



**REGIONE CAMPANIA**  
**PROVINCIA di AVELLINO**  
**COMUNE di TORRIONI**



**MINISTERO  
DELL'INTERNO**



**Ministero  
dell'Economia  
e delle Finanze**

FONDO PER LA PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA RELATIVA AD INTERVENTI DI MESSA IN SICUREZZA di cui all'articolo 1, commi dal 52 al 58 della legge n. 104 del 27 dicembre 2019, con le modificazioni introdotte dall'articolo 45 del decreto legge 14 agosto 2020, n. 104 convertito dalla legge 13 ottobre 2020, n. 126

COMMITTENTE:

**AMMINISTRAZIONE COMUNALE**

PROGETTO: **COMPLETAMENTO PER LA DIFESA IDROGEOLOGICA, RINATURALIZZAZIONE E CONSERVAZIONE DEI SUOLI DELL'ALVEO RIPABIONDA E DELLE SORTI**

FASE PROGETTUALE:

**PROGETTO DEFINITIVO**

ELABORATO: **A - STUDIO GENERALE DEL PROGETTO**

**RELAZIONE SULL'APPLICABILITA' DELLE  
TECNICHE DI INGEGNERIA NATURALISTICA**

FASE	PROGR.	TAVOLA
<b>D</b>	<b>05</b>	<b>A 05</b>

C.P.V.:

71300000-1

C.I.G.:

86355752FFA

C.U.P.:

C73H19000130005

SCALA:

**Il Direttore Tecnico:**  
**Arch. Monica RISPOLI**

**L'Amministratore Unico:**  
**Dott. Daniele PIPICELLI**

**Il R.U.P.:**  
**Ing. Nicola MAIOLI**

**Il Gruppo di Lavoro:**

- Progettista e Coordinatore attività di progettazione:

**Arch. Monica RISPOLI**

- Progettista Architettonico, Misure e Contabilità - C.S.P.:

**Dott. Nicola LAUDATO**

- Studio Geologico e Geotecnico:

**Dott. Daniele PIPICELLI**

- Supporto esterno ingegneristico:

**Ing. Giovanni SPAGNUOLO**

REVISIONE:

02/2025

DATA:

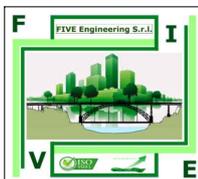
GENNAIO 2025

OGGETTO:

PROGETTO DEFINITO CON PREZZI AGGIORNATI

APPROVATO:

IN DATA \_\_/\_\_/\_\_



**FIVE Engineering S.r.l. - Società di Ingegneria**

**SEDE LEGALE: Via Giustiniani, 1 - 82100 BENEVENTO - Italia**

**C.F./P.Iva:01 752 380 624 - Reg. Imprese BN - 145558**

**tel. e fax 0824 / 858 027 ☎ 339 7783970**

✉: fiveengineersrl@gmail.com - pec: fiveengineersrl@pec.it



**CAREER  
CERT  
INSTITUTE**

BUILD UP A CERTAIN FUTURE

## INDICE

	Pagina
1.       PREMESSA .....	2
2.       CRITERI PER LE SCELTE PROGETTUALI .....	3
3.       OBIETTIVI PERSEGUITI .....	3
4.       CRITERI DI SCELTA DELLA TECNICA E DEI MATERIALI DA UTILIZZARE .....	4
5.       INTERVENTI: TECNICA e MATERIALI UTILIZZATI .....	6
6.       CONCLUSIONI .....	20

## **1. PREMESSA**

Il termine di Ingegneria Naturalistica si riferisce all'insieme di quelle tecniche che, praticate per ridurre il rischio di erosione del terreno negli interventi di consolidamento, prevedono l'utilizzo di piante vive o parti di esse (semi, radici, talee), da sole o in combinazione con materiali naturali inerti (legno, pietrame o terreno), materiali artificiali biodegradabili (biostuoie, geojuta) o materiali artificiali non biodegradabili (reti zincate, geogriglie, georeti, geotessili).

In Italia di I.N.(Ingegneria Naturalistica) si cominciò a parlare intorno alla fine dell'800, quando cioè iniziarono a diffondersi in Europa le tecniche di gestione (manutenzione) forestale. Furono soprattutto i tempi brevi di realizzazione e la relativa economia con cui si lavorava (ad esempio l'uso di materiali naturali reperibili direttamente sul luogo di intervento) che ne garantirono il successo e la rapida diffusione anche in altri ambiti applicativi. Per altro è importante evidenziare come ogni opera di I.N., proprio perché realizzata con materiali naturali, necessiti di controlli e manutenzione periodica (sfalcio della copertura erbosa, potatura delle piante arboree), nonché come tali operazioni comportino un automatico incremento dei costi.

Negli ultimi anni, in Italia, si è registrata una maggiore sensibilità nei confronti dell'ambiente in generale ed in particolar modo della tutela del paesaggio, con un conseguente incremento nella diffusione delle tecniche di I.N.

### **Campo di applicazione:**

Le tecniche di I.N. vengono applicate in diverse tipologie di ambiente:

- corsi d'acqua: consolidamento di sponde soggette ad erosione, rinaturalizzazione; costruzione di briglie e pennelli; creazione di rampe di risalita per l'ittiofauna;
- zone umide: realizzazione di ambienti idonei alla sosta e alla riproduzione degli animali;
- coste marine e lacustri: consolidamento dei litorali soggetti ad erosione e assestamento delle dune sabbiose;
- versanti: consolidamento e inerbimento dei versanti;
- infrastrutture viarie e ferroviarie: costruzione, inerbimento e rinverdimento di scarpate e svincoli; realizzazione di barriere antirumore;
- cave: recupero ambientale di cave estrattive abbandonate;
- discariche: inerbimento e rinverdimento dei rilevati.

### **Tecniche di intervento:**

Le tecniche di I.N. prevedono l'utilizzo di piante intere o parti di esse (semi, radici, talee) in combinazione con materiali naturali inerti (legno, pietrame o terreno) o, in alternativa, con materiali artificiali biodegradabili (biostuoie, geojuta) e non (reti zincate, geogriglie, georeti, geotessili). Le piante utilizzate devono essere:

- autoctone, originarie cioè dell'ambiente in cui devono essere inserite (ad esempio in montagna si dovrebbe evitare l'uso di specie marino-costiere);
- compatibili con l'ambiente e non dannose alle altre specie naturalmente presenti, nel rispetto di tutto l'ecosistema;
- pioniere, ossia capaci di colonizzare e resistere in ambienti non favorevoli e/o sterili;
- con specifiche caratteristiche biotecniche (resistenza a trazione delle radici, resistenza alla sommersione e all'inghiaimento).

In relazione alle diverse condizioni ambientali di intervento (ad esempio, geomorfologiche) si possono utilizzare più tecniche di ingegneria naturalistica, anche con applicazione di tipo associata.

### **Vantaggi e limiti:**

L'impiego delle tecniche di I.N. presenta numerosi vantaggi:

- funzionali. Le piante svolgono un'elevata funzione antiersiva, riducono la forza battente delle piogge, con le radici trattengono le particelle di terreno impedendo un loro dilavamento e aumentano la resistenza al taglio dei terreni;
- ecologici. Gli interventi di I.N. presentano una elevata compatibilità ambientale ed una discreta biodiversità, creano habitat naturali per la fauna (luoghi di alimentazione, riproduzione, rifugio) e consentono un ridotto impatto ambientale nella fase di cantiere (ad es. con l'utilizzo dei 'ragni', particolari mezzi per lo scavo, molto agili e di ridotte dimensioni, è possibile limitare al minimo le piste di accesso al cantiere);
- economici. I costi di realizzazione sono concorrenziali rispetto alle analoghe opere di ingegneria classica ed i costi per il ripristino ambientale del cantiere sono ridotti.

Per un pieno successo degli interventi realizzati con tecniche di I.N. occorre effettuare un'analisi di diversi parametri e fattori condizionanti:

- geomorfologici. Le tecniche di I.N. possono essere impiegate per la sistemazione di versanti con dissesti superficiali (scivolamenti corticali);
- funzionali. L'efficacia delle tecniche di I.N. non è sempre immediata e vi è un aumento della stessa nel tempo grazie allo sviluppo delle piante. Per esempio, quando l'obiettivo è la riduzione immediata del rischio geologico-idraulico per centri abitati e infrastrutture lineari, occorre effettuare un'attenta valutazione delle scelte progettuali;
- tecnici e costruttivi. Generalmente le opere di I.N. sono di ridotte dimensioni (ad esempio le palificate doppie, che nel consolidamento dei versanti svolgono una funzione assimilabile ai muri a gravità, possono raggiungere al massimo i 3 metri di altezza. Per quanto riguarda gli interventi in ambito fluviale, alcune tipologie di difese spondali, come ad esempio la copertura diffusa, presentano vari limiti di applicabilità legati alla pendenza dell'alveo, alla velocità delle acque e al trasporto solido;

- climatici. L'elevata variabilità dei caratteri climatici (regime pluviometrico e termometrico) del territorio italiano condiziona le scelte delle specie vegetali da impiegarsi nell'I.N. (ad es. lo stress idrico estivo);
- esecutivi. Il periodo di realizzazione delle opere di I.N. è limitato al periodo di riposo vegetativo delle specie vegetali utilizzate; talvolta vi possono essere delle difficoltà nel reperimento delle specie vegetali autoctone necessarie per l'intervento (ad es. miscugli non commerciali di specie erbacee per l'idrosemina).

## **2. CRITERI PER LE SCELTE PROGETTUALI**

Le scelte progettuali concretizzatesi nel progetto di cui alla presente scaturiscono dalla considerazione che, negli ultimi decenni, gli interventi idraulici, sono stati spesso caratterizzati da motivi d'urgenza o realizzati come sistemazioni puntuali, invece di essere inseriti in una programmazione lungimirante, come richiederebbero le problematiche varie e complesse del settore.

Allo scopo di sottrarsi alla miopia di tali interventi l'intervento di cui alla presente si inserisce nel quadro della rinaturazione dell' intero corso d'acqua.

Alla luce delle indagini (vegetazionali, idrologiche, idrauliche e geologico/geotecniche), gli interventi proposti sono stati inoltre concepiti secondo il principio che la diversità morfologica si traduce in biodiversità, invertendo la tendenza alla riduzione delle aree di pertinenza ed alla rettificazione e cementificazione dell'alveo, ma recuperando all'alveo stesso le aree vicinali.

Si è inoltre considerata la vegetazione igrofila non come un ostacolo al rapido deflusso delle acque, ma come una risorsa non solo naturalistica, bensì di interesse idraulico per la protezione flessibile dall'erosione.

Nell'effettuare le scelte progettuali si è inoltre operato in applicazione del principio del "*minimo livello di energia*", ovvero della:

- disponibilità di materiali locali, quali pietrame e legname;
- disponibilità di materiali commerciali, quali geosintetici, stuoie, gabbioni, reti metalliche, etc.;
- disponibilità di mano d'opera specializzata;
- disponibilità di normali macchine per il movimento terra, perforazione, taglio, etc.;
- individuazione e riproduzione di specie autoctone, soprattutto erbacee ed arbustive, con caratteristiche di radicazione adatte ai fini antierosivi e di consolidamento; in particolare di specie con possibilità di riproduzione vegetativa diretta nell'ambiente naturale e non in serra o vivaio;

Allo scopo di ottemperare al principio del "*minimo livello di energia*" è stato quindi evitato:

- il prevalente impiego di materiali inerti non funzionale ma a scopo di mascheramento;
- il prevalente impiego del verde non funzionale ma a scopo di mascheramento;
- l'impiego di specie esotiche, con problemi di contaminazione genetica e di infestazione;
- le errate applicazioni iniziali con fallimento funzionale, e/o mancato sviluppo delle piante;
- la sopravvalutazione e superamento dei limiti delle possibilità biotecniche dell'I.N.;
- l'adozione di tecnologie molto costose legate alla commercializzazione di singoli materiali e non giustificate sul piano tecnico-biologico.

### **3. OBIETTIVI PERSEGUITI**

Gli interventi previsti progettualmente sono ricompresi tra quelli al seguito specificati che si propongono i seguenti obiettivi:

- Interventi di rinverdimento per la protezione antierosiva dei versanti in erosione per consentire l'aumento del tempo di corrivazione delle acque e la diminuzione del trasporto solido a valle;
- Interventi sul corso d'acqua tesi a diminuirne l'energia cinetica tramite la riduzione della pendenza;
- Realizzazione di aree inondabili in corrispondenza dell'alveo, ampliando le sezioni idrauliche con la creazione di un alveo di magra con portata idraulica ed uno di piena allagato periodicamente;
- Realizzazione, ove possibile, di aree umide in corrispondenza delle immissioni dei canali di drenaggio o dei fossi affluenti;
- Interventi antierosivi e di consolidamento sull'asta fluviale concepiti anche invertendo la tendenza alla riduzione delle aree di pertinenza del corso d'acqua,
- Interventi tesi ad eliminare i tratti rettificati dell'alveo che possono comportare un aumento dell'erosione a monte e del deposito a valle, con conseguente pericolo di esondazione e che comportano la perdita di habitat e la riduzione della biodiversità; favorire la meandrificazione del corso d'acqua nei tratti compatibili, con conseguente asimmetria della sezione idraulica significa invece riproporre la morfologia naturale e aumentare le capacità depurative del corso d'acqua.
- Eliminazione dei tratti cementificati per spezzare l'isolamento tra l'acqua ed il substrato, ricostituendo il rapporto con la falda e rendendo possibile la rivitalizzazione del corso d'acqua.
- Realizzazione soprattutto nelle aree di pianura ad agricoltura intensiva, di fasce tampone a lato dell'alveo, con idonea vegetazione, per intercettare i nutrienti percolati dalle aree agricole.
- Realizzazione, anche al di fuori dell'alveo di piena, di boschetti e cespuglieti, per una riqualificazione naturalistica e paesaggistica del

corso d'acqua, con contemporaneo effetto di ricostruzione di elementi della rete ecologica

- Pianificazione degli interventi di manutenzione non considerando, ove possibile, la vegetazione igrofila un ostacolo al rapido deflusso delle acque, bensì una risorsa non solo naturalistica, ma anche di interesse idraulico per la protezione flessibile dall'erosione (DPR 14 aprile 1993).

