

**UGO  
MAJONE**

**LA SISTEMAZIONE  
DEI VERSANTI  
E DEI CORSI D'ACQUA  
MONTANI**

.....  
Seconda edizione

## PRESENTAZIONE ALLA SECONDA EDIZIONE

A distanza di otto anni dalla sua pubblicazione, vede oggi la luce la seconda edizione di questo libro dedicato alla sistemazione dei bacini e dei corsi d'acqua di montagna.

Rispetto alla precedente edizione, la novità principale di questa sta nel titolo che, considerandone i contenuti, mi è parso più pertinente chiamare "La sistemazione dei versanti e dei corsi d'acqua montani". Dal punto di vista dei contenuti il libro contiene ampliamenti e approfondimenti riguardanti l'ingegneria naturalistica, le opere di difesa dalle valanghe e dalla caduta dei massi, le prove geofisiche, le tecniche di miglioramento della consistenza del terreno, le specifiche degli interventi di ingegneria naturalistica.

La revisione del libro mi ha consentito, poi, di eliminare le non poche lacune e imprecisioni sfuggite nella prima edizione, molte delle quali segnalatemi dai lettori.

Ho rivisitato, infine, i capitoli dedicati ai fondamenti disciplinari, eliminando alcune trattazioni teoriche, per rendere il testo di più agevole lettura.

In questo lavoro di revisione mi è stato di prezioso aiuto la collaborazione dell'ing. Marco Candela, a cui esprimo il mio più sentito ringraziamento.

**Ugo Majone**

### 1.2.3 Inerbimento con idrosemina

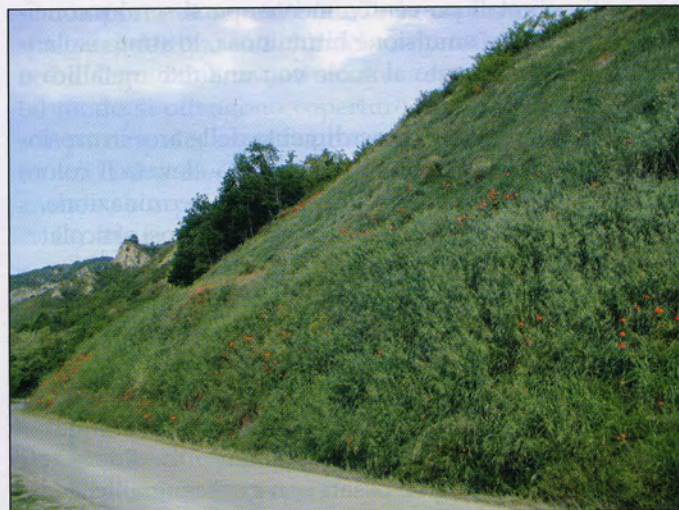
L'inerbimento potenziato (Figg. 1.6 e 1.7) rappresenta uno degli interventi più significativi di ingegneria naturalistica restaurativa nei territori di montagna, dove la degradazione e gli squilibri ambientali difficilmente si ricompongono spontaneamente in tempi brevi.

Con questo sistema si combatte la sterilità del terreno, ricreando un ambiente vegetale e pedologico biologicamente attivo, idoneo a completare in forma più capillare l'opera di rinsaldamento dei pendii.

L'uso della vegetazione per la restaurazione e il consolidamento delle scarpate richiede il preliminare controllo dei fenomeni erosivi sullo strato superficiale del suolo.



**Fig. 1.6 - Inerbimento con idrosemina: fase iniziale** (Foto: Prati Armati)



**Fig. 1.7- Inerbimento con idrosemina: risultati ottenuti dopo otto mesi** (Foto: Prati Armati)

Pertanto, il ripristino del manto vegetale deve essere preceduto dal fissaggio al suolo delle particelle di terreno mediante strutture ausiliarie di tipo ingegneristico-biologico.

Le moderne tecniche di "idrosemina spinta e potenziata" hanno reso possibile il conglobamento in una sola operazione del fissaggio delle particelle di terreno e della correzione della sterilità con risultati tecnicamente ed economicamente notevoli.

