

## Generalità

**S**ono strutture per la protezione dall'erosione che non esercitano alcuna funzione di sostegno; caratterizzate dall'avere uno spessore trascurabile rispetto alle altre due dimensioni possono essere permeabili o impermeabili, rigide, flessibili o realizzate con materiali sciolti.

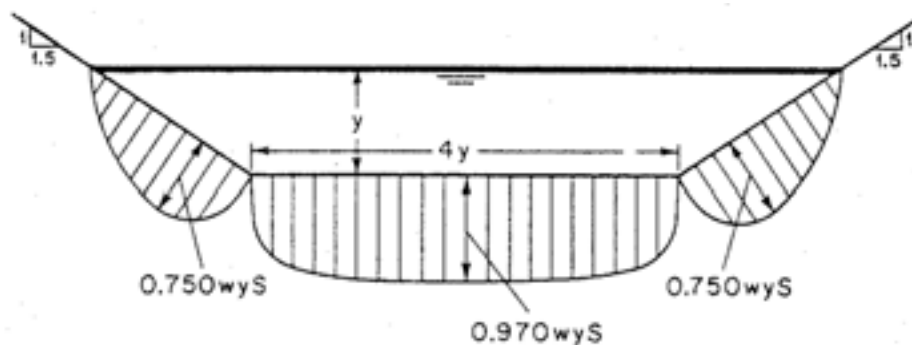
Queste opere richiedono una progettazione attenta alle condizioni idrodinamiche in quanto queste, se sottostimate, possono determinare sollecitazioni eccessive sulla struttura, in grado di danneggiarla, e processi di escavazione che possono causarne lo scalzamento o aggiramento.

I rivestimenti vengono utilizzati sia sulle sponde che sul fondo degli alvei ed hanno un'influenza sul regime della corrente che è essenzialmente legata alla variazione della scabrezza in misura che dipende dal materiale di cui sono costituiti. Dal punto di vista ambientale possono avere un impatto significativo per le modifiche che possono apportare alla permeabilità all'acqua ed alla vegetazione e per i cambiamenti che determinano negli habitat sia acquatici che terrestri.

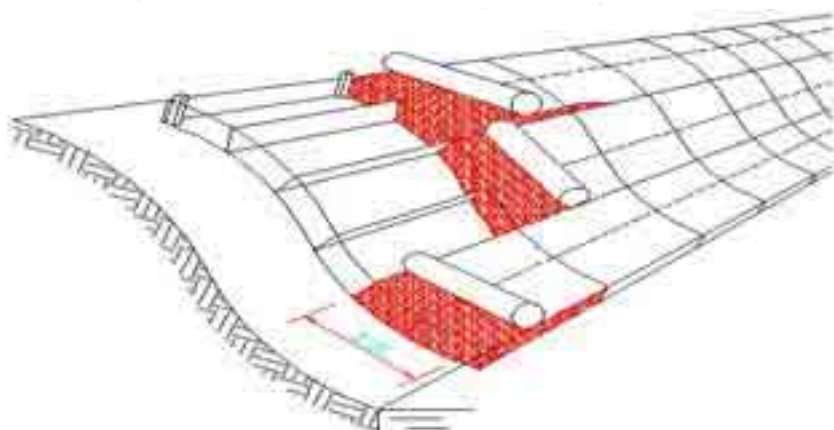
Si possono ottenere significativi miglioramenti sotto il profilo ambientale combinando materiali inerti e materiali vivi (piante arbustive o piante erbacee) secondo le tecniche dell'ingegneria naturalistica o usando solo materiali vivi.

Quando i rivestimenti sono costituiti in tutto o in parte da materiale organico sono soggetti a degrado e, in tempi più o meno lunghi, scompaiono rilasciando sostanze che aiutano lo sviluppo della vegetazione che li dovrà sostituire nella funzione di protezione. L'abbinamento con materiali vivi è possibile soltanto al di sopra del livello medio dell'acqua, pertanto al di sotto di questo si potranno usare solamente materiali inorganici.

**Figura 6.4.1:** La corrente esercita uno sforzo di taglio sulle sponde, che è proporzionale all'altezza dell'acqua ( $y$ ) sul punto considerato al peso specifico dell'acqua ( $w$ ) ed alla pendenza ( $s$ ).



**Figura 6.4.2:** Rivestimento di una sponda con materassi tipo "Reno". Materassi, in rete a doppia torsione a maglie esagonali. Vengono riempiti con pietrame ed hanno uno spessore massimo di 0.30 m.