#### **4. CRITERI DI SCELTA DELLA TECNICA e DEI MATERIALI DA UTILIZZARE**

La scelta delle tecniche e dei materiali da utilizzare per la realizzazione degli interventi previsti progettualmente è stata fatta sulla base dei risultati delle varie indagini effettuate in loco, ossia:

##### **1. in relazione ai tipi di suolo verificando i seguenti fattori:**

- fisici: percentuale di sabbia-limo-argilla, contenuto in S.O., suoli torbosi, suoli ghiaiosi a forte drenaggio, ecc.;
- chimici: pH, C.S.C., presenza di sali, ecc.;
- influenza dell'attività delle piante sui parametri fisico-chimici del suolo (variazioni strutturali e variazioni chimiche indotte) anche in funzione dell'innesco di fenomeni erosivi;

##### **2. in relazione al tipo di clima:**

- individuazione delle specie vegetali più adatte a superare un periodo con deficit idrico, di stress da evapotraspirazione eccessiva dovuta al vento, di escursione termica, anche in relazione a diverse quote ed esposizioni, oltre che in relazione all'esposizione ai venti, ecc.;
- individuazione delle specie vegetali più adatte al clima mediterraneo e idonee all'impiego in tecniche di ingegneria naturalistica;
- determinazione del periodo massimo di resistenza ad una assoluta assenza di acqua;
- individuazione delle specie salsoresistenti per l'impiego in zone con acqua di falda salmastra oppure per la sistemazione di zone costiere e dunali;
- efficacia delle diverse specie nel consolidamento delle dune e nelle sistemazioni costiere, con particolare riguardo alle specie erbacee anche in relazione alla forte pressione antropica sui cordoni dunali.

##### **3. in relazione agli aspetti idraulici e geotecnici:**

- verifica della resistenza a trazione delle piante sia in ambito fluviale (suolo saturo e quasi saturo d'acqua) che in ambito di versante;
- verifica dell'influenza sulla capacità di deflusso (aumento di scabrezza indotta);
- verifica dell'elasticità delle piante;
- verifica della turbolenza delle acque tra le piante.

#### **4. in relazione all'influenza della vegetazione e delle sue caratteristiche biotecniche:**

- influenza delle piante sulla diminuzione dell'erosione e del trasporto solido;
- influenza delle piante in alveo sulla velocità di deflusso in ambiti serviti da sistemi di bonifica idraulica;
- capacità di ritenzione idrica di un bacino a sollevamento meccanico in funzione della presenza di vegetazione in alveo.

Al fine dell'individuazione delle specie vegetali da utilizzarsi negli interventi proposti si è altresì tenuto conto delle caratteristiche biotecniche delle specie, che possiamo qui riassumere brevemente:

##### ***Proprietà biologiche:***

- capacità di rigenerazione
- capacità di adattamento all'ambiente
- resistenza alla sommersione
- capacità di mettere radici avventizie
- capacità di riproduzione per via vegetativa

##### ***Proprietà tecniche:***

- formazione del capillizio superficiale nel suolo (forma delle radici, rapporto tra radici e parte epigea);
- regolazione del bilancio idrologico del terreno (evaporazione, formazione e miglioramento chimico-fisico del suolo);
- riduzione della velocità di scorrimento superficiale e della forza di trascinarsi dell'acqua; difesa dall'erosione (copertura del terreno e riduzione degli impatti provocati dalle precipitazioni);
- aumento della resistenza alla trazione; aumento della resistenza al taglio.

#### **5. INTERVENTI, TECNICHE E MATERIALI UTILIZZATI**

Gli interventi previsti progettualmente sono ricompresi tra quelli di seguito specificati, relativamente ai quali si dettaglia la tecnica realizzativa ed i materiali utilizzati.

Tali interventi, tra l'altro, sono stati desunti e sono ossequiosi di quanto stabilito dal "Regolamento per l'attuazione degli interventi di ingegneria naturalistica nel territorio della Regione Campania".

Di seguito raggruppiamo le varie tecniche di ingegneria naturalistica in gruppi a seconda della tipologia di opera.

### 1. Opere per il controllo dell'erosione superficiale:

Le opere per il controllo dell'erosione superficiale creano condizioni ambientali e di stabilità necessarie all'attecchimento e alla crescita della vegetazione erbacea, arbustiva ed arborea impiantata sulle scarpate e sui pendii in terra o in situazioni particolari di rocce molto alterate. La copertura vegetale, così realizzata, consente un efficace controllo e mitigazione dei fenomeni d'erosione, proteggendo il terreno dall'azione aggressiva delle acque meteoriche e superficiali, del vento e delle escursioni termiche.

Le tecniche costruttive ed i materiali impiegati sono differenti in relazione alle caratteristiche litologiche, pedologiche, morfologiche e climatiche della zona d'intervento. Tra le opere per il controllo dell'erosione superficiale, di seguito sono descritte le tipologie che più comunemente trovano applicazione nell'ambito degli interventi di sistemazione e di difesa dall'erosione e dalle frane dei versanti, quali:

- rivestimenti antierosivi con materiali biodegradabili
- rivestimenti antierosivi con materiali sintetici
- inerbimenti

#### ➤ Rivestimenti antierosivi con materiali biodegradabili

I prodotti in materiali organici biodegradabili sono rappresentati da: Biotessili, Bioreti, Biofeltri e Biostuoie.

Esempi di materiali antierosivi:

- Sinistra: biostuoia in fibre di paglia;  
Centro: biostuoia in fibre miste di cocco e paglia,  
Destra: biorete in fibre di juta, tessuta a maglia aperta (detta "geojuta")

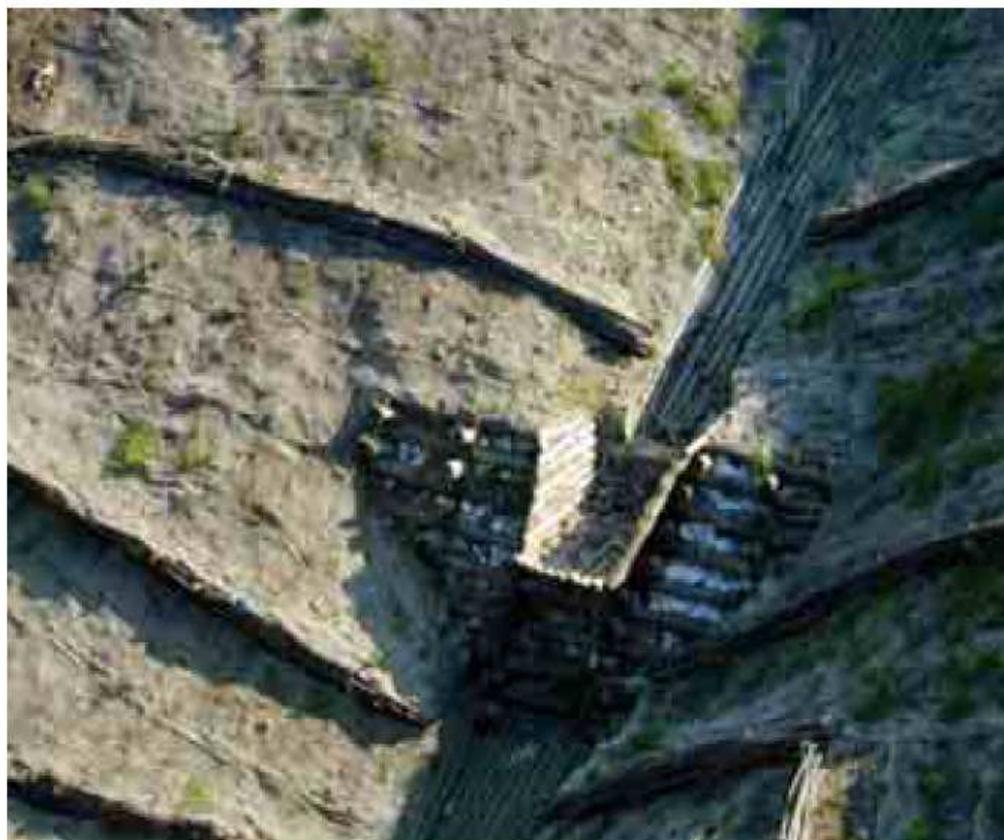


Impiego di biostuoia in un complesso intervento di sistemazione e consolidamento dei versanti di un torrente montano in forte erosione.

L'intervento ha previsto il ricorso a varie tecniche d'ingegneria naturalistica: rimodellamento del pendio, realizzazione di viminate, rivestimento del fondo dell'impluvio con tondame e costruzione di briglie in legname e pietra, stesa di teli di biotessili ed inerbimenti.

La stesa dei rotoli di biotessili avviene dopo avere preventivamente regolarizzato la superficie del pendio dissestato, ed in modo da avere una certa sovrapposizione fra teli successivi di una decina di centimetri circa.

Terminato il posizionamento dei biotessili si procede al trattamento con idrosemina di specie vegetali idonee.



➤ **Rivestimenti antierosivi con materiali sintetici**

I prodotti in materiale sintetico comprendono:

Geostuoie tridimensionali, Geocompositi antierosivi, Rivestimenti vegetativi e Geocelle.

Impiego di geostuoia rinforzata con rete metallica a doppia torsione tipo "Macmat" per la stabilizzazione e il rinverdimento di un versante argilloso. Fase della posa (sopra) e dopo l'idrosemina (sotto).



I rivestimenti antierosivi sintetici sono realizzati con vari tipi di prodotti sia geosintetici che non. Queste tecniche si possono realizzare con dei prodotti prefabbricati che svolgono una o più funzioni od altrimenti abbinando materiali diversi posti in tempi successivi. L'impiego di prodotti formati da materiali di sintesi e/o naturali, offre la possibilità di realizzare opere d'ingegneria limitandone notevolmente l'impatto negativo sull'ambiente circostante. Nelle applicazioni antierosive oltre all'azione di protezione meccanica superficiale, possono svolgere funzioni di contenimento e di stabilizzazione corticale; in tal

modo questi materiali consentono e favoriscono lo sviluppo di una copertura vegetale stabile in grado di svolgere un'efficace ruolo autonomo di consolidamento superficiale e di rinaturalizzare contesti degradati dalla costruzione di opere di ingegneria.

Esempio di struttura di geostuoia



Esempio di posa di una geostuoia rinforzata per la stabilizzazione di scarpate a basso angolo di attrito. Nella foto: discarica di rifiuti industriali bonificata.



Le geostuoie tridimensionali sono dei materiali sintetici impiegati principalmente per il controllo dell'erosione superficiale su pendii e/o scarpate naturali o artificiali. Le geostuoie sono costituite da filamenti di materiali sintetici (polietilene ad alta densità, poliammide, polipropilene od altro), aggrovigliati in modo da formare un materassino molto flessibile dello spessore di 10-20 mm. La forma tipica di una geostuoia consiste in una struttura tridimensionale con un indice dei vuoti molto elevato, mediamente superiore al 90% (idonea al contenimento di terreno vegetale o dell'idrosemina).

Le geostuoie sono principalmente impiegate con funzione antierosiva negli interventi di sistemazione idraulico-forestale e di consolidamento di pendii instabili. Sono sempre abbinate a sistemi di raccolta delle acque superficiali ed a materiali vivi; quando è necessario vengono utilizzate come un complemento delle opere di sostegno nell'ambito di sistemazioni più complesse.

Dato l'elevato indice dei vuoti, le geostuoie si prestano molto bene ad essere intasate con miscele di idrosemina piuttosto dense quali quelle dell' "idrosemina a spessore", in tal modo svolgono sia una protezione antierosiva

nei confronti del terreno che una funzione di "armatura dell'idrosemina" impedendone il dilavamento anche in situazioni difficili.

➤ **Inerbimenti**

Le tecniche di inerbimento comprendono:

Semina a spaglio, Copertura con zolle erbose, Sistema Nero - Verde ed Idrosemina

**Semina a spaglio**

La semina a spaglio è una tecnica di copertura del terreno con tappeto erboso o specie arboree utilizzata negli interventi antierosivi di rivestimento di scarpate e pendii. Questo tipo di semina è eseguito su pendii caratterizzati da pendenze basse (maggiore di 20°), per evitare l'asportazione dei semi e facilitare il lavoro degli operatori, e dalla presenza di un suolo relativamente fertile. Prima di procedere alla semina, occorre preparare il terreno eliminando i ciottoli più grossi e ammendandolo, con apporto di terreno vegetale o compost organico. La semina può essere eseguita manualmente o con idonei mezzi meccanici, spargendo sul terreno umido un miscuglio standard di sementi selezionate (variabile tra 10 e 50 g/m<sup>2</sup>) o di fiorume (gli scarti non utilizzati per l'alimentazione degli animali). Se i semi sono piccoli e leggeri si può aggiungere al miscuglio sabbia o argilla e, contemporaneamente, fertilizzante organico (50 - 150 g/m<sup>2</sup>).

Il periodo della semina dipende dalle condizioni pedoclimatiche del luogo, normalmente il più idoneo è quello compreso tra primavera e inizio autunno.