Il ripristino vegetazionale con idrosemina è particolarmente indicato nei terreni completamente denudati e privi di copertura organica. Specifici campi di applicazione sono:

- il controllo dell'erosione delle sponde degli alvei;
- il controllo dello scoscendimento dei versanti per scalzamento al piede;
- il controllo dell'erosione provocata dalle correnti idriche incanalate lungo i compluvi;
- le sistemazioni superficiali, la riprofilatura delle scarpate in scavo o in rilevato, le sistemazioni delle superfici interessate da movimenti di terra per la costruzione di manufatti.

Nei riguardi di tale applicazione, l'idrosemina:

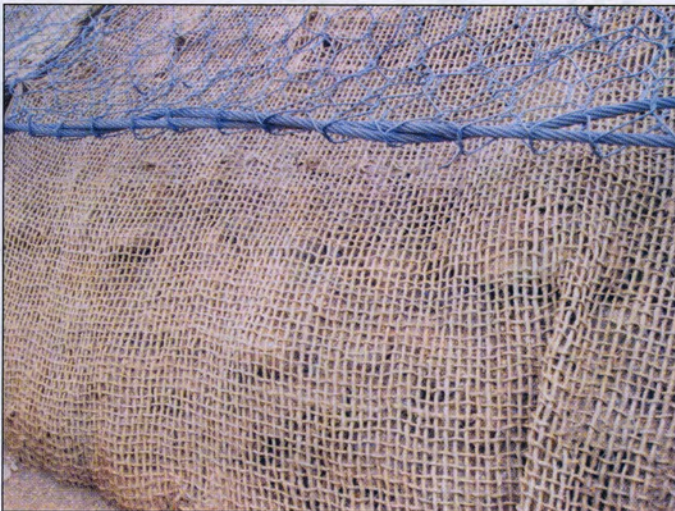
- determina il rapido consolidamento del suolo in superficie (erbe) e in profondità (arbusti e alberi);
- migliora le condizioni di aerazione e di drenaggio del suolo, favorendo il lento formarsi di una struttura grumosa;
- potenzia e accelera lo sviluppo della microflora e della microfauna, arricchendo il suolo di azoto e di humus;
- migliora il microclima, mitigando le condizioni estreme di gelo e di caldo.



**Fig. 1.12** - Georeti e geostuoie: schema di applicazione e installazione su una scarpata stradale (Foto: Rimoldi)



**Fig. 1.13** - Rinverdimento e consolidamento di scarpate mediante l'intervento combinato di idrosemina e geostuoie. Il rinverdimen-to è al 90° giorno dall'idrosemina (Foto: Prati Armati)



**Fig. 1.14** - Biorete (Foto: Candela)

Questa tecnica – sperimentata e brevettata dalla società Prati Armati S.r.l. – consiste nell'irrorare la superficie oggetto dell'intervento con una miscela di acqua, collanti naturali, concimi, mulch e un calibrato miscuglio di sementi tecniche Prati Armati® che, con il tempo, producono piante erbacee con un esteso apparato radicale. L'idrosemina può avvenire mediante l'utilizzo di elicotteri nel caso di zone molto estese o poco accessibili.

I Prati Armati® vengono utilizzati per bloccare rapidamente l'erosione superficiale e successivamente per consentire la crescita di piante locali arbustive ed arboree, più lente a radicare e a stabilirsi in situ; in tal modo è possibile creare una staffetta ecologica fra le specie da selezionare e la flora autoctona locale di tipo arbustivo ed arboreo (Figg. 1.34÷1.37).

Utilizzando i Prati Armati® in abbinamento con le reti paramassi, il rapido sviluppo delle specie erbacee presenti nella miscela permette di contrastare e bloccare i fenomeni erosivi del suolo; ne consegue che la rete mantiene costante nel tempo la sua tenuta ed efficacia.