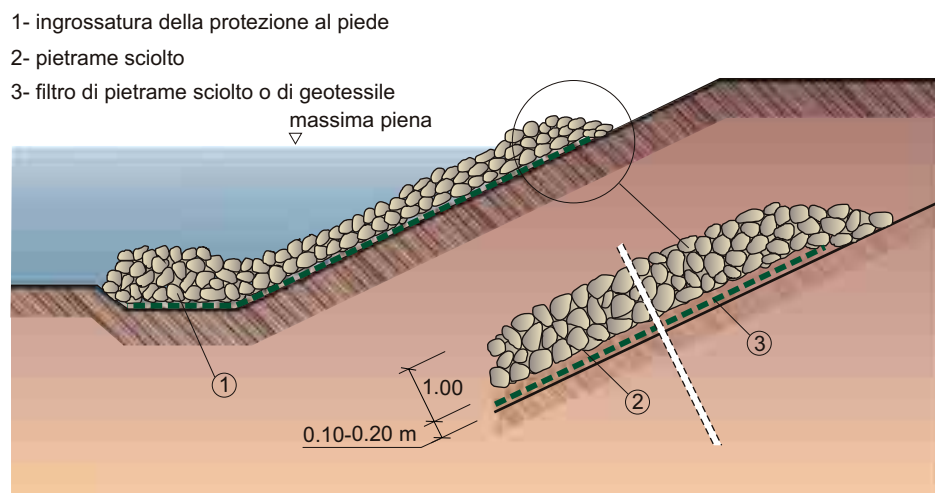
Anche per i rivestimenti combinati o con materiali vivi vanno eseguite adeguate verifiche di compatibilità tra tensioni di trascinamento di progetto e tensioni ammissibili. A tal riguardo bisogna considerare che l'esperienza sul comportamento di questo tipo di strutture (con materiali vivi) non è ancora ben sviluppata, sebbene si comincino a trovare in letteratura studi su varie tecniche realizzati sia su opere a fine lavori che a regime (con vegetazione sviluppata).

Ricordiamo che in generale, le opere che comprendono materiali vivi, vanno sempre dimensionate considerando sia condizioni di breve che di lungo termine, ciò sia per tenere conto del diverso contributo stabilizzante, ma anche delle variazioni sensibili di scabrezza dovute allo sviluppo delle parti aeree della vegetazione.

Di seguito si descrivono varie tipologie di rivestimenti secondo una classificazione che, sulla base del tipo di materiali impiegati individua tre diverse categorie di protezioni:

- **rivestimenti con materiali inerti**
- **rivestimenti combinati**
- **rivestimenti con materiali vivi**

**Figura 6.4.3:** Rivestimento con pietrame sciolto gettato alla rinfusa (gettata rip-rap). Per proteggere il terreno da un eccesso di velocità residua dell'acqua, sotto il rivestimento si pone un filtro in geotessile non tessuto. Il filtro nel caso di grossi blocchi su terreni cedevoli, se adeguatamente resistente, può servire anche per impedire l'affondamento degli elementi lapidei.



**Figura 6.4.4:** Rivestimento di fondo di un corso d'acqua, realizzato con pietrame calcareo, squadrato sistemato in maniera regolare.



**Figura 6.4.5:** Posa di materassi in rete metallica a doppia torsione riempiti di pietrame. Ad ulteriore protezione del terreno della sponda è stato posto un filtro in geotessile non tessuto. Si osservi la chiusura dei materassi che viene effettuata con un unico telo di rete metallica a doppia torsione.

## Rivestimenti con materiali inerti

### Descrizione e Caratteristiche

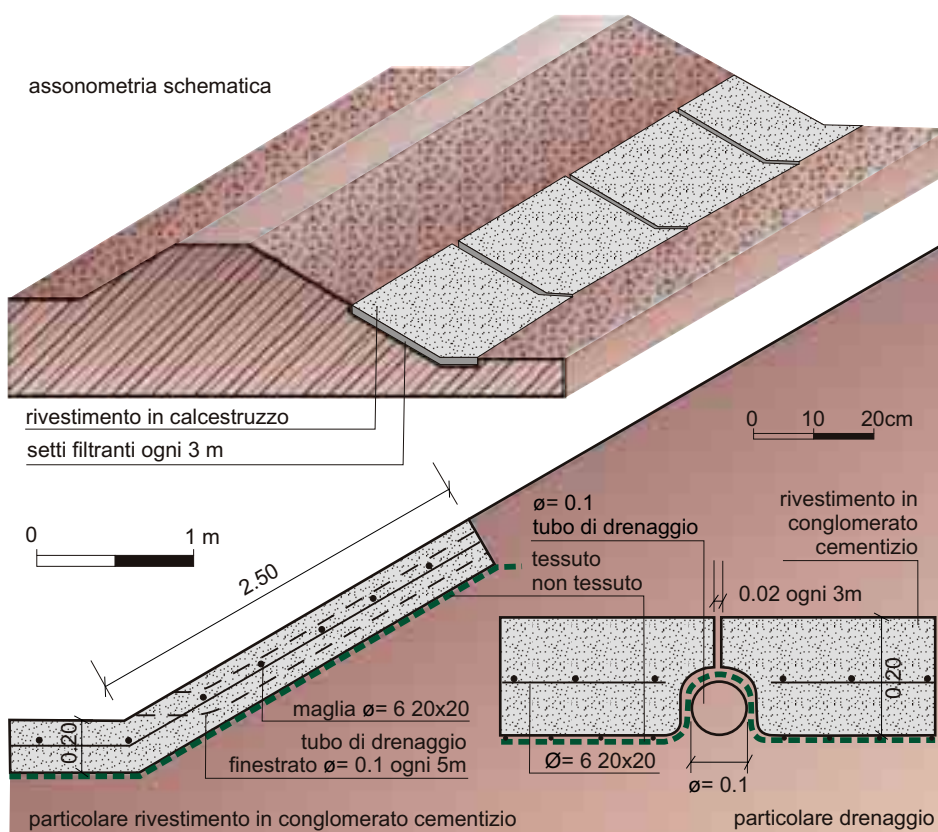
#### Rivestimenti in calcestruzzo

Si tratta di rivestimenti classificabili come rigidi e realizzati con materiale inerte che, se non si adottano particolari accorgimenti, sono impermeabili. Conseguenza di tali caratteristiche sono:

- scarsa adattabilità a cedimenti del sottofondo;
- interferenza nei rapporti tra corso d'acqua e falde acquifere;
- impedimento alla crescita della vegetazione;
- obliterazione degli habitat naturali;
- pessimo impatto visivo;
- accelerazione della velocità dell'acqua.