La semina manuale con solo fiorume viene oggi presa in considerazione limitatamente alla regione alpina al di sopra del limite del bosco, o in casi particolari sempre in aree montane qualora non sia più utilizzabile la semente in commercio. Il fiorume non è reperibile in commercio ed è disponibile solo in modica quantità, in genere solo in aree adibite a pascoli. In ogni caso occorre potenziare la semina con l'aggiunta di concime complesso ternario minerale e granulare oppure concime animale.

Le tecniche con semina manuale sono particolarmente indicate nelle aree collinari e montane per il rivestimento, quando si vuole ottenere in tempi brevi un'efficace copertura vegetale per il consolidamento e la protezione dall'erosione superficiale di pendii e scarpate, naturali o artificiali, con basse pendenze.

**Inerbimento con copertura di zolle erbose**

L'inerbimento realizzato con la posa di zolle o di tappeti erbosi, è una tecnica che viene utilizzata prevalentemente dove le piote o le zolle erbose sono facilmente disponibili in seguito alle operazioni di scotico preliminari ai movimenti terra per la realizzazione delle opere di sistemazione idraulico-forestale. In questi casi è utile quindi prelevare le zolle erbose ed utilizzarle per la successiva ricopertura delle scarpate nude. Tale intervento si rende oltremodo utile per le opere in quota dove l'attecchimento è più difficile. Le zolle erbose che si ricavano in cantiere dovrebbero essere prelevate delle dimensioni più grandi possibili assieme al terreno compenetrato dalle radici e quindi conservate in modo idoneo. Per garantire la conservazione dell'integrità

delle zolle erbose ed evitare il loro deterioramento per asfissia, mancanza di luce o disseccamento, è consigliabile non lasciare accatastato il materiale per troppo tempo, e cercare di effettuare il trasporto sul luogo d'impiego il più rapidamente possibile. La posa in opera del rivestimento dipende dalla forma delle porzioni delle cotiche erbose e dalla loro composizione specifica. L'inerbimento, se realizzato a scacchiera od a strisce, riduce i costi e consente una copertura totale del pendio. Nel caso che le specie usate non riescano ad attecchire ed a colonizzare gli spazi vuoti, è opportuno riportare uno strato di terreno vegetale ed eseguire un trattamento con idrosemina. In questo caso, la sistemazione evidenzierà la sua natura artificiale per decenni. Sono disponibili in commercio anche tappeti erbosi a rotoli: essi sono però indicati solo per il rivestimento di scarpate finemente livellate e non troppo ripide, a causa dell'omogeneità del miscuglio di semi usati e per il loro esiguo spessore. Su pendii ripidi le zolle sono fissate con paletti che non debbono sporgere oltre la superficie della zolla. Se la pendenza non è troppo elevata, con questo sistema è anche possibile rivestire fossi o canalette superficiali utilizzati per il deflusso delle acque di apporto meteorico lungo le scarpate.

### **Inerbimento con sistema Nero-Verde**

Il metodo Nero-Verde consiste nella formazione di una pellicola protettiva bituminosa sopra uno strato di paglia o di cellulosa sul quale sono stati sparsi semi e concimi. Tale sistema rappresenta una delle prime tecniche di semina potenziata introdotta negli interventi di inerimento e consolidamento di versanti soggetti a fenomeni erosivi in alta quota, oltre i limiti del bosco. I procedimenti esecutivi del sistema Nero-Verde, richiedono un complesso ed accurato svolgimento manuale ed in più fasi (difficoltoso soprattutto sulle lunghe scarpate e sulle superfici più ripide e scoscese), che comporta una forte incidenza dei costi della manodopera, nonché effetti estetici criticabili. Le fasi principali sono le seguenti:

- preparazione del terreno con eventuale riporto di terreno vegetale;
- stesa di uno strato continuo di paglia di segale, fieno o di altri cereali.  
La paglia deve essere asciutta per evitare che i semi si attacchino allo strato più superficiale. Le operazioni di sfogliatura delle balle di paglia e la stesa devono essere eseguite a mano per garantire l'uniformità della stesa. Inoltre la paglia può essere preventivamente irrorata con enzimi che ne accelerino la decomposizione;
- distribuzione con semina a spaglio di un apposito miscuglio di sementi sopra il letto di paglia mescolata a concime minerale od organico;
- aspersione di un'emulsione bituminosa instabile, diluita in acqua, per stabilizzare fisicamente lo strato di paglia ed evitare erosioni da parte del vento e dell'acqua;
- su terreni molto pendenti il suolo viene preventivamente consolidato mediante la posa di reti o griglie metalliche, sintetiche o in fibre organiche a maglia stretta fissate al suolo con graffe metalliche e successivamente inerbito. La quantità e la qualità dei singoli elementi da impiegare nella miscela sono scelti sulla base di un'attenta analisi dei luoghi, valutando in special modo i fattori pedologici e climatici, scegliendo in giusta proporzione le essenze erbacee, graminacee, leguminose ed eventualmente quelle arboree ed

arbustive più adatte alle condizioni del luogo in cui si opera. L'intervento deve essere effettuato in genere durante i mesi più umidi. Il reticolo di paglia con emulsione idrobituminosa forma uno strato protettivo che assolve alle seguenti funzioni:

- riduzione dell'azione erosiva da parte delle acque di pioggia e/o del vento;
- protezione e preservazione delle sementi dalla perdita per dilavamento o per predazione da parte di animali (uccelli, roditori ed altro);
- creazione di un particolare microclima, in prossimità del terreno, favorevole alla crescita della vegetazione, in seguito al mantenimento dell'umidità e attenuazione degli sbalzi termici;
- degradazione lenta dello strato protettivo che si trasforma in un substrato favorevole allo sviluppo della vegetazione.

### **Idrosemina**

L'inerbimento ed il consolidamento mediante idrosemina consistono nello spruzzare ad alta pressione, sul terreno preventivamente preparato, una soluzione di acqua, semi, collante ed altri eventuali componenti. La possibilità di variare in molti modi la composizione delle miscele, rende l'idrosemina adatta alla soluzione di quasi tutti i problemi di rinverdimento. L'efficacia di questo sistema sarà però assicurata generalmente solo se esso verrà utilizzato in abbinamento ad altre tecniche sia di protezione che di regimazione delle acque meteoriche. Questa tecnica è adatta a coprire grandi e medie superfici anche a elevata pendenza e scarpate con scarsa copertura. Un componente spesso presente nelle idrosemine è il mulch, termine con cui ci si riferisce a tutti quei materiali che aggiunti alla miscela conferiscono una maggiore resistenza meccanica e capacità di ritenzione idrica.

Le tecniche con idrosemina sono impiegate soprattutto nelle situazioni in cui il terreno si trova completamente denudato e privo di copertura organica con ripristini vegetazionali che consentano di generare in tempi brevi un manto vegetale di protezione. Le applicazioni più comuni comprendono:

- protezione dall'erosione di sponda;
- protezioni di superfici soggette a movimenti di terra a causa di lavori per la costruzione di opere, di sistemazioni superficiali e riprofilature di scarpate in scavo e in rilevato.
- sistemazione di scarpate e di conoidi;
- recupero ambientale e ripristino naturale di cave e discariche;
- inerbimenti di piste da sci.

Sistemazione di una scarpata di un rilevato stradale in terra rinforzata. Nell'immagine in primo piano è visibile la biostuoia che ha il compito di trattenere il materiale fino a permettere l'esecuzione dell'idrosemina per il rinverdimento finale dell'opera



Idrosemina a forte spessore in alta quota su cono di detrito, prima (sopra) e dopo (sotto) l'inerbimento.



Inerbimento mediante la tecnica dell'idrosemina di un'opera di sostegno in terra rinforzata. Nell'immagine si può osservare la buona riuscita dell'intervento a distanza di pochi mesi dall'ultimazione dei lavori.



## 2. Opere di stabilizzazione superficiale:

L'abbinamento di materiali vivi (talee, piantine radicate) e inerti di legname, o altro materiale (terre, rocce, calcestruzzo, metallo, sintetici ecc.) consente di stabilizzare e consolidare pendii e scarpate instabili, interessati da fenomeni franosi di tipo prevalentemente superficiale. Infatti questa soluzione permette di realizzare strutture di rinforzo del terreno entro cui impiantare talee o piantine radicate. I materiali vivi hanno una funzione non solo ecologica (di rinaturalizzazione), ma anche tecnica: le piante impediscono l'erosione superficiale, intercettando e rallentando il deflusso delle acque meteoriche, e rinforzano con lo sviluppo del loro apparato radicale il terreno, esercitando al tempo stesso un efficace azione di prosciugamento. Gli interventi di stabilizzazione superficiale possono essere puntiformi o disposti linearmente.

La realizzazione di opere di consolidamento superficiale che utilizzano materiali vegetali vivi in legname o altro materiale (pantumazioni, viminata o graticciata, fascinata, gradonate, palificata, palizzata, grate) hanno un impatto ambientale molto ridotto. Infatti la loro costruzione non necessita di movimento terra significativi in grado di arrecare danni alla vegetazione o all'ecosistema. La struttura garantisce un rapido effetto di consolidamento delle scarpate in dissesto. Se infatti il legno può marcire in tempi relativamente brevi, il radicamento e la crescita delle talee e delle piantine assicurano, nella fase successiva, la stabilità dei versanti. Questi sistemi rappresentano una delle soluzioni più indicate nelle zone di particolare pregio ambientale, nelle quali occorre garantire, oltre che l'efficacia tecnico-funzionale dell'intervento anche gli aspetti ecologici, estetico paesaggistici e naturalistici, ad esso connessi.

Gli interventi stabilizzanti consentono un ottimo recupero naturale delle aree degradate, favorendo il consolidamento dei pendii e lo sviluppo successivo della copertura vegetale e il ripristino degli ecosistemi naturali danneggiati.

### ➤ Pantumazioni

La tecnica d'impianto mediante la messa a dimora di piantine arboree ed arbustive e/o il trapianto di rizomi o cespi selvatici, avviene di solito in zone dove le caratteristiche di pendenza ed il terreno lo consentono, e dove si richiede un rapido sviluppo della copertura vegetale. Questa tecnica di stabilizzazione dei versanti sfrutta la capacità degli apparati radicali delle piante di legare e consolidare le particelle di terreno sciolto e le capacità di regimazione idrologica derivanti dalla intercettazione dell'acque meteoriche e dal prosciugamento dell'acqua superficiale.

L'impianto di specie arbustive ed arboree comprende le due seguenti tecniche:

### **Messa a dimora di talee di salici, tamerici ed altre specie**

Le talee devono essere di specie arbustive idonee a questa modalità di trapianto vegetativo, prelevate dal selvatico di 2-3 anni d'età, e messe a dimora nel verso della crescita previo taglio a punta e con disposizione

perpendicolare o leggermente inclinata rispetto alla superficie del pendio. L'infissione nel terreno avviene mediante battitura con mazza di legno, previa apertura di un foro con un'apposita punta metallica. La densità d'impianto varia tra 2 e 10 talee per mq. Particolare attenzione va posta nelle modalità di prelievo, trasporto e stoccaggio al fine di preservare le capacità vegetative delle piante.

### **Piantagione di semenziali o trapianti di arbusti, di alberi e/o di specie pioniere**

La messa a dimora avviene entro delle buche, scavate con mezzi manuali o meccanici di dimensioni prossime al volume dell'apparato radicale, se si impiegano piantine a radice nuda, o maggiore, se si utilizzano piantine in fitocella o con vasetti o in pani di terra. La preparazione delle buche deve tenere conto delle condizioni pedoclimatiche:

-nelle zone aride è bene che il livello della buca, dopo aver eseguito il riempimento risulti inferiore al terreno circostante;

-al contrario in zone con ristagni d'acqua è preferibile realizzare un drenaggio centrifugo.

Le piantine (pioppi, salici) possono essere impiantate a radice nuda, con zolla di terra o in contenitori biodegradabili, in genere si tratti di esemplari di età variabile tra 1 e 3 anni ed altezze comprese tra 20 - 30 cm e 100 - 150 cm.