**Figg. 1.34, 1.35, 1.36 e 1.37** - Consolidamento dell'ansa del fiume Noncello (PN) con tecnologia Prati Armati® e rinaturalizzazione con flora autoctona di tipo arboreo. In senso orario: impianto prima dell'intervento, dopo 7 mesi, dopo 3 anni e dopo 4 anni (Foto: Prati Armati)

Questo abbinamento è particolarmente indicato nel caso di versanti soggetti a fenomeni erosivi di notevole intensità; in queste situazioni l'efficienza delle reti paramassi può diminuire nel tempo, allorché il materiale eroso può accumularsi all'interno della rete verso valle e creare elevate deformazioni della rete stessa.

I Prati Armati® possono essere utilizzati unitamente ad altri interventi stabilizzanti, quali gabbioni, terre rinforzate, biostuoie e geostuoie.



**Fig. 1.41** - Protezione dell'argine di un fiume mediante piantine di Vetiver: situazione dopo 1 anno dalla messa a dimora (Foto: Prati Armati)





**Fig. 1.54** - Consolidamento di scarpata sovrastante gabbioni metallici (Foto: Prati Armati)



**Fig. 1.55** - Rinverdimento abbinato a reti paramassi e gabbionate metalliche riempite con pietrame (Foto: Prati Armati)

### 1.4.7 Grate vive

Le grate vive (Fig. 1.61) vengono realizzate con tondame di legno del diame-



**Fig. 1.60** - Opere miste per la sistemazione del piede di pendii instabili (Foto: Prati Armati)

## **2.4 Difese spondali**

### **2.4.1 Generalità**

Le difese spondali sono opere disposte parallelamente alla direzione della corrente, costituite per lo più da arginature realizzate con materiali diversi (terra, pietrame, c.a., legname) aventi lo scopo di limitare i fenomeni di cedi-

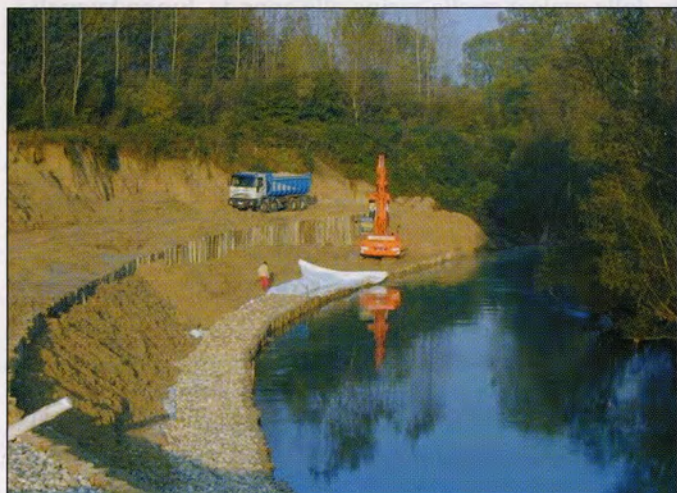
mento delle sponde (Figg. 2.42 e 2.43) e di contenere nell'alveo la portata della piena di progetto, evitando le esondazioni dei corsi d'acqua e le conseguenti inondazioni dei territori confinanti.

Nei corsi d'acqua di montagna le difese spondali si realizzano in prevalenza con strutture flessibili che, grazie anche all'utilizzazione delle tecniche dell'ingegneria naturalistica, si integrano meglio di quelle rigide con il paesaggio circostante in termini non solo visivi ma anche biologici, fornendo risultati particolarmente significativi nelle zone in cui si possono prevedere cedimenti al piede.

Nell'attraversamento dei nuclei abitati, per ragioni di spazio le difese più utilizzate sono realizzate in calcestruzzo o in calcestruzzo armato, eventualmente rivestite con blocchetti di pietra locale per ragioni estetiche (Fig. 2.44). Quando gli ingombri lo permettono, sempre per ragioni estetiche è consigliato affidare la protezione delle sponde preferibilmente a scogliere a secco costruite con massi di grandi dimensioni (0,5÷1 mc) possibilmente squadriati, sempre che tali materiali siano di facile reperibilità. I massi vengono messi in opera con mezzi meccanici di notevole potenza manovrati da operatori di provata abilità.