I rivestimenti di calcestruzzo possono essere realizzati mediante lastre di calcestruzzo armato gettate in opera oppure prefabbricate, con struttura normale o precompressa. Per rendere più naturale l'aspetto di questi rivestimenti si può annegare nel getto del pietrame.

**Figura 6.4.6:** Rivestimenti con lastre di calcestruzzo armate con rete metallica elettrosaldata. Poiché si tratta di rivestimenti impermeabili per evitare il danneggiamento a causa di sottopressioni idrauliche, è necessario prevedere dei drenaggi spaziatamente regolari, disposti lungo tutto il rivestimento.



Un'alternativa ai rivestimenti in lastre di calcestruzzo è rappresentata da rivestimenti non continui, realizzati con blocchetti sagomati (0,50.0,50 mq circa), connessi tra loro così da formare una mantellata articolata.

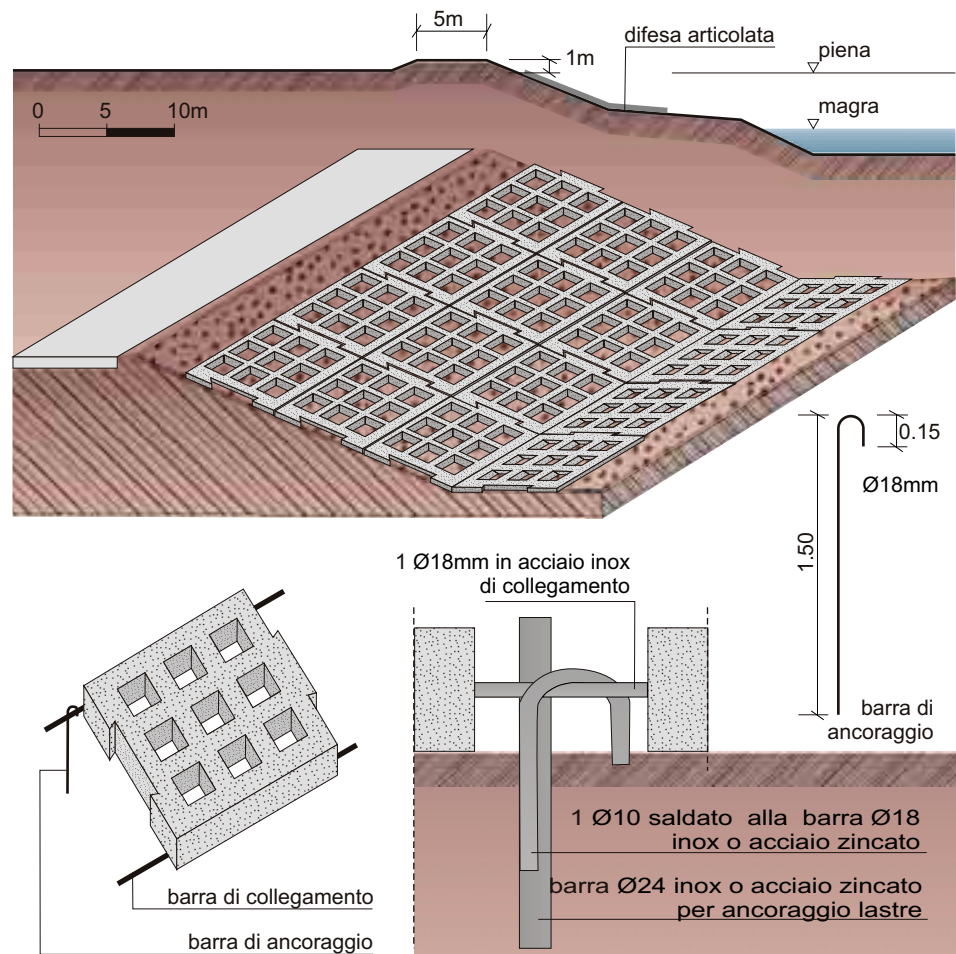
Gli elementi, variamente collegati fra loro con trefoli d'acciaio o funi di materiale sintetico, sono ancorati con barre d'acciaio in sommità, al piede e sui lati. Questo tipo di rivestimento è in grado di tollerare senza danni moderati assestamenti del terreno di posa, assicurando anche, per la presenza dei vuoti, la continuità nel rapporto con la falda.

L'impiego dei rivestimenti rigidi o flessibili richiede la preparazione del terreno di posa: il suo spianamento e un letto di materiale inerte, anche con funzione drenante, è opportuno inoltre associare un geotessile con funzione filtrante per evitare problemi di erosione.