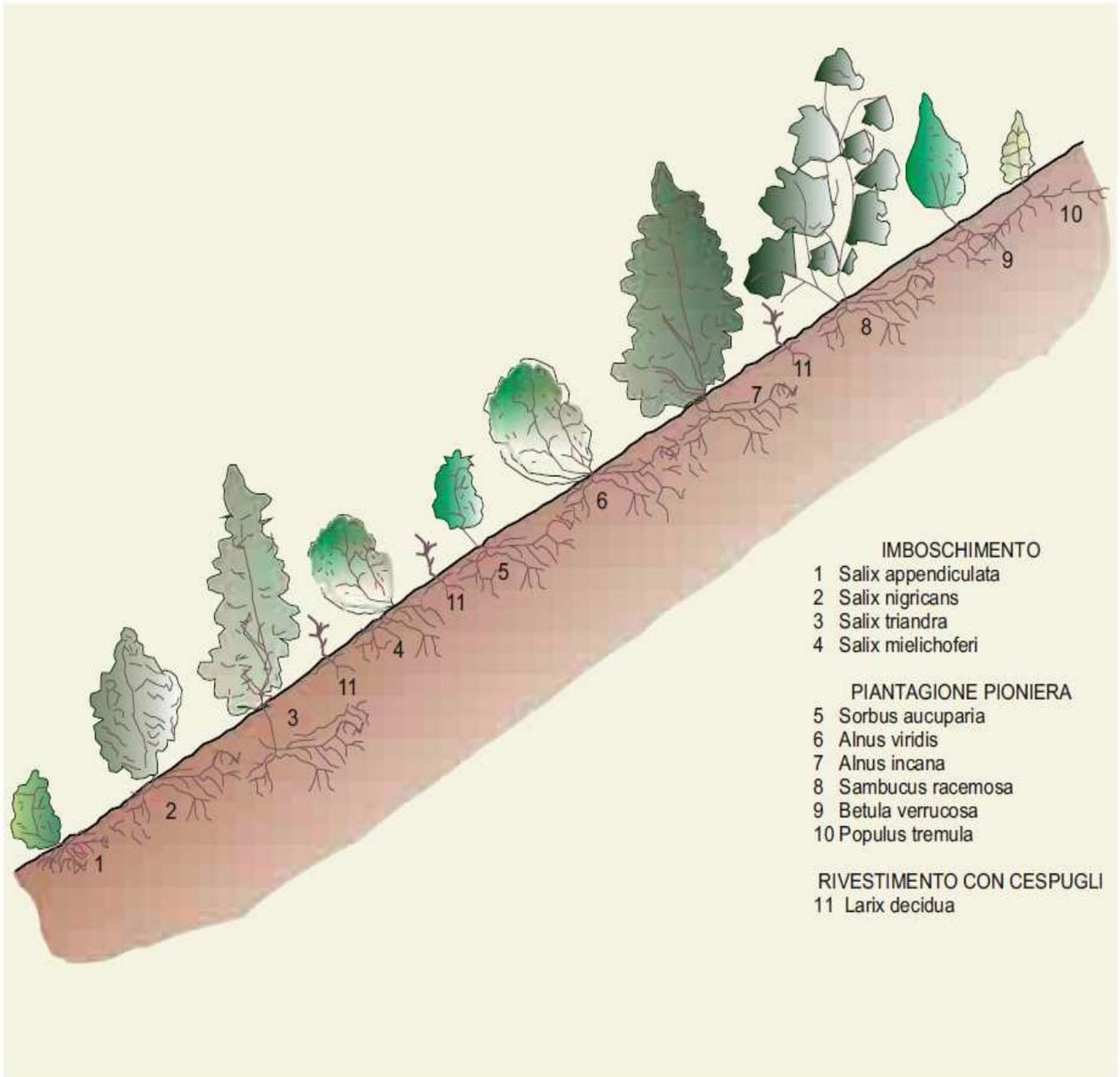
L'impianto di specie a radice nuda si esegue prevalentemente durante il periodo estivo, per le piantine in zolla o in contenitori il trapianto può essere effettuato anche durante i mesi di riposo vegetativo.

Per la messa a dimora di specie pioniere su terreni molto difficili (aridi o poco fertili) è consigliato procedere al ricoprimento della buca, dopo l'impianto, con uno strato (2 - 4 cm) di torba, paglia, cellulosa sminuzzata o sostanza organica, allo scopo di mantenere umido il terreno. In questi tipi di terreni si ricorre all'impiego di fertilizzanti o concimi contestualmente al trapianto.

La densità e la tipologia d'impianto (lineari, a quinconce, ecc.) varia in funzione delle specie e delle caratteristiche pedoclimatiche dell'area: i sestri d'impianto possono variare molto, da 0,5 x 0,5 m (40.000 piante/ettaro) per impianti arbustivi; a 1 x 1 m (10.000 piante/ettaro) fino a 3 x 3 m (circa 1.000 piante/ettaro) per impianti prevalentemente arborei.

Le piantumazioni sono particolarmente indicate nelle zone collinari e montane o su terreni aridi, quando si vuole ottenere in tempi brevi un'efficace copertura vegetale per il consolidamento e la protezione dall'erosione superficiale di pendii e scarpate o il rinverdimento e consolidamento di opere strutturali.

Piantumazione di essenze arboree per il ripristino della copertura arbustiva e il consolidamento di pendii in dissesto. Nella sezione è riportato lo sviluppo radicale dopo circa 3 periodi vegetativi, di alcune specie vegetali.



## ➤ **Fascinate vive**

Le fascinate vive sono utilizzate negli interventi di sistemazione dei versanti con pendenza non superiore ai 30°-35°. Con questo sistema si ottiene il rinverdimento ed il drenaggio superficiale dei pendii mediante la formazione di file di gradoni, disposti parallelamente alle curve di livello, nei quali sono sistemati delle fascine di astoni o ramaglia, possibilmente lunghi e diritti, prelevati da piante legnose con elevata capacità di diffusione vegetativa.

Le fascinate vive comprendono due tipologie costruttive differenziate in base al materiale vegetale impiegato:

- fascinate vive con ramaglia;
- fascinate vive con piantine.

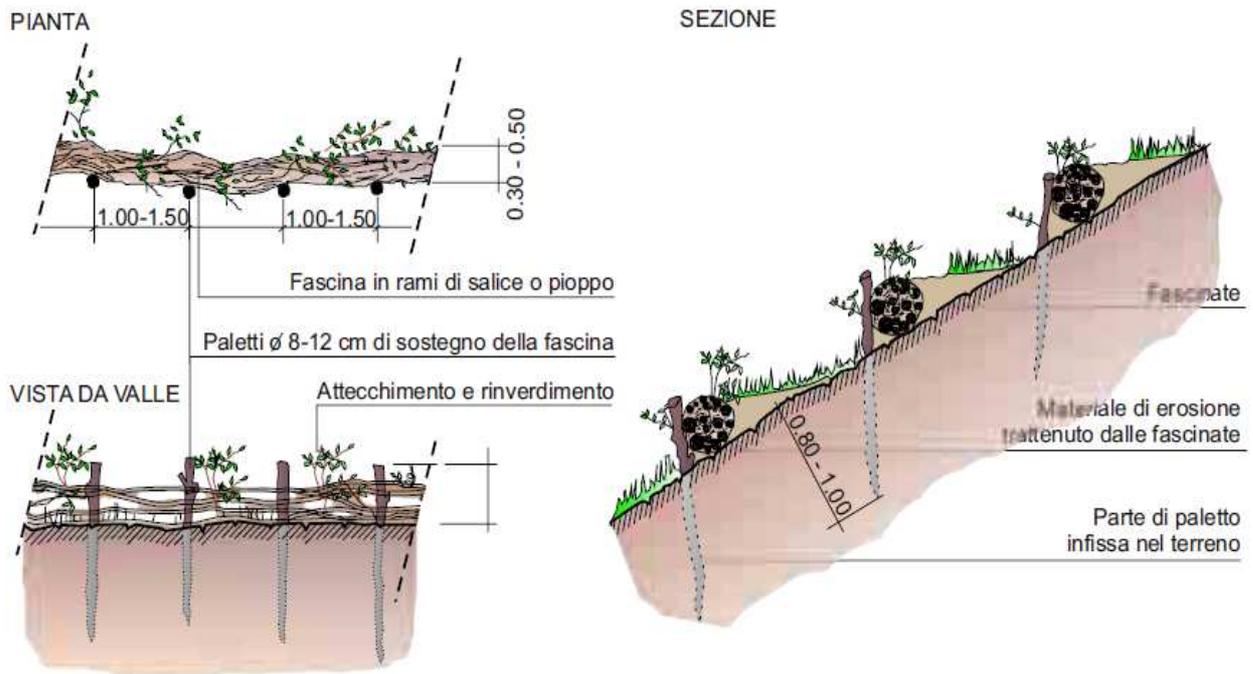
### Fascinate vive con ramaglia

La loro realizzazione comporta un ridotto movimento di terra e comprende l'escavazione di solchi profondi da 0,3 a 0,5 m ed altrettanto larghi, ove vengono sistemate orizzontalmente le fascine di ramaglia, prelevate da specie legnose con buona capacità di propagazione vegetativa. E' sufficiente che in ogni sezione trasversale della fascina siano presenti 5 verghe di almeno 1 cm di diametro, con punti di legatura distanti 70 cm uno dall'altro. La costruzione avviene fissando le fascine di ramaglia con paletti in legno vivo (pioppi o salici) o morto (castagno, larice, ecc.) lunghi almeno 60 - 100 cm e diametro compreso fra 5 e 10 cm, infissi nel terreno attraverso la fascina od a valle di essa. Lo scavo è quindi ricoperto con un leggero strato di terreno proveniente dagli scavi dei fossi superiori. Le file di gradoni con le fascine di ramaglia sono eseguite orizzontalmente, secondo le curve di livello o con una leggera inclinazione obliqua rispetto al pendio per aumentare la capacità di deflusso delle acque superficiali e l'efficacia drenante del sistema. La distanza tra file successive si aggira mediamente intorno a 1,5- 2 m. Una variante di questo sistema, applicata dove si richiede una maggiore efficacia consolidante dell'intervento, prevede l'associazione delle fascine con viminate.

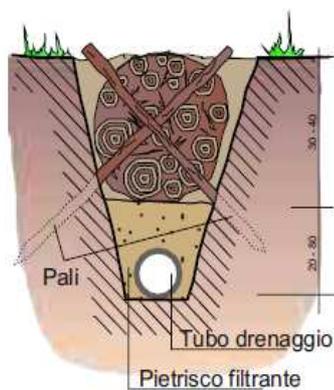
### Fascinata viva con piantine

Nella variante con piantine radicate di specie arbustive, l'esecuzione dell'intervento comporta alcuni accorgimenti e procedure diverse da quelle della tecnica precedente. Infatti le fascine di ramaglia sono più leggere e con meno verghe (3-6), i solchi sono più larghi di circa 10-15 cm e le piantine radicate sono messe a dimora in numero di circa 1 -2 esemplari per metro. Il solco, dopo la messa a dimora delle fascine e delle piantine, è riempito con il terreno, eventualmente ammendato, proveniente dagli scavi. Le fascinate, come tutti gli altri interventi che impiegano materiali vivi, devono essere realizzate solo durante il periodo di riposo vegetativo.

La fascinata è un sistema di stabilizzazione non indicato negli interventi di sistemazione dei versanti in materiali poco coesivi, in quanto presenta un modesto effetto consolidante in profondità, che avviene solo dopo la radicazione delle verghe e l'attecchimento delle piantine. Inoltre, questa tecnica può essere usata solo su pendii con inclinazioni non elevate (minori di 30°-35°) e in condizioni climatiche non estreme.



Fascinata viva con ramaglia realizzata per il ripristino vegetazionale di una scarpata con pendenza inferiore ai 35°. La struttura forma delle piccole gradonate che consentono di raccogliere il materiale terroso di riporto e lo sviluppo della vegetazione. L'interasse tra i gradoni varia da 1 a 2 metri.

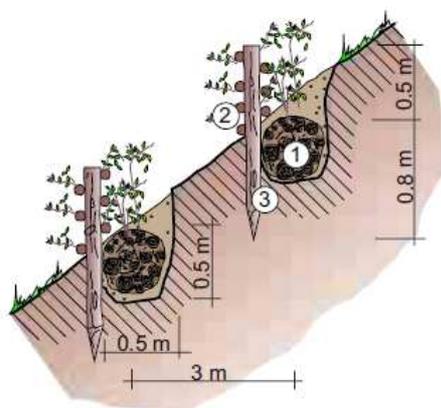


Sezione tipo di un sistema di drenaggio con fascine associato a materiale arido e tubo drenante. La profondità del fosso è maggiore rispetto allo schema tipico delle fascinate (in genere maggiore di 40 cm), sul fondo dello scavo è posto il tubo drenante ed uno strato di pietrisco e/o ghiaia e ciottoli, dello spessore di 20-80 cm, sopra al quale poggia la fascina. Questo sistema si usa quando le acque da drenare e da far defluire si trovano ad una profondità maggiore di 40 cm dalla superficie del terreno.

Disposizione planimetrica delle fascinate. Nei sistemi di drenaggio con fascine i solchi possono essere disposti sul versante:

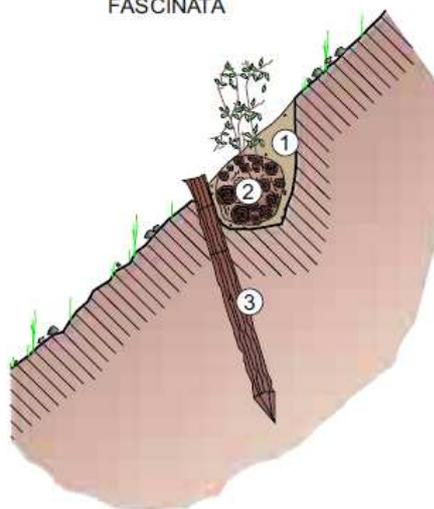
- A) ad "elementi continui", su file parallele con angolo d'inclinazione variabile tra 0° - 20° per evitare ristagni d'acqua;
- B) a disposizione diagonale a formare linee a "zig zag" od "a spina di pesce", con angolo d'inclinazione compreso tra 10° e 30° rispetto all'orizzontale e con sovrapposizione dei tratti interni dei singoli elementi di almeno 50 cm. L'interasse tra file successive varia in funzione della pendenza del versante (da 1,5 a 2,5 m).

FASCINATA  
(con viminata)



- 1 - Fascine con almeno 5 rami di diametro > 1 cm
- 2 - Verghe di salice di diametro: 2-3 cm
- 3 - Paletti di legno di diametro 4-7 cm

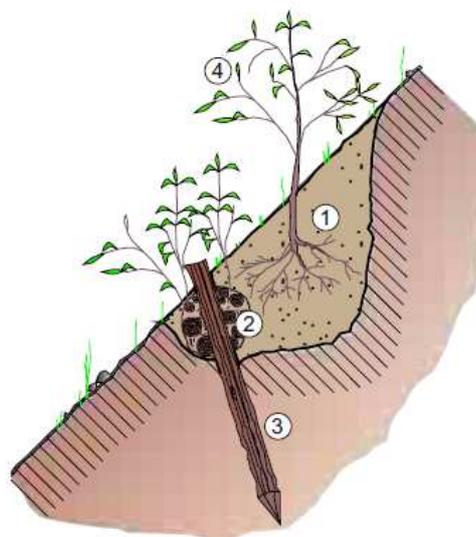
FASCINATA



- 1 - Fosso profondo 30-50 cm e largo altrettanto.
- 2 - Fascine con almeno 5 rami di diametro > 1 cm.
- 3 - Paletti di legno di lunghezza > 60 cm.