La stabilità delle scogliere a secco può essere migliorata con l'inserimento all'interno degli spazi presenti fra masso e masso di astoni di salice o di altre specie aventi capacità biotecniche simili e con la costruzione lungo il tratto arginato di opere trasversali (soglie e pennelli) che hanno la funzione di stabilizzare l'alveo, così da evitarne l'abbassamento e conseguentemente i cedimenti delle fondazioni delle difese spondali.

Le arginature possono essere realizzate anche con l'impiego di materiali differenti da quelli ora indicati (ad esempio gabbioni), che variamente disposti consentono di realizzare strutture delle forme più diverse. La scelta del tipo di arginatura è condizionata dalla disponibilità del materiale, dalla possibilità di accesso ai mezzi meccanici, dalle caratteristiche idrauliche e dall'inserimento dell'opera nel paesaggio.



**Fig. 2.42** - Difesa di sponda sul fiume Noncello (PN) con utilizzo di legname e geotessuti (Foto: Prati Armati)

### **11.6.3 Il sistema Prati Armati®**

La tecnologia Prati Armati® sfrutta una miscela di piante erbacee perenni (in un calibrato miscuglio di graminacee perenni e leguminose) dalle radici profonde fino ad alcuni metri ed estremamente resistenti, quale elemento base per il consolidamento e la conservazione di terreni sciolti (Figg. 11.31 e 11.32). Il

sistema Prati Armati® è utilizzato anche nel campo del fitorisanamento, tecnica mediante la quale le specie vegetali riescono a degradare, estrarre o immobilizzare i contaminanti presenti nei suoli e nelle acque. Queste possono essere utilizzate per risanare siti contaminati tanto da metalli quanto da composti organici pericolosi quali pesticidi, solventi e idrocarburi policiclici aromatici.

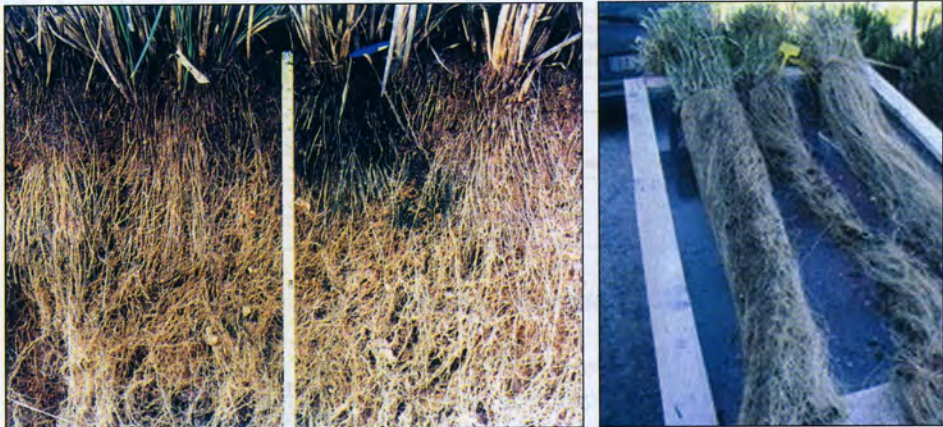
Tra le caratteristiche che contraddistinguono le piante appartenenti a questa tecnologia è importante sottolinearne l'adattabilità ad ogni tipo di suolo e clima, la resistenza a temperature comprese tra -45 e +60 °C e a livelli di pH del terreno compreso tra 4 e 11; esse costituiscono anche una valida alternativa al tradizionale foraggio animale.

Le graminacee che costituiscono la miscela Prati Armati® (Fig. 11.33) hanno un andamento della crescita differente dalle usuali graminacee (Fig. 11.34).