Per migliorare l'impatto ambientale di questi rivestimenti si può sfruttare la presenza delle aperture per far crescere vegetazione erbacea, sopra il livello dell'acqua. Per ottenere buoni risultati è opportuno saturare i vuoti con del terreno vegetale e realizzare un'idrosemina a mulch sulla sponda. In questo caso è opportuno non mettere il filtro a targo del rivestimento.

Qualora le condizioni idrauliche lo consentano è opportuno inserire vegetazione arbustiva all'interno dei vuoti. In questo caso si ottiene un notevole effetto consolidante e la copertura totale del rivestimento.

**Figura 6.4.7:** I rivestimenti articolati i blocchi di calcestruzzo prefabbricati, offrono i vantaggi di resistenza propri del calcestruzzo ed al tempo stesso la permeabilità ed in parte deformabilità di un rivestimento in materiali sciolti. La resa sotto il profilo estetico è però piuttosto bassa se non si opera in maniera da poter rinverdire il sistema. In figura sono rappresentati due tipi diversi di blocchetti collegati con trefoli d'acciaio



**Figura 6.4.8:** Esempio di rivestimento in lastre traforate in cemento a protezione di una sponda di un canale.





## Descrizione e Caratteristiche

### Pietrame sciolto, scogliere e massi vincolati

Si tratta di difese con materiali inerti naturali caratterizzate dall'essere permeabili ed in grado di subire assestamenti senza danni. La differenza tra rivestimenti in pietrame sciolto e scogliere dipende dalle dimensioni del materiale lapideo utilizzato e da una diversa modalità di messa in opera.

Le scogliere sono costituite da massi caratterizzati da grandi dimensioni, che vengono posti in opera singolarmente, mentre le pietre usate per le gettate (rip-rap) sono decisamente più piccole e sono scaricate alla rinfusa.

La scelta delle dimensioni degli elementi che formano i rivestimenti in materiale sciolto deve essere fatta in funzione delle sollecitazioni meccaniche a cui verranno sottoposte in esercizio:

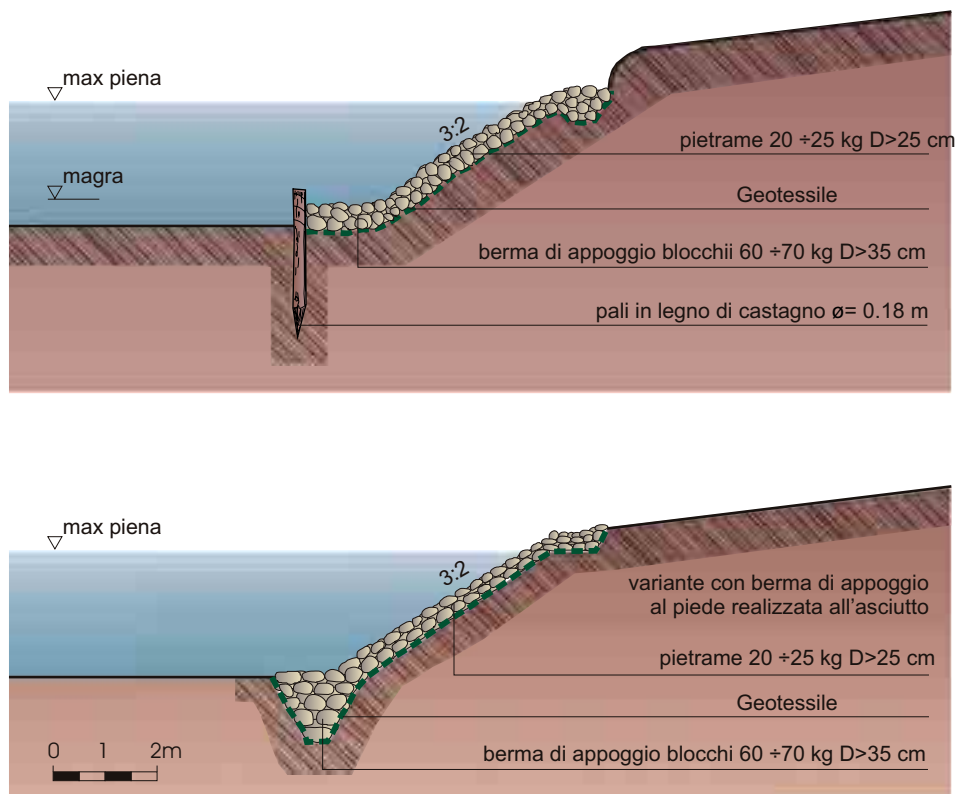
- sforzi di trascinamento dovuti alla corrente
- sottopressioni idrauliche

Le dimensioni degli elementi lapidei saranno maggiori rispetto a quelle che la corrente è in grado di trascinare a valle in occasione di piene caratterizzate da portate di adeguato tempo di ritorno.

I blocchi che si impiegano sono classificati per categoria, senza che esista una specifica normalizzazione:

tout-venant	tra	0	e	100	kg;
massi di prima categoria		100		1000;	
massi di seconda categoria		1000		3000;	
massi di terza categoria		3000		7000;	
massi di quarta categoria		7000		15000.	