FASCINATA  
(CON MESSA ADIMORA DI PIANTINE RADICATE)

Impianto di una fascinata viva su pendio: Le fascine composte da 5-6 verghe di specie pioniere (salici o altro tipo) sono appoggiate orizzontalmente sul fondo dello scavo, profondo circa 30-50 cm ed interrate col materiale di sterro della banchina successiva. L'interasse tra file successive varia da 1,5 a 2 m. Le fascine sono fissate al terreno con paletti di legno (verde o morto) infilati in mezzo ai rami o posti immediatamente a valle degli stessi.



- 1 - Fosso profondo 50 cm e largo altrettanto  
Riempimento con miscuglio di terreno vegetale e di terreno di scavo.
- 2 - Fascine vive con un minimo di 5 rami di diametro > 1 cm.
- 3 - Paletti di legno posti ogni 80-100 cm e di lunghezza > 60 cm.
- 4 - Piantine radicate (densità: 1-2 ogni metro).

### ➤ **Palizzate in legname con talee**

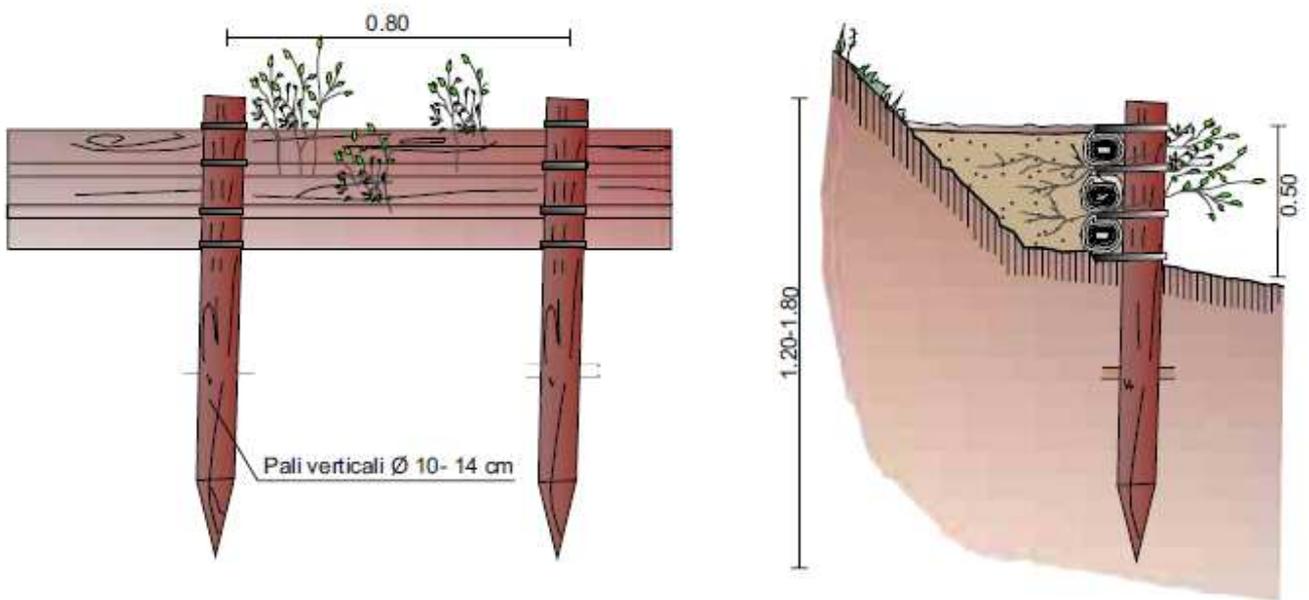
La tecnica della palizzata in legname con talee e/o con piantine è un sistema simile alle viminate, che unisce l'impiego di talee con strutture fisse in legno per la stabilizzazione di pendii e scarpate, naturali o artificiali, in dissesto. Con questo sistema si tende a rinverdire le scarpate attraverso la formazione di piccoli gradoni lineari, sostenuti dalle strutture di legno, che corrono lungo le curve di livello del pendio e dove, a monte, si raccoglie del materiale terroso. Le piante, una volta che la vegetazione si sarà sviluppata, garantiranno un consolidamento del terreno con l'apparato radicale e una resistenza all'erosione superficiale, con la loro parte epigea.

La costruzione della palizzata prevede le seguenti modalità d'esecuzione:

- Preparazione del terreno e modellamento del pendio con formazioni di gradoni, iniziando dal piede della scarpata e procedendo per file parallele verso l'alto, eseguito a mano o con l'ausilio mezzi meccanici di piccole dimensioni ;
- Infissione nel terreno di pali di larice o di castagno, lunghi circa 1,30 m e con diametro di 10-15 cm, posti ad una distanza di 1- 2 m. I pali sono conficcati nel terreno per una lunghezza di 1 m, in modo che restino sporgenti di almeno 30 cm;
- Posa in opera dei mezzi tronchi di larice o di castagno, con diametro di circa 10 cm e lunghezza superiore ai 2 m, aventi la funzione di trattenere il materiale di risulta dello scavo, posto a tergo della struttura, e di garantire la sua stabilità. I mezzi tronchi sono fissati con chiodi o filo di ferro ai pali infissi;
- Messa a dimora, appoggiate sul fondo dello scavo, di talee e/o di piantine radicate disposte a pettine una accanto all'altra con un numero variabile, a seconda delle condizioni pedoclimatiche e della tipologia dell'impianto, da 5 a 10 piante per metro lineare. Queste sono interrate per buona parte della loro lunghezza (per 3/4 le talee, e per circa 2/3-3/4 le piantine) con il terreno dello scavo di riporto del gradone superiore. Per ottenere la massima efficacia di consolidamento del terreno è necessario eseguire l'impianto durante il periodo di riposo vegetativo. In tal caso le talee radicano ed hanno la possibilità di ritenere immediatamente il terreno sul pendio, formando solidi gradoni

Particolare di un tratto della palizzata a lavoro appena ultimato. Alle spalle della struttura (realizzata mediante l'infissione di pali di legno nel terreno e mezzi tronchi fissati con chiodi e filo di ferro ai pali infissi) sono state poste a dimora circa 7- 8 piantine per metro lineare. Il materiale di rinterro è stato arricchito con sostanze organiche per permettere un miglior attecchimento e crescita delle piantine.





PIANTA E PROSPETTO DI UNA PALIZZATA CON TALEE E/O PIANTINE



## ➤ Palificate vive

Le palificate vive con talee e/o con piantine sono impiegate con successo negli interventi di stabilizzazione di pendii e scarpate, naturali o artificiali, in dissesto. Questo sistema favorisce il rinverdimento di pendii attraverso la formazione di strutture fisse in legname, che hanno la funzione di formare delle piccole gradonate a monte delle quali si raccoglie il terreno. In questo modo si crea lungo le curve di livello una struttura più resistente delle viminate, in cui si interrano dei fitti "pettini" di talee e/o di piantine radicate. Lo sviluppo dell'apparato radicale garantisce il consolidamento del terreno, mentre la parte aerea contribuisce a contenere l'erosione superficiale. In funzione della modalità costruttive si distinguono palificate vive in legname o con piantine:

- a parete semplice;
- a parete doppia;

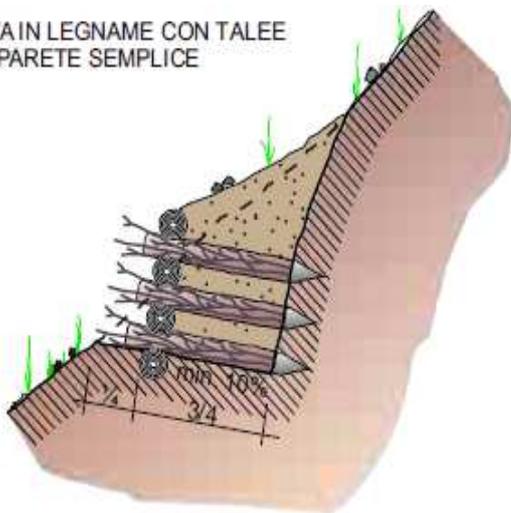
### Palificata a parete semplice:

In questo sistema i tronchi longitudinali sono disposti su di unica fila orizzontale esterna, mentre i tronchi trasversali appoggiano con la parte terminale nella parete dello scavo;

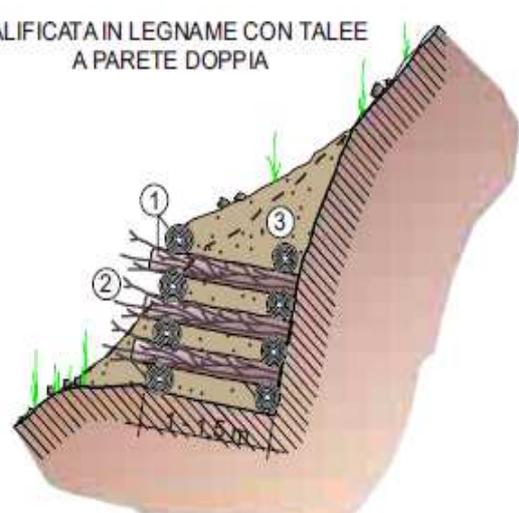
### Palificata a parete doppia:

Con questo sistema la palificata è realizzata disponendo i tronchi longitudinali su due file orizzontali sia all'esterno che all'interno della struttura. La palificata a due pareti necessita di uno scavo di maggiori dimensioni, compensato, però, dalla capacità di resistere a spinte del terreno maggiori, e dalla possibilità di realizzare strutture aventi un'altezza superiore.

PALIFICATA IN LEGNAME CON TALEE  
A PARETE SEMPLICE



PALIFICATA IN LEGNAME CON TALEE  
A PARETE DOPPIA



Sinistra. Schema d'impianto di una palificata in legname con talee e piantine a parete semplice. I tronchi in legname sono posti nello scavo a "L", alternativamente in senso longitudinale ed in senso trasversale, formando una specie di castello di legno. I tronchi sono fissati tra loro con chiodi o fili di ferro. La struttura è riempita con il materiale di risulta dello scavo, procedendo alla messa in opera delle talee e delle piantine radicate.

Destra. Schema d'impianto di una palificata in legname con talee e piantine a parete doppia. In questa variante la palificata è realizzata disponendo i tronchi su due file orizzontali sia all'esterno sia all'interno della struttura, appoggiata alla parete dello scavo.

- 1 - Tondame scortecciato o legname squadrato (diametro: 10-25 cm).
- 2 - Ramaglia viva o talee.
- 3 - Terreno di riporto.

La tecnica d'esecuzione delle palificate comprende le seguenti fasi: nel versante si esegue una serie di scassi a forma di "L", in modo da formare la base d'appoggio della palificata in legname, con una contropendenza trasversale dello scavo pari almeno al 10 - 15%, mentre il paramento a valle deve avere una pendenza di circa il 30-50% per garantire la migliore crescita delle piante. La profondità massima dello scavo, generalmente di circa 2 - 2,5 m, è legata alla lunghezza delle talee, che devono sempre raggiungere la parete. Per altezze superiori a 2,5 m si possono costruire serie di palificate a gradoni. Preparata la base d'appoggio, la palificata è realizzata ponendo in opera il tondame scortecciato o legname squadrato di conifere e/o di castagno (diametro 20-30 cm) alternativamente in senso longitudinale ed in senso trasversale (L = 1,50-2,00 m), in modo da formare una specie di castello in legname. I tronchi sono fissati con chiodi, tondini, graffe metalliche o fili di ferro. Completata la posa di ogni elemento longitudinale ed il riempimento della struttura con il terreno di risulta dello scavo, si procede alla messa a dimora di talee e/o di piantine radicate di specie pioniere, disposte a pettine una accanto all'altra, con un numero variabile, secondo le condizioni pedoclimatiche e della tipologia dell'impianto, da 5 a 10 per metro lineare. Le talee e le piantine devono sporgere per circa 10-25 cm dalla palificata, ed arrivare nella parte posteriore fino alla parete dello scavo, dove queste sono infisse per 15 -20 cm. In alcuni casi, specie in presenza di terreni molto aridi o sassosi, si può arricchire e ammendare il terreno con aggiunta di sostanza organica e/o di compost vegetale. Sul fronte della palificata è anche possibile utilizzare una georete per il contenimento del terreno. Questo sistema, in generale, è utilizzato con successo negli interventi di sistemazione delle frane di tipo superficiale, e nel consolidamento di sponde fluviali in dissesto.



## ➤ Grate vive

La tecnica della grata viva con talee e/o con piantine è una tipologia d'intervento più complessa rispetto ad altri sistemi d'ingegneria naturalistica, ma molto efficace negli interventi di sistemazione, stabilizzazione e rinverdimento di versanti e di scarpate anche con elevata acclività. La grata può essere semplice o doppia in funzione della geometria del corpo di frana.