In generale tali piante hanno una crescita dell'apparato epigeo e ipogeo abbastanza simile e presentano due picchi di crescita che, in condizioni pedoclimatiche medie, inizia nel mese di aprile e termina verso dicembre. Nel caso della miscela Prati Armati® le piante sviluppano molto più rapidamente le radici di quanto non sviluppino l'apparato epigeo: all'inizio della loro crescita (1 mese circa) il rapporto tra la lunghezza delle radici e quella delle foglie è di circa 3:1. La graminacea tradizionale è caratterizzata, invece, da un rapporto circa pari a 1:4 (Fig. 11.35).

In conclusione l'impianto con i Prati Armati® impiega più tempo a rinverdire il sito trattato ma lo consolida più rapidamente ed efficacemente delle specie tradizionali, il che corrisponde proprio alla funzione principale della presente tecnologia.

Da una serie di prove di trazione condotte su campioni di radici condotte presso l'istituto di idraulica dell'Università degli Studi di Milano è stato possibile accertare l'elevata resistenza a trazione delle radici [9], aventi sforzi di rottura medi compresi tra 16 e 205 MPa.



**Figg. 11.31 e 11.32** - Crescita ipogea delle piante Prati Armati® in loco (a sinistra) e campioni di radici (a destra) prelevati dai vivai sperimentali presso Albenga (SV) (Foto: Prati Armati)

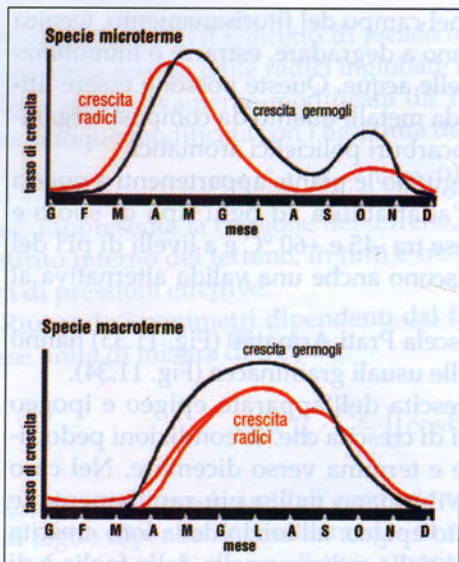


Fig. 11.33 - Periodi di crescita delle graminacee microterme e macroterme tradizionali: le linee rossa e nera evidenziano l'andamento di crescita rispettivamente delle radici e dei germogli

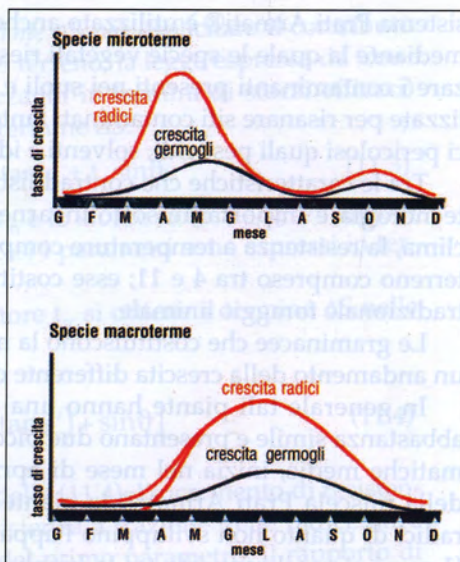


Fig. 11.34 - Periodi di crescita delle graminacee microterme e macroterme impiegate nel miscuglio Prati Armati®: le linee rossa e nera evidenziano l'andamento di crescita rispettivamente delle radici e dei germogli