**Figura 6.4.9:** Difesa spondale realizzata con pietrame sciolto. La protezione del piede dall'erosione, è un accorgimento costruttivo importante per garantire l'efficienza della protezione. In questo caso è stato realizzato con due sistemi diversi: pali di legno infissi nel fondo e per mezzo di una berma di appoggio.



I rivestimenti in pietrame possono essere realizzati con pietrame recuperato in alveo, in tal caso si deve evitare che abbia forma eccessivamente arrotondata, il pietrame spigoloso ha una mobilità inferiore e resiste meglio al trascinamento della corrente.

In alternativa al pietrame naturale di fiume o di cava, si possono anche usare prismi di calcestruzzo, con risultati più scadenti sotto il profilo estetico.

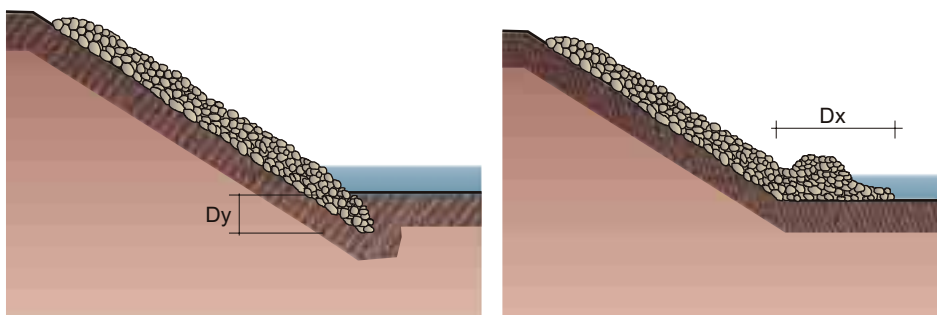
Questo tipo di difese se realizzate correttamente richiedono un notevole dispendio di pietrame e si giustificano solo quando vi sia pietrame di facile ed economica reperibilità. Le regole generali di progettazione di protezioni con pietrame sciolto, prevedono uno spessore minimo di 0,30 m e, in generale, il rapporto tra questo e la dimensione media del pietrame va da 1,5 a 2. Se la costruzione è fatta in presenza d'acqua lo spessore del rivestimento deve essere raddoppiato.

La stabilità al piede può essere garantita sia dall'aumento della profondità del rivestimento ( $D_y$ ) che dalla sua estensione in senso orizzontale ( $D_x$ ), in funzione della profondità dell'erosione ( $D_z$ ) prevista.

**Figura 6.4.10:** In assenza di blocchi naturali si possono utilizzare prismi di calcestruzzo come nell'esempio lungo il fiume Po mostrato nella foto a fianco



**Figura 6.4.11:** Lo spessore di una difesa in pietrame sciolto è proporzionale alle dimensioni del materiale che la costituisce generalmente non è inferiore a 0,30 m. Per garantire la stabilità rispetto all'erosione del fondo, il piede può venire adeguatamente approfondito. In alternativa si può realizzare un ringrosso di materiale che, nel caso di erosione, può andare a colmare il vuoto che viene a formarsi.



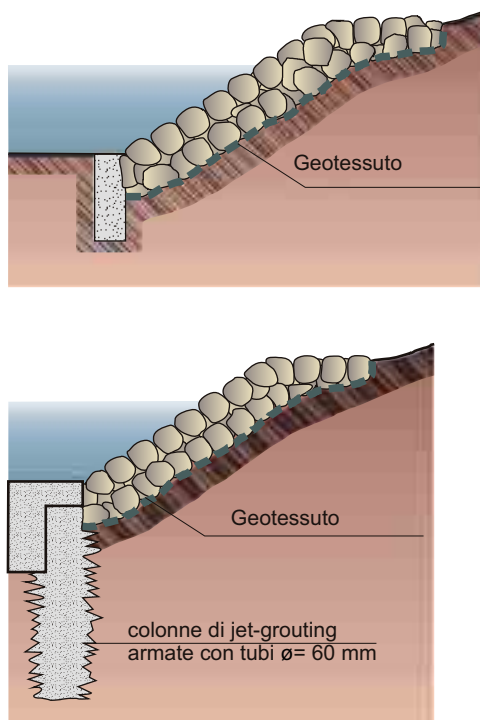
In alternativa, la difesa dallo scalzamento si può realizzare con un diaframma in calcestruzzo o colonne di jet-grouting

Nei rivestimenti in pietrame sciolto, parte del materiale viene trascinato a valle dalla corrente (in modo particolare dopo eventi di piena). Le operazioni di “ricarica” devono essere tanto più frequenti tanto maggiore è l'azione erosiva esercitata dalla corrente.