La tecnica d'esecuzione prevede fasi di lavorazione descritte nel seguito. Al piede del versante si esegue lo scavo di una piccola trincea sul terreno stabile, in modo da formare la base d'appoggio della grata. Questa può essere anche realizzata mediante la posa di tronchi longitudinali di sostegno, o attraverso la costruzione di una palificata in legname con talee. Al disopra della base si costruisce una specie di spalliera a maglie regolari, formata da elementi verticali ed orizzontali (tondi di legno), con una lunghezza di circa 2-5 m, e diametro di 15-25 cm. Gli elementi verticali sono quelli portanti con distanza di 1-2 m, mentre gli elementi orizzontali, fissati con chiodi o altro ai primi e con interdistanza di 0,40 - 1,00 m, possono avere dimensioni minori, e densità maggiore (in funzione dell'inclinazione del pendio) rispetto a quelli verticali. La struttura è fissata al substrato stabile mediante l'infissione di picchetti di legno lunghi 1 metro circa. Si procede, poi, al riempimento dei riquadri con materiale inerte e terreno vegetale ed alla messa a dimora di talee, ramaglia disposta a strati e/o piantine radicate di specie pioniere, con l'eventuale supporto di rete metallica elettrosaldata per il contenimento del terreno fine. La superficie esterna della struttura può essere inerbata per una migliore resistenza all'erosione. L'altezza massima che è possibile raggiungere non supera in genere i 15-20 m. La struttura può essere realizzata in legno vivo (salice) per pendii di altezza limitata, oppure con filagne di legname resistente alla decomposizione (larice, castagno) negli altri casi. Al fine di prevenire eventuali infiltrazioni di acqua da monte, che potrebbero creare problemi di erosione e portare allo scalzamento della struttura, è necessario realizzare una canalizzazione o una impermeabilizzazione della testa della grata con carta incatramata opportunamente ancorata.

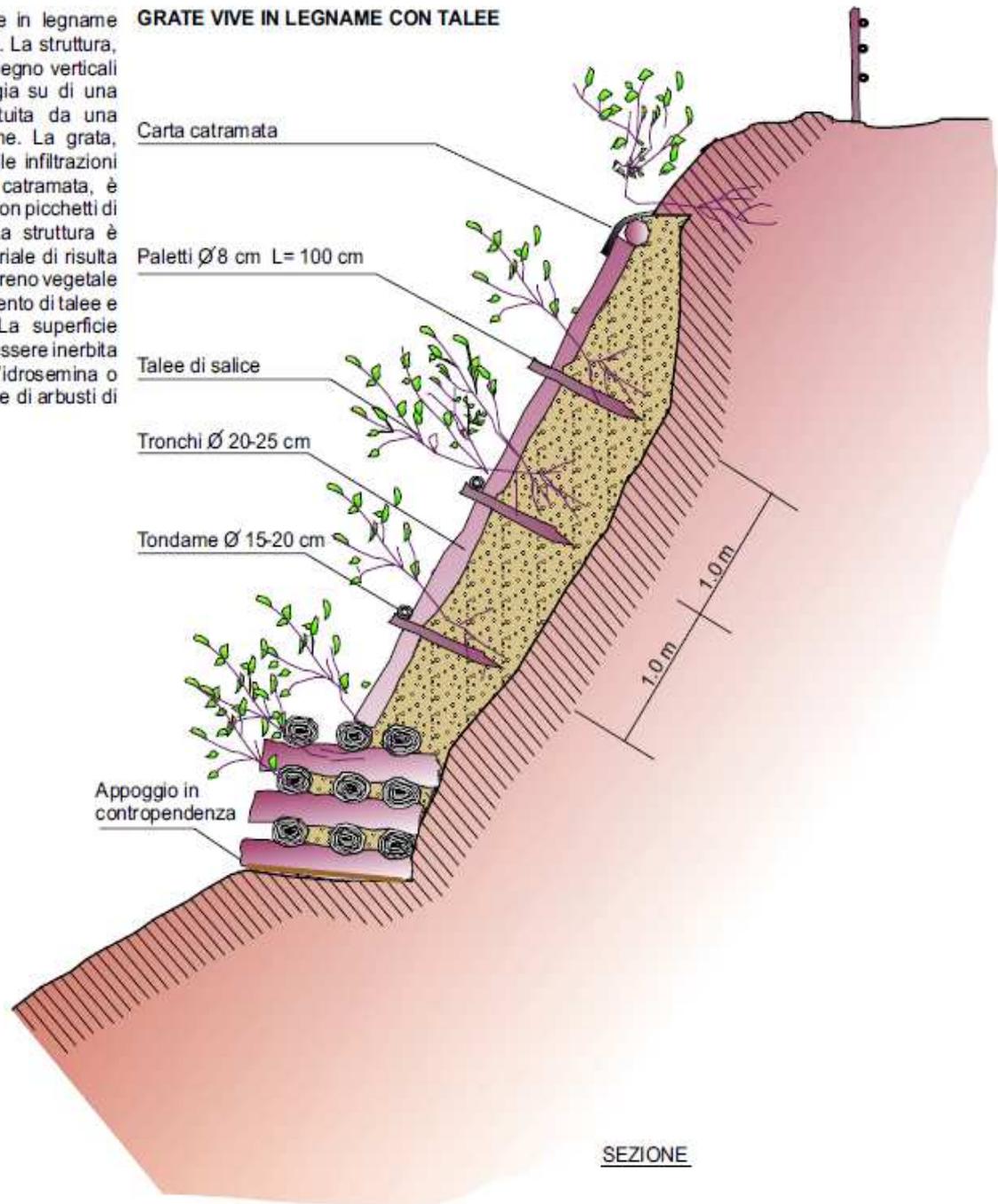
Consolidamento di una scarpata con acclività elevata (maggiore di 40°) interessata da frane superficiali, mediante l'esecuzione di una grata in legname con talee semplici. Questo sistema è indicato negli interventi con tecniche d'ingegneria naturalistica, per il consolidamento ed il rinverdimento rapido di pendii o scarpate interessate da movimenti franosi e da fenomeni di erosione superficiale, dove non è possibile intervenire con altri sistemi, quali ad esempio la gradonatura o il modellamento del pendio.



La grata viva è un sistema utilizzato con successo negli interventi di sistemazione e stabilizzazione di pendii in erosione o in frana, caratterizzati da inclinazione molto elevata (anche maggiore di 45°), dove non è possibile ridurre la pendenza con il modellamento dei versanti. Questo sistema garantisce, al tempo stesso, un'efficace azione di sostegno ed una protezione dall'erosione superficiale.

Grata viva semplice in legname con talee e piantine. La struttura, formata da tondi di legno verticali ed orizzontali, poggia su di una base stabile, costituita da una palificata in legname. La grata, protetta in testa dalle infiltrazioni d'acqua con carta catramata, è fissata al substrato con picchetti di legno o di ferro. La struttura è riempita con il materiale di risulta dello scavo e con terreno vegetale idoneo all'attecchimento di talee e piantine radicate. La superficie esterna può anche essere inerbita con le tecniche dell'idrosemina o con la piantumazione di arbusti di specie autoctone.

#### GRATE VIVE IN LEGNAME CON TALEE



### **3. Opere di sostegno:**

Le opere di sostegno sono interventi il cui utilizzo è finalizzato a risolvere una serie di situazioni in cui il ruolo della statica diventa predominante negli interventi delle opere strutturali. Negli ultimi anni le tecniche dell'ingegneria civile sono state ampiamente utilizzate nella sistemazione dei versanti, qualche volta anche violentando il paesaggio. Oggi si tende a diversificare le tecniche d'intervento, usando di più le tecnologie naturalistiche e di meno il cemento, cercando inoltre di progettare l'opera con qualità formali che tengano conto dell'ambiente in cui sono inserite. Queste strutture sono impiegate negli interventi di sistemazione e consolidamento dei versanti in frana e nella realizzazione di un'ampia gamma di opere di ingegneria per stabilizzare e/o sostenere terreno o altro materiale, quando per cause naturali o artificiali, quali scavi e riporti, si hanno condizioni che non permettono al terreno di assumere la sua naturale pendenza d'equilibrio.

Le opere di sostegno possono essere rigide o flessibili in relazione alla capacità di adattarsi alle deformazioni e/o cedimenti dei terreni o degli ammassi rocciosi, senza rotture o danni significativi. Negli ultimi anni si sono diffuse alcune categorie di opere di sostegno e di consolidamento speciali che rispondono all'esigenza di minimizzare l'impatto degli interventi sull'ambiente e di favorire il ripristino naturale dell'area.

#### **➤ Muri cellulari**

I muri cellulari a gabbia o "Cribb Walls" sono delle opere di sostegno speciali formate da una maglia rettangolare di elementi prefabbricati, in conglomerato cementizio armato e vibrato o in legname opportunamente trattato con prodotti protettivi. Le strutture così formate sono riempite da materiale granulare incoerente. Questa struttura rappresenta la riscoperta in chiave moderna dei tradizionali muri di sostegno realizzati mediante maglie tridimensionali di tronchi riempite con pietrame, diffuse nelle vallate alpine.

Questa tecnica, i cui primi brevetti sono stati depositati negli Stati Uniti D'America agli inizi degli anni '60, è stata ampiamente utilizzata in numerose opere nel mondo. I muri cellulari sono delle strutture resistenti ed allo stesso tempo molto flessibili, in grado di contrapporsi con efficacia ad assestamenti e/o cedimenti del piano di posa o del terreno a tergo, dovuti a fenomeni erosivi o a fenomeni franosi. La struttura modulare e la forma degli elementi conferiscono all'opera una notevole capacità di adattamento geometrico alle diverse conformazioni planoaltimetriche del terreno, specie in territori collino-montani o in interventi di sistemazione in alveo e difese di sponda, consentendo la realizzazione di interventi anche di ridotte dimensioni, in zone di difficile accesso e in tratti curvilinei con raggi di curvatura molto ristretti. L'altezza di tali strutture, variabile a seconda delle necessità, in genere non supera i 4-5 metri.

Il paramento esterno può essere, in funzione delle necessità, verticale o con scarpa inclinata. La tipologia del paramento esterno può essere modificata, per minimizzare l'impatto ambientale e migliorare l'aspetto estetico, inserendo delle apposite vaschette (fioriere) riempite di terreno vegetale, in modo da favorire l'attecchimento della vegetazione nella struttura. In questi casi occorre

scegliere bene le specie vegetali da innestare e provvedere spesso ad adeguati sistemi di irrigazione per far fronte ai periodi secchi. Dal punto di vista statico i muri cellulari agiscono come i muri a gravità, opponendosi col proprio peso alle sollecitazioni cui sono sottoposti.

Nel caso di terreni di fondazione sufficientemente stabili e dotati di discrete capacità portanti, i muri cellulari non necessitano di fondazioni profonde o di particolari opere di sottofondazione. In caso contrario si può procedere ad una adeguata preparazione e stabilizzazione del piano di posa, mediante operazioni di miglioramento delle caratteristiche tecniche dei terreni in situ (compattazione del piano di posa, asportazione, miscelazione e/o sostituzione del materiale in posto con altro di idonee qualità, realizzazione di una soletta di calcestruzzo ecc.). In presenza di terreni poco consistenti, eterogenei e particolarmente cedevoli, con spessore elevato ( maggiori di 3-4 metri), può essere necessario ricorrere a fondazioni speciali come ad esempio un basamento in calcestruzzo armato fondato su micropali.

Le modalità costruttive ed i tipi di materiali impiegati per la costruzione dei muri cellulari riducono notevolmente gli effetti negativi che tali opere di ingegneria (molto efficaci dal punto di vista tecnico) possono avere sull'ambiente in cui sono inserite.

I muri con elementi prefabbricati in legno sono quelli che meglio si inseriscono nel contesto estetico paesaggistico degli ambienti montani boscosi. I muri cellulari formati da elementi prefabbricati in calcestruzzo armato hanno un maggior impatto visivo, mitigato in parte dalla possibilità di rinverdimento del paramento esterno con vegetazione, spontanea o innestata artificialmente, e dall'utilizzo di elementi con forme e colorazioni che si integrano meglio dal punto di vista architettonico-paesaggistico nell'ambiente urbano o naturale.

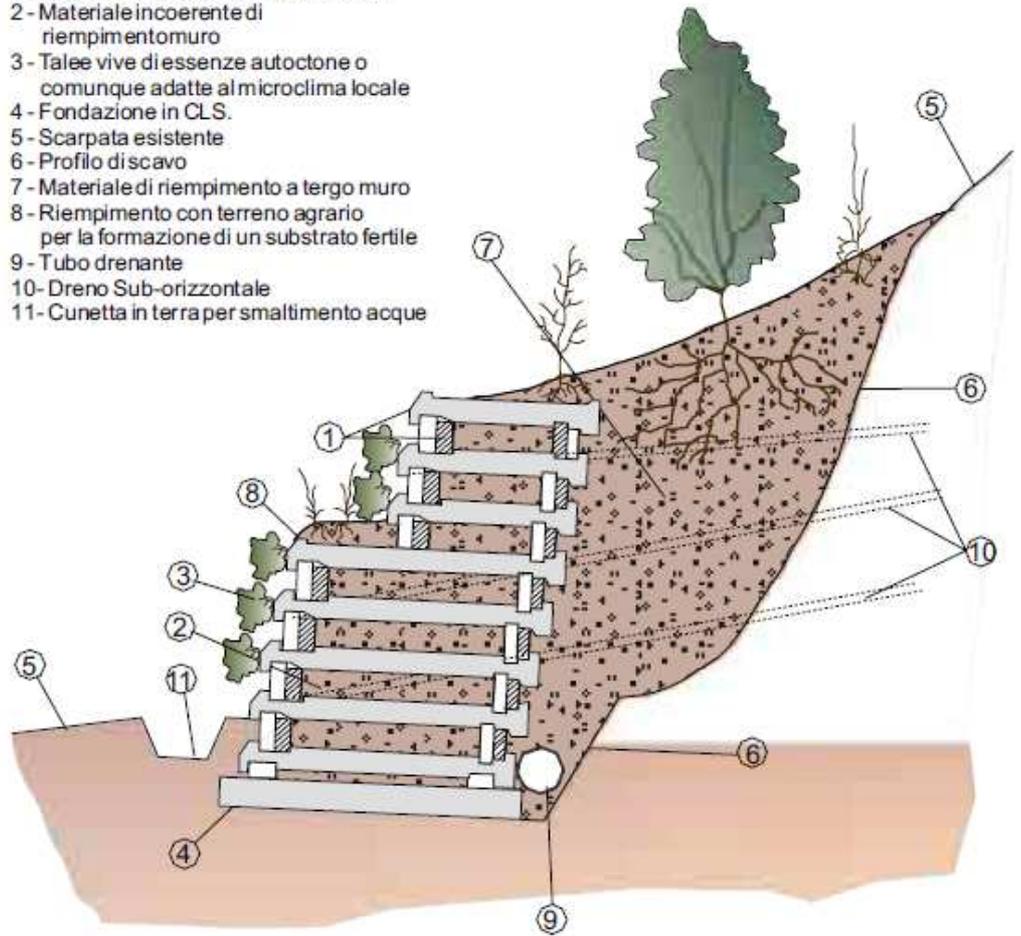
Impiego di muri cellulari come opere di protezione delle sponde dall'erosione fluviale nell'ambito degli interventi per la sistemazione idrogeologica dei versanti dissestati. In questi casi il paramento esterno è formato da elementi antiurto particolarmente rinforzati.