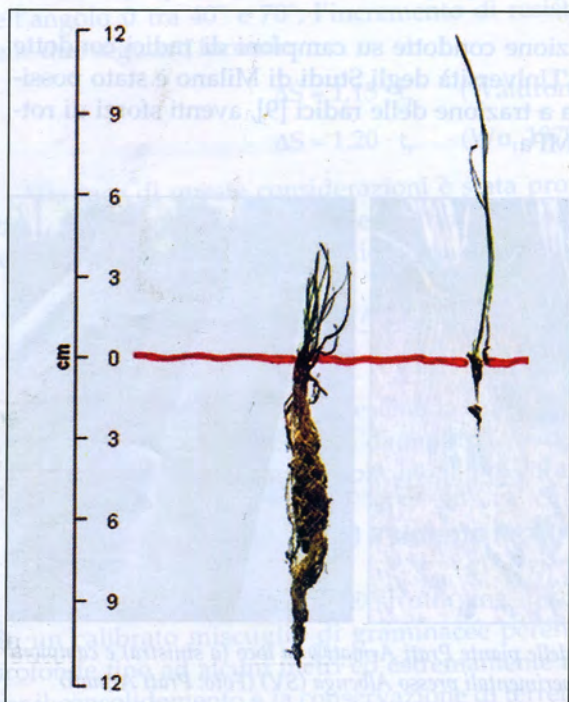
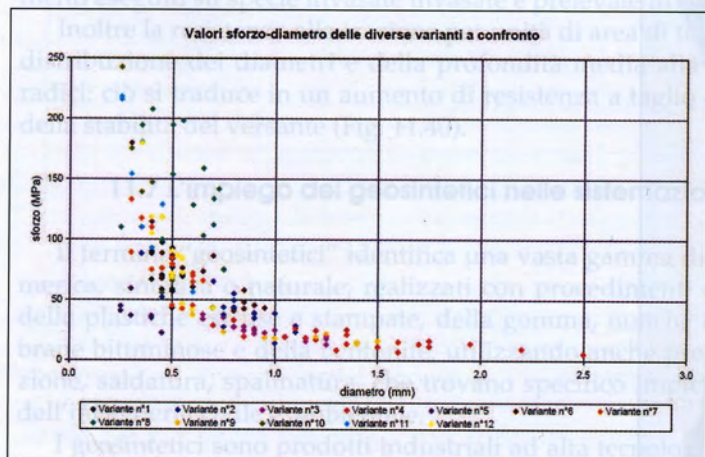


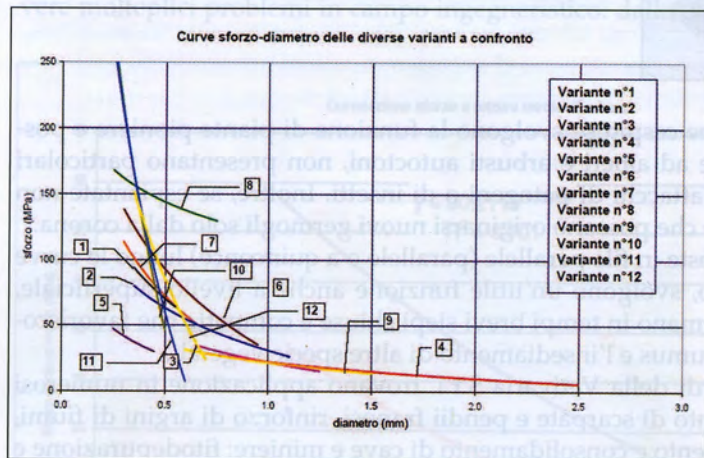
Fig. 11.35 - Sviluppo di una specie appartenente ai Prati Armati® (a sinistra) ed una graminacea tradizionale (a destra). La linea rossa indica il piano campagna

L'apparecchiatura utilizzata era costituita da due morsetti in grado di fissare le estremità di un campione di radice, uno dei quali solidale con un sistema elettromeccanico, per sollecitare a trazione il provino ad una velocità costante (20 mm/min), il tutto registrando in continuo i dati di forza e allungamento.

La raccolta dei dati tensionali-deformativi delle prove di trazione e la loro successiva elaborazione hanno permesso di ottenere i risultati di seguito raccolti nelle due figure 11.36 e 11.37.



**Fig. 11.36 -** Valori caratteristici di resistenza a trazione delle radici di ciascuna variante Prati Armati®



**Fig. 11.37 -** Curve di regressione di resistenza a trazione delle radici di ciascuna variante Prati Armati®