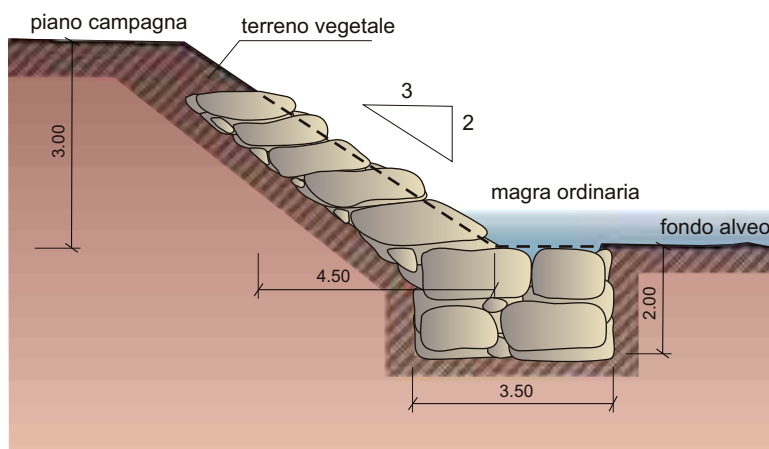
L'aggiunta di materiale lapideo si rende inoltre necessario per controbilanciare i fenomeni di assestamento cui sono spesso soggette le gettate.

La scogliere vengono costruite con massi provenienti da cave o prelevati da torrenti. I massi movimentati con l'escavatore, vengono addossati in maniera regolare alla sponda in maniera da formare un rivestimento stabile e ben assestato.

**Figura 6.4.12:** Un'alternativa ai sistemi di protezione del piede del rivestimento visti in precedenza, sono i taglianti realizzati con calcestruzzo o colonne di jet-grouting.



**Figura 6.4.13:** Sezione di una scogliera. E' evidente l'approfondimento della fondazione per sottrarre la struttura allo scalzamento da parte della corrente. (Tipologia Magistrato del Po).



In alcuni casi, al fine di aumentare la resistenza all'azione di trascinamento esercitata dalla corrente, gli spazi vuoti tra i massi vengono intasati con malta cementizia.

L'adozione di questa soluzione comporta però degli svantaggi in quanto rende il rivestimento simile a quelli in calcestruzzo.

In alcuni casi i massi che formano una scogliera vengono ancorati tra loro con delle funi di acciaio a mezzo di ganci, anch'essi in acciaio, passanti attraverso fori praticati nei massi stessi: questa tecnica fornisce alla struttura una resistenza sicuramente maggiore all'azione di trascinamento esercitata dalla corrente, ma i costi crescono in maniera non trascurabile e l'impiego di questa tecnica non è molto frequente.

Per migliorare l'impatto ambientale delle scogliere si possono inserire materiali vivi usando tecniche diverse. La messa a dimora di talee di specie adeguate o l'inerbimento, previo intasamento con terreno delle fessure.

**Figura 6.4.14:** Scogliera in massi cementati per aumentarne la stabilità. La cementazione rende l'opera più rigida e meno permeabile.



**Figura 6.4.15:** Una soluzione che consente di migliorare significativamente la resistenza al trascinamento della scogliera è quella di vincolare i blocchi con funi d'acciaio. Il sistema è allunga significativamente i tempi di realizzazione ed leva i costi dell'opera.

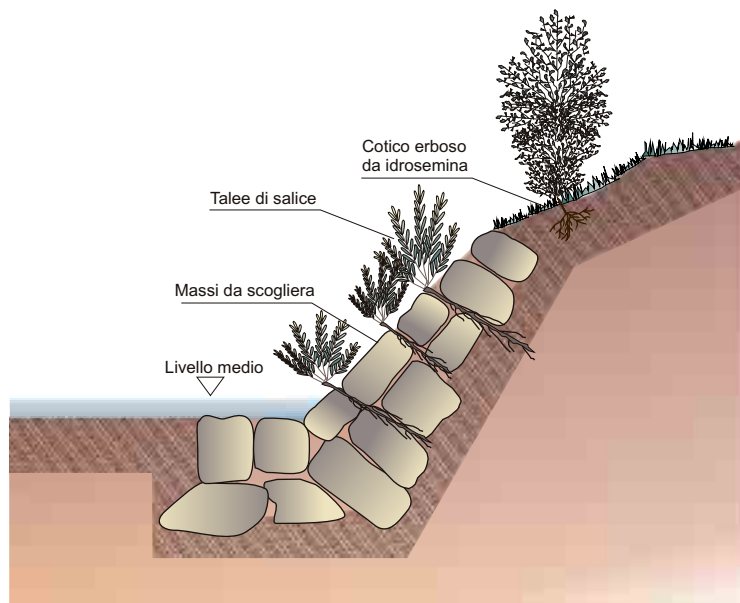




Quando la protezione con scogliere o gettate riguarda una parte a fiume, senza interessare cioè l'arginatura maestra, nella sezione iniziale del rivestimento è necessario immergere adeguatamente il rivestimento stesso nell'ammasso protetto per evitare che possa prodursi un aggiramento della testa. Per rivestimenti di sponda estesi in senso longitudinale, è importante provvedere anche a immorsamenti intermedi.

Infine come per altri rivestimenti anche quelli in materiali sciolti debbono essere posti in opera avendo l'accortezza di realizzare un filtro rovescio o impiegando i geotessili, per evitare fenomeni di erosione.

**Figura 6.4.16:** Sezione di una scogliera combinata con talee di salice. Le piante vengono messe nella porzione al di sopra del livello medio dell'acqua in quanto non resisterebbero alla sommersione continua.