Sezione tipica di un muro cellulare costituito da elementi prefabbricati in c.a. Gli elementi prefabbricati sono costituiti da travi ad incastro. La struttura a "gabbia" o "celle" si ottiene sovrapponendo in modo alternato ed ortogonale gli elementi stessi in modo da ottenere una griglia tridimensionale. La struttura così ottenuta è riempita con materiale di riporto, preferibilmente costituito da terreni a comportamento granulare con buone capacità drenanti, disponibile in loco o proveniente da cave di prestito. Il materiale deve avere una frazione di fino limoso - argilloso pari almeno al 10%-25% per consentire lo sviluppo della vegetazione naturale o artificiale ed il rinverdimento del paramento esterno, e deve essere ben addensato con idonei mezzi meccanici per ottenere una buona esecuzione ed efficacia dell'opera di sostegno. Il paramento frontale può presentare un andamento lineare continuo oppure delle gradonature al disopra del quale è posto del terreno vegetale per favorire lo sviluppo della copertura vegetale ed ottenere un migliore inserimento ambientale dell'opera. L'inserimento di dreni sub-orizzontali nel terreno e nella struttura assicura un migliore drenaggio delle acque di falda.

#### LEGENDA

- 1 - Elementi prefabbricati in c.a. vibrato
- 2 - Materiale incoerente di riempimento muro
- 3 - Talle vive di essenze autoctone o comunque adatte al microclima locale
- 4 - Fondazione in CLS.
- 5 - Scarpata esistente
- 6 - Profilo di scavo
- 7 - Materiale di riempimento a tergo muro
- 8 - Riempimento con terreno agrario per la formazione di un substrato fertile
- 9 - Tubo drenante
- 10 - Dreno Sub-orizzontale
- 11 - Cunetta in terra per smaltimento acque



### ➤ **Terre rinforzate**

Negli ultimi anni le tecniche di rinforzo delle terre hanno avuto un largo sviluppo nella realizzazione di strutture in grado di assolvere sia le funzioni di opere di sostegno e di contenimento sia di rispondere alle esigenze della salvaguardia ambientale e del corretto inserimento paesaggistico-ambientale dell'opera. La tecnologia delle terre rinforzate rappresenta la ripresa ed il perfezionamento, in chiave moderna, di un sistema di miglioramento delle caratteristiche del terreno che ha origini antichissime. Sembra infatti che i primi esempi di applicazione di questo sistema di costruzione, di cui si hanno testimonianze archeologiche, risalgano a circa tremila anni dal presente, quando i Babilonesi utilizzarono letti di rami di palma con funzioni di rinforzo nei terreni di fondazione, particolarmente compressibili, degli "Ziggurat". Numerose altre testimonianze dell'impiego di materiali di vario tipo (come giunchi, bambù, pelli di animali, legname) come elementi di rinforzo per la realizzazione di opere in materiali sciolti, si ritrovano nell'antichità presso i cinesi, i giapponesi i romani.

In tempi recenti sono state messe a punto e perfezionate nuove tecniche del rinforzo delle terre. Infatti il moderno concetto di terreno rinforzato è sorto in Francia nel 1963 da un'idea di Henry Vidal, che ha messo a punto e brevettato un sistema di costruzione di terra rinforzata denominato "Terra armata". Negli anni settanta, per questa applicazione, hanno cominciato a diffondersi i geosintetici ed altre tecnologie, oggi ampiamente sperimentate in tutto il mondo, che offrono prestazioni molto interessanti sotto vari aspetti: tecnici, economici ed ambientali.

Tutti questi sistemi si basano sul principio di migliorare le caratteristiche meccaniche del terreno conferendogli resistenza a trazione. I terreni sono caratterizzati da una resistenza a compressione significativa, che dipende dalle loro caratteristiche intrinseche ed dalla loro storia tensionale, ma non possiedono resistenza a trazione. Mediante l'inserimento nei terreni di elementi dotati di resistenza a trazione se questi sono in grado di interagire con il mezzo in cui sono immersi, il risultato è un sistema composito dotato di caratteristiche meccaniche superiori rispetto a quelle del solo terreno. E' molto importante considerare che l'efficienza dei rinforzi dipende in maniera essenziale non solo dalla resistenza che possono mobilitare all'interno del sistema, ma anche dalle deformazioni necessarie a fornire tale contributo: se le deformazioni non sono compatibili con la funzionalità della struttura i materiali in questione non sono utilizzabili come rinforzi. I materiali oggi disponibili sul mercato sono numerosi, con caratteristiche meccaniche e di durabilità che possono essere anche molto diverse. Poiché nella normativa italiana i riferimenti ai criteri di progettazione di queste opere sono piuttosto generici (si prescrivono verifiche di stabilità interna che prendano in considerazione i rinforzi e verifiche di stabilità come opera di sostegno) è opportuno ricordare che la progettazione corretta di questo tipo di strutture non potrà prescindere dalle seguenti considerazioni:

- Definire la resistenza del rinforzo considerando gli effetti del danneggiamento, aggressione fisico-chimica-biologica, effetti degli allungamenti dovuti a deformazioni viscosi (creep). La resistenza andrà scelta in relazione alla vita di progetto dell'opera;

- Definire quali saranno le caratteristiche di interazione del geosintetico sia in relazione all'estrazione dal terreno che allo scivolamento di questo sul rinforzo (per geogriglie e geotessuti);
- Definire le caratteristiche di resistenza al taglio e di compressibilità del terreno che si dovrà usare per la costruzione dell'opera. Questo normalmente comporta l'individuazione della granulometria e delle modalità di addensamento del terreno (umidità ed energia di compattazione);
- Definire il tipo di paramento e nel caso di terre rinforzate rinverdibili prevedere sempre un inerbimento adeguato e quando possibile (se non vi sono interferenze con altre strutture) imporre l'inserimento di piante arbustive nella struttura;
- Condurre verifiche di stabilità interna e d'insieme struttura-terreno adiacente.

Nel caso di opere con paramento subverticale (inclinazione sull'orizzontale compresa tra 70° e 60°) eseguire anche le verifiche richieste per le opere di sostegno a gravità: scivolamento sulla base, ribaltamento e schiacciamento. L'applicazione di questi criteri nella progettazione consentirà di realizzare strutture sicure sotto il profilo ingegneristico ed in grado di inserirsi in maniera ottimale nell'ambiente e nel paesaggio

Le tipologie di materiali che vengono usate per il rinforzo dei terreni sono:

#### Rinforzi metallici

- inestensibili quali strisce d'acciaio nervate e barre d'acciaio zincate
- estensibili quali reti a doppia torsione in trafilato d'acciaio protetto con galfan e plastica.

#### Rinforzi geosintetici

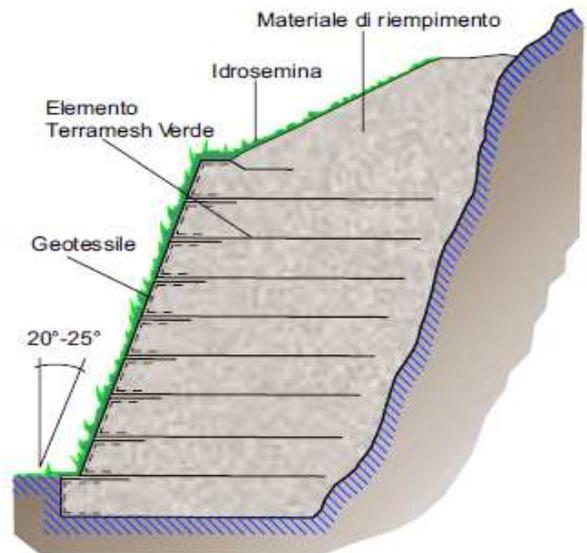
- tessuti in polipropilene
- geogriglie estruse in HDPE o polipropilene
- geogriglie a nastri in poliestere protette con LDPE
- geogriglie tessute in poliestere protetto con PVC o EVA

L'opera viene realizzata stendendo e compattando il terreno in strati orizzontali spessi 25-30 cm. A quote definite dal progetto vengono posti i rinforzi, secondo lunghezze che dipenderanno dal dimensionamento della struttura. La stabilità locale a breve termine (durante la compattazione) e lungo termine in corrispondenza del paramento esterno, potrà essere garantita in vari modi:

- Paramento verticale costituito da piastre in calcestruzzo armato o blocchetti di calcestruzzo prefabbricati
- Paramento verticale costituito da scatolare in rete metallica a doppia torsione riempito di pietrame ed in continuità con il rinforzo di ancoraggio.
- Paramento inclinato rinverdibile realizzato risvoltando il rinforzo e mediante un cassero di contenimento ed irrigidimento in rete metallica a elettrosaldata, dotato di elemento antiersivo costituito da biostuoia o geostuoia.
- Paramento inclinato realizzato risvoltando il rinforzo ed associando un elemento antiersivo. Durante la compattazione si userà un cassero mobile per impedire il franamento del terreno o se l'inclinazione del paramento è bassa si potrà compattare la scarpata con la benna dell'escavatore e risvoltare.

Le opere che si potranno realizzare con i sistemi descritti sopra saranno tutte caratterizzate da estrema flessibilità e quindi particolarmente adatte alle applicazioni di stabilizzazione dei versanti. Le terre rinforzate a seconda dei sistemi utilizzati potranno inoltre essere permeabili all'acqua ed alla vegetazione.

Consolidamento di una pendice sottostante all'abitato di S. Mango sul Calore (Avellino) con una struttura in "Terramesh." verde. L'intervento ha comportato una preventiva sistemazione dell'asta torrentizia al piede della pendice, mediante salti di fondo e rivestimenti in gabbioni. L'uso di bancate in "Terramesh." verde ha permesso la realizzazione dello strato esterno in suolo rinforzato necessario per la stabilità, consentendo di mantenere l'andamento preesistente del terreno, caratterizzato da una pendenza media di 45°. Una biostuoia è stata utilizzata per la ritenzione della frazione fine dei terreni sul paramento esterno. L'intervento complessivo ha previsto un'alternanza di zone consolidate con in terra rinforzata e di opere di sola protezione superficiale tramite graticciate.



## ➤ **Gabbionate**

Le gabbionate sono strutture di sostegno modulari formate da elementi a forma di parallelepipedo in rete a doppia torsione tessuta con trafilato di acciaio riempite con pietrame. Questo tipo di struttura è nata in Italia ed ha avuto ampia diffusione, soprattutto come opera di sostegno e drenaggio, negli interventi di consolidazione e sistemazione di versanti instabili e in altri settori dell'ingegneria civile. La struttura modulare, a forma di parallelepipedo, è realizzata con tecniche costruttive semplici e rapide. Le reti metalliche sono costituite in filo di acciaio protetto con zincatura forte o con lega di zinco-alluminio (galvan) ricoperto da una guaina in PVC per aumentare la resistenza alla corrosione.

Per il riempimento dei gabbioni possono essere utilizzati i materiali lapidei e disponibili in loco o nelle vicinanze, purché abbiano caratteristiche granulometriche e peso specifico tali da soddisfare le esigenze progettuali e garantire l'efficienza dell'opera. I materiali più comunemente usati sono costituiti da materiale detritico di grossa pezzatura, alluvionale o di cava (ciottoli, pietrame).

Il pietrame deve essere non gelivo, non friabile e di buona durezza. Le gabbionate devono essere riempiti con cura utilizzando pezzature di pietrame diversificate in modo da minimizzare la presenza di vuoti.

Dal punto di vista statico le gabbionate agiscono come un muro a gravità, opponendosi col proprio peso alle sollecitazioni cui sono sottoposte. Il loro dimensionamento e le verifiche di stabilità interna ed esterna sono pertanto eseguiti secondo gli usuali metodi di calcolo adottati per le opere di sostegno a gravità (Coulomb, Rankine, metodo dell'equilibrio limite).

Le gabbionate sono delle strutture permeabili, resistenti ed allo stesso tempo molto flessibili in grado di resistere, senza gravi deformazioni dei singoli elementi, ad assestamenti e/o cedimenti del piano di posa o del terreno a tergo dovuti a fenomeni erosivi o a fenomeni franosi, o a scosse sismiche. La struttura modulare e la forma degli elementi conferiscono all'opera una notevole capacità di adattamento alle diverse conformazioni plano-altimetriche del terreno, specie in territori collino-montani o in interventi di sistemazione in alveo e difese di sponda, consentendo la realizzazione di opere anche di ridotte dimensioni ed in zone di difficile accesso.

Le gabbionate sono una valida soluzione per la realizzazione di opere di sostegno in diversi contesti, da quello urbano a quello fluviale e collinare montano, dove occorre tener conto sia delle esigenze tecniche per le quali l'opera è stata costruita, sia della necessità di avere un buon inserimento ambientale. Le tecniche costruttive, i materiali, le caratteristiche tecniche e meccaniche intrinseche della struttura, la facilità di inerbimenti e di sviluppo della vegetazione erbacea ed arbustiva consentono di mitigare l'impatto ambientale e gli effetti negativi di natura estetica sul paesaggio circostante, favorendo, al tempo stesso, il ripristino naturale e/o la formazione di ecosistemi locali.

Le gabbionate sono impiegate come opere di sostegno e di contenimento in interventi quali:

- pronto intervento per il ripristino in tempi brevi della viabilità o altre infrastrutture interrotte;

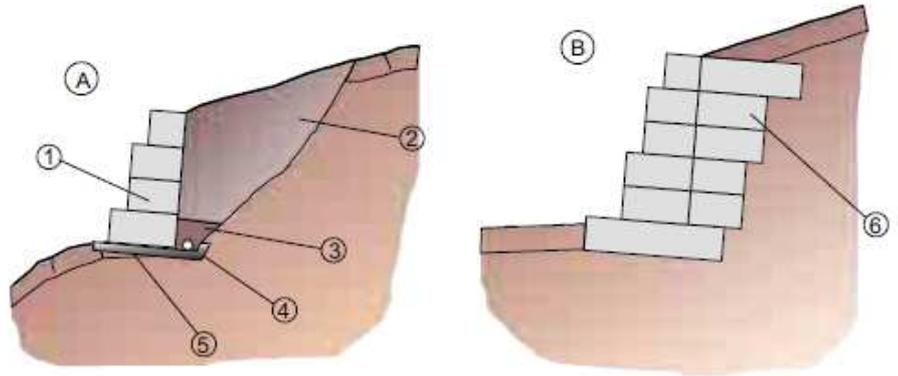
- sistemazione e stabilizzazione di pendii in frana, regimazione idrica superficiale e ricostituzione della copertura vegetale;
- protezione delle sponde fluviali dall'erosione ed arginature, realizzazione di briglie per la regimazione dei corsi d'acqua torrentizi;
- muri di sostegno, di sottoscampa e di controripa nella costruzione di varie infrastrutture stradali e ferroviarie ;
- barriere paramassi (valli) e/o paravalanghe.



Fase di assemblaggio di un materasso in rete a doppia torsione per la sistemazione di un tratto fluviale.



- 1 Muro in gabbioni
- 2 Riempimento a tergo
- 3 Vespaio drenante
- 4 Tubo drenante
- 5 Soletta di fondazione
- 6 Sperone drenante



Drenaggio dei terreni a tergo di una struttura di sostegno in gabbioni. I gabbioni sono molto permeabili e garantiscono un ottimo drenaggio del terreno. Negli interventi di sistemazione e stabilizzazione di versanti in frana (A), per migliorare l'azione drenante alla base del muro viene posizionata uno strato di materiale drenante (vespaio) ed una soletta in calcestruzzo, sagomata in modo tale da raccogliere ed allontanare le acque di falda anche con l'aiuto tubi drenanti. I gabbioni possono anche essere usati come speroni drenanti (B) associati a strutture di sostegno anche esse realizzate con gabbionature.

Intervento di ricostituzione di un versante prospiciente un torrente. Al piede della scarpata è stata realizzata una gabbionatura a gradoni con il duplice effetto di costituire una base stabile al terrapieno in terra rinforzata e di fornire la difesa all'erosione nel caso di piene. Nella foto sotto, lo stesso terrapieno alcuni mesi dopo il rinverdimento eseguita con idrosemina.



#### **4. Opere di sostegno:**

Le opere di drenaggio superficiali sono interventi eseguiti immediatamente dopo il verificarsi di un evento franoso per la regimazione ed il drenaggio delle acque superficiali e per la sistemazione del pendio instabile. In genere i drenaggi superficiali comprendono: canalette superficiali, fossi di guardia, dreni intercettori, riprofilatura dei versanti per eliminare le depressioni presenti, sigillatura ed impermeabilizzazione delle fessure beanti.

Canalette superficiali: sono fra le opere di drenaggio più frequentemente utilizzate negli interventi di sistemazione di aree dissestate con l'obiettivo di captare e allontanare le acque superficiali, non solo quelle provenienti dalle precipitazioni o dalle emergenze idriche ma anche quelle stagnanti entro eventuali depressioni. La disposizione delle canalette superficiali, realizzate sia all'interno che all'esterno dell'area dissestata, può essere trasversale o longitudinale rispetto al pendio. In funzione delle modalità costruttive e del materiale di costruzione si possono avere vari tipi di canalette quali quelli descritti nel seguito.

Canalette in terra: sono realizzate eseguendo uno scavo a sezione trapezoidale e possono essere presidiate o non presidiate. In genere le opere di presidio sono necessarie laddove la pendenza è elevata e le caratteristiche del terreno non garantiscono la funzionalità delle stesse (erosione, interrimento ecc.).

Canalette in legname e pietrame: a sezione trapezoidale, sono realizzate con un intelaiatura di pali di legname idoneo e rivestendo il fondo con uno strato di pietrame posto a mano, di circa 20 cm di spessore. Anche per questo tipo di opera è necessario eseguire adeguate opere di presidio.

Canalette prefabbricate in calcestruzzo: sono costituite da elementi (embrici), a forma di trapezio e di ampiezza variabile in modo che l'elemento di monte si incastri, con la parte più stretta, in quello di valle con una piccola sovrapposizione. Gli elementi della canaletta sono posizionati all'interno di uno scavo avente la stessa forma e debitamente costipato per evitare cedimenti. Le canalette rivestite con elementi prefabbricati in calcestruzzo sono impiegate nei casi in cui la pendenza superi il 10% a causa della loro stabilità rispetto ad eventuali movimenti del corpo di frana.

Canalette con rivestimento rigido in calcestruzzo: di forma e sezione simile alle precedenti, sono usate se la pendenza dell'opera è minore del 10%.

Canalette prefabbricate in lamiera: sono generalmente costituite da elementi di forma semicircolare in acciaio ondulato nervato, di spessore minimo di 2 mm, e devono essere ben incassate nel terreno. Data la tendenza, con il tempo, a scollarsi dal terreno incassante, è preferibile disporre le canalette secondo la linea della massima pendenza.

Fossi di guardia: sono realizzanti eseguendo scavi con sezione ad U o trapezoidale, immediatamente a monte della nicchia di distacco in modo da intercettare le acque correnti superficiali lungo il versante ed allontanarle dall'area instabile. Lo scavo ha, in genere, un rivestimento rigido in calcestruzzo.

Dreni intercettori: sono realizzati immediatamente a monte della nicchia di distacco ed a valle del fosso di guardia. I dreni sono realizzati eseguendo uno scavo, spinto in profondità fino ad intercettare l'eventuale superficie

piezometrica della falda, e parzialmente riempite da materiale drenante. Il corpo drenante è costituito in genere da ghiaia pulita separata dalle pareti e dal fondo dello scavo da tessuto non tessuto. La raccolta e l'allontanamento delle acque dal dreno è garantito da un tubo fessurato in PVC.

Riprofilatura del versante: questi interventi consistono in movimenti di terra aventi lo scopo di eliminare le depressioni o le altre forme presenti nel versante in frana che sono sede di ristagno d'acqua e, più in generale, favorire il drenaggio delle acque di precipitazione. Le acque intercettate sono allontanate dall'area dissestata e convogliate negli impluvi naturali mediante canalette.

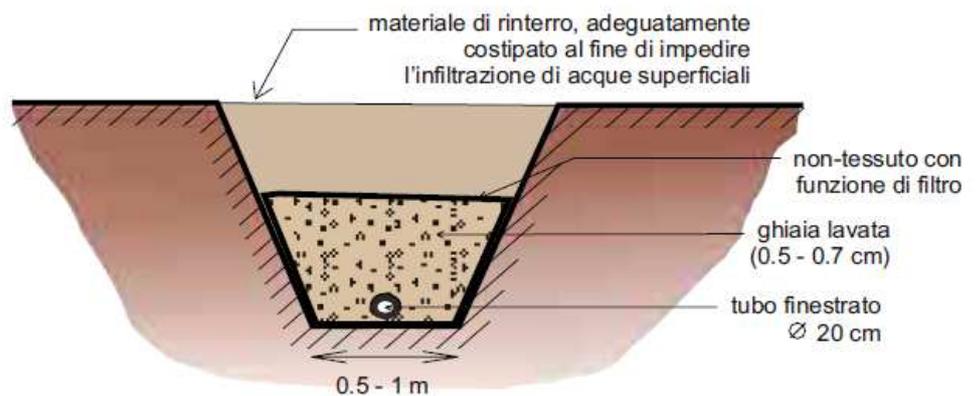
Sigillatura ed impermeabilizzazione delle fessure beanti : le fessure beanti, presenti soprattutto nella parte alta dell'area in frana, sono una delle più importanti vie di infiltrazione delle acque meteoriche superficiali in profondità. Il materiale utilizzato per la sigillatura e l'impermeabilizzazione è preferibilmente costituito da argilla, adeguatamente costipata. Anche in questo caso occorre completare il sistema con un adeguato drenaggio superficiale per intercettare le acque provenienti da monte che potrebbero essere convogliate verso le fratture.

#### ➤ **Trincee drenanti**

Le trincee drenanti sono delle strutture allungate disposte in genere parallelamente alla linea di massima pendenza del versante, con profondità limitate, possono raggiungere i 4-6 m, e larghezze di poco inferiori o superiori al metro (0.80 - 1.20). L'impiego di questo sistema di drenaggio è stato, ed è tuttora, molto diffuso, avendo notizie del suo utilizzo fin dall'antichità. Cunicoli, trincee riempite con materiale drenante, misto talora a fascine, sono state realizzate sia dai Romani sia, in epoche più antiche, dai Babilonesi, Egiziani, Greci ed Etruschi. In epoca più recente l'aspetto innovativo di questa tecnica è rappresentato soprattutto dalla possibilità di raggiungere profondità di drenaggio maggiori, anche fino a 10 - 12 m, senza dover ricorrere a scavi di cunicoli e gallerie, dalla rapidità di esecuzione e dal perfezionamento delle tecniche costruttive, volte a garantire l'efficienza e la durata nel tempo dell'azione drenante e consolidante di queste strutture. Le modalità di esecuzione delle trincee drenanti sono diverse in funzione della profondità e delle diverse situazioni litologiche ed idrogeologiche locali. Le trincee devono essere scavate con attenzione, a piccoli tratti, procedendo da valle verso monte in modo che, anche se costruite parzialmente, esse possano esercitare la loro azione drenante già in fase di costruzione. Il fondo dello scavo può avere una pendenza uniforme in caso di versanti poco inclinati ( $10^{\circ}$ - $15^{\circ}$ ), mentre nel caso di pendii maggiormente inclinati o di trincee molto estese in lunghezza, si procede alla gradonatura del fondo scavo. Sul fondo della trincea può essere installata una canaletta in calcestruzzo sopra la quale è posto un tubo (PVC, PE, metallico o in cemento). Al disopra della canaletta e del tubo di raccolta è posto il corpo drenante: questo può essere formato da un filtro in terreno naturale, o in alternativa da geotessili. Nel primo caso il materiale drenante è costituito da ghiaia e sabbia pulita, con scarso fino (non maggiore del 3% in peso) ricoperto da uno strato sommitale di terreno vegetale, con spessore di circa 0.5 m. Nel secondo caso il corpo drenante è formato da uno strato di ghiaia (5 - 20 mm) pulita, completamente avvolto con un

telo di tessuto non tessuto posto a contatto col terreno da drenare. Al disopra di questo il riempimento della trincea è completato da uno strato di sabbia e dallo strato sommitale di terreno vegetale. Queste opere sono un efficace sistema di drenaggio profondo delle acque di infiltrazione e di quelle della falda. L'abbattimento della quota piezometrica della falda e la diminuzione del contenuto d'acqua nel terreno consentono di ottenere una sensibile riduzione delle pressioni interstiziali ed un aumento della coesione, migliorando le condizioni di stabilità del pendio.

Sezione trasversale tipo di una trincea drenante realizzata con l'uso di un geotessile. L'uso del geotessile consente, in questo caso, di ridurre notevolmente i tempi di realizzazione della trincea a parità di efficacia.



Stabilizzazione di un versante in frana mediante trincee drenanti, disposte con un interasse di 6 metri. In primo piano si osserva la canaletta rivestita con elementi in calcestruzzo che convoglia lo scarico dei dreni al di fuori dell'area. La progettazione, e la realizzazione di tali opere devono essere fatte con estrema attenzione a causa delle conseguenze negative che le trincee possono avere sul precario equilibrio di un versante in frana. Particolare attenzione va posta nel controllare e mantenere efficienti gli scarichi delle acque a valle del tubo di scarico del dreno. La parte terminale del tubo di scarico deve essere protetto, verso il fosso recettore, mediante gabbioni o muri.



## **CONCLUSIONI**

Per le ragioni suesposte le opere di ingegneria naturalistica previste progettualmente saranno perfettamente compatibili con l'ambiente in cui saranno realizzate.

Tale compatibilità, tra l'altro, ha ragion d'essere nella specifica natura dei materiali da utilizzarsi, che è completamente e totalmente di origine naturale, trattasi infatti di pietrame, di pali in legno e di fascine.

L'acciaio è utilizzato solo per le giunzioni, spesso non visibili e di modesta dimensione.

Ciò che si attende dal ricorso agli interventi di **ingegneria naturalistica** è che essi assolvano alla funzione di drenaggio, consolidamento dei versanti, di contenimento della spinta delle terre, senza creare sostanziali alterazioni degli equilibri territoriali in atto, nel pieno rispetto dell'ambiente.