dei terreni radicati sono dovuti sia all'alto valore di area radicata, ma anche al basso valore di pressione geostatica, tanto che approfondendosi le due variabili assumono tendenza opposta che in superficie e quindi le curve di Fs per terreni radicati e non si raccordano al medesimo valore. Il raggiungimento dei 300 cm di profondità di radicazione non è immediato, il trend di figura 2 rappresenta l'optimum che viene raggiunto dopo circa un anno dall'avvenuto impianto. Nel periodo di mezzo, comunque passati i primi due mesi, si ha ugualmente una prima opera di rinforzo che cresce gradualmente.

## Conclusioni

Allo stato attuale delle cose si è in grado di proporre l'opera di rinforzo delle radici del **VETIVER**; con la convalida scientifica e sperimentale. Infatti, se da un lato l'incertezza che avvolge tutti i problemi di geotecnica richiede alti valori del coefficiente di sicurezza, dall'altro il sensibile aumento di Fs, che risulta dal processo di calcolo adottato per i terreni radicati, è tale da essere considerato comunque significativo. Non va dimenticato altresì come nei siti sperimentali che hanno accompagnato la ricerca, è stata constatata con successo l'efficacia di questa pianta erbacea nell'impedire scivolamenti superficiali di masse di terreno e nel contrastare il fenomeno dell'erosione.

## Bibliografia

Bonfanti F., Bischetti G., Resistenza a trazione delle radici e modello di interazione terreno – radici, Istituto di Idraulica Agraria, Milano – Rapporto interno (2001)

Waldron L. J., The shear resistance of root-permeated homogeneous and stratified soil, Soil Sci. Soc. Am. J. 41(3): 843-849 (1977)

Wu T. H., McKinnel W. P., Swanstone D. N., Strength of tree roots and landslides on Prince of Wales Island, Alaska, Canadian Geotechnical Journal, 16(1), 19-33, (1979)

Fontana M. e Venturi A. (1999) – Le tecniche di conduzione. Agricoltura, 27(3): 36-43.