**Figura 6.4.17:** Scogliera in blocchi calcarei piantata con talee di salice. I salici messi a dimora durante la costruzione hanno attecchito senza problemi e stanno coprendo la scogliera.



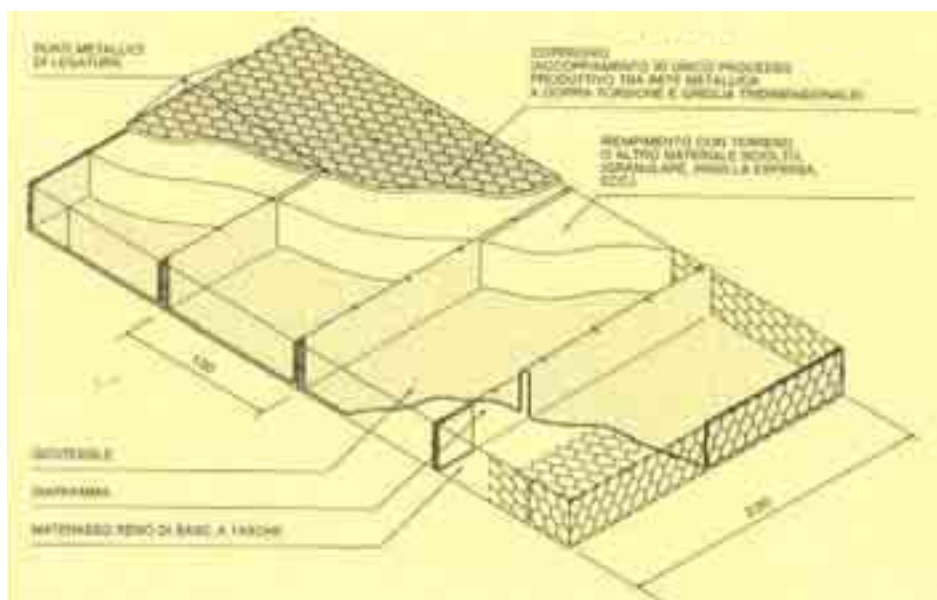
## Descrizione e Caratteristiche

### Materassi in rete metallica a doppia torsione a maglie esagonali

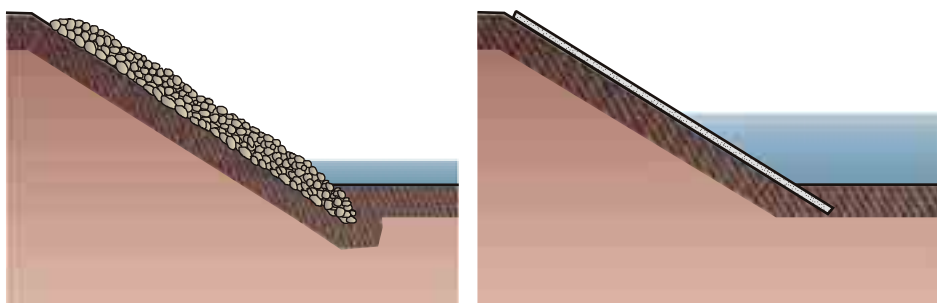
La necessità di una protezione antierosiva caratterizzata da una elevata resistenza alle tensioni di trascinamento, può essere soddisfatta utilizzando degli scatolari in rete metallica a doppia torsione riempiti di pietrame di idonea pezzatura. Di spessore variabile tra 17 e 30 cm i ben noti “materassi in rete metallica” sono materiali studiati da lungo tempo sotto il profilo idraulico, meccanico ed ambientale. Possono essere considerati alla stregua di un rivestimento in pietrame sciolto con la differenza che la stabilità di quest'ultimo risulta incrementata dall'azione di contenimento della rete. Le conseguenze sono che con l'impiego dei materassi, a parità di condizioni idrauliche e geometriche (della sponda), è possibile impiegare pietrame di dimensioni più piccole e per spessori inferiori.

Con questi materiali è possibile realizzare opere in presenza d'acqua con significativi risparmi di pietrame grazie alla possibilità di ottenere spessori certi essendo i materassi prefabbricati all'asciutto.

**Figura 6.4.18:** Materassi tipo “Reno” in rete metallica a doppia torsione e maglie esagonali. I materassi sono spessi al massimo 0.30 m e sono suddivisi per mezzo di diaframmi per impedire il movimento dei ciottoli sotto l'azione della corrente ed il conseguente insaccamento. I ciottoli di riempimento dovranno avere dimensioni adeguate, sia per non sfuggire dalle maglie sia per resistere senza movimenti eccessivi quando sono sottoposti al trascinamento dell'acqua.



**Figura 6.4.19:** Confronto di spessore tra materasso e gettata in pietrame. Lo spessore più contenuto dei materassi è reso possibile sia per la maggiore stabilità del pietrame che per la maggiore precisione nell'assicurare una copertura continua del terreno della sponda.



La durabilità di queste opere dipende sia dalla funzione consolidante della vegetazione sia dalle proprietà del filo metallico di cui sono costituiti.

I materassi, così come i gabbioni ed altri materiali, oggi vengono realizzati con un acciaio dotato di una doppia protezione:

Galvanizzazione con lega di Zn-5% di alluminio e terre rare (Galfan)  
Plasticatura PVC o PE.

In questo modo è possibile ovviare agli inconvenienti dovuti all'ossidazione ed aggressione chimica non solo in condizioni ambientali normali, ma anche laddove l'inquinamento le abbia peggiorate.

Questi sistemi consentono di realizzare opere con durabilità elevata (da 60 a 120 anni).

**Figura 6.4.20:** I materassi in rete metallica, possono venire posati facilmente in presenza d'acqua. Vengono assemblati e riempiti all'esterno e successivamente calati in acqua. Grazie alla loro resistenza e flessibilità riescono a sopportare senza danni la movimentazione anche sotto il carico del pietrame di riempimento. Per grossi lavori fluviali si giustifica l'impiego di pontoni mobili. In tal modo si eleva notevolmente la velocità di posa.





Anche per i materassi in rete metallica si presenta il problema della protezione per evitare l'aggiramento da parte della corrente. Il tratto iniziale e finale della materassata possono venire protetti con un setto realizzato con gabbioni, calcestruzzo o con massi legati con malta. Se il rivestimento è molto lungo è opportuno prevedere dei setti intermedi.

Lo spesso ridotto di questi rivestimenti e la facilità con cui vengono intasati dai sedimenti trasportati dalla corrente fanno sì che possano venire facilmente colonizzati dalla vegetazione spontanea come mostrano le foto successive.

**Figura 6.4.21:** Protezione di una materassata nella tratto iniziale a valle di un ponte. Per evitare l'aggiramento si è impiegata una scogliera in blocchi cementati.



**Figura 6.4.22:** I materassi vengono facilmente colonizzati dalla vegetazione. La frazione limosa del trasporto solido intasa i vuoti tra i ciottoli e la vegetazione pioniera si instaura nel giro di pochi anni. Nella foto opera spondale in materassi in ambiente appenninico. A distanza di un anno è iniziata la colonizzazione spontanea.



**Figura 6.4.23:** Lo stesso tratto di fiume ripreso nella foto precedente dopo diversi anni. La vegetazione si è completamente riappropriata delle sponde del corso d'acqua.





### Rivestimenti con sistemi combinati

I rivestimenti, generalmente, grazie al loro spessore ridotto offrono ottime opportunità di inserimento ambientale. Sia che si tratti di materiali organici o meno, risulta abbastanza semplice combinarli con la vegetazione e garantire il mantenimento della permeabilità delle sponde. A differenza dei materiali inorganici quelli a base naturale debbono essere necessariamente abbinati a materiali vivi poiché degradandosi non offrono protezione a lungo termine. La vegetazione può essere combinata alla parte inerte del rivestimento in varie forme:

- Talee
- Piante a radice nuda
- Piante in vaso
- Rizomi
- Per seme

## Descrizione e Caratteristiche

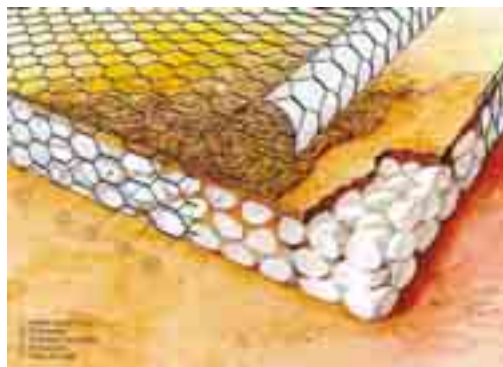
### Materassi rinverditi

I materassi in rete metallica a doppia torsione a maglie esagonali in passato venivano utilizzati esclusivamente per la realizzazione di rivestimenti inerti, lasciandoli alla naturale colonizzazione da parte della vegetazione.

Oggi, l'aumento della sensibilità ambientale, ha portato a sviluppare tecniche che consentono di accelerare e guidare i processi di rinaturalizzazione di questo tipo di rivestimento. Gli spessori ridotti di pietrame che si possono realizzare, facilitano fortemente la colonizzazione spontanea da parte della vegetazione, come è stato dimostrato da numerosi lavori effettuati in passato.

A tale scopo si mescola del terreno al pietrame e si impiegano degli elementi antierosivi con funzione temporanea (biostuoie) o permanente (geostuoie tridimensionali); sul substrato così predisposto, le specie vegetali vengono idroseminate per creare una copertura continua di rapida crescita.

**Figura 6.4.24:** Gli schemi mostrano la tecnica usata per il rinverdimento dei materassi riempiti di pietrame: si intasa abbondantemente con terreno vegetale e per evitare il dilavamento vi si posa sopra un geosintetico antierosivo (biostuoia o geostuoia tridimensionale). Successivamente si realizzerà una idrosemina a mulch, ricca di fibre vegetali e fertilizzanti.



**Figura 6.4.25:** L'intasamento dei materassi con il terreno viene effettuato con l'escavatore idraulico e parte dalla sommità procedendo verso il basso. Questa operazione va effettuata prima di chiudere il coperchio del materasso in rete metallica.



**Figura 6.4.26:** La foto accanto e quella sopra mostrano la parte alta di una sponda rivestita in materassi intasati con terreno e rinverditi. Si osservi che nella parte bassa della sponda, dove si prevedono tensioni di trascinamento più elevate, è stata realizzata una scogliera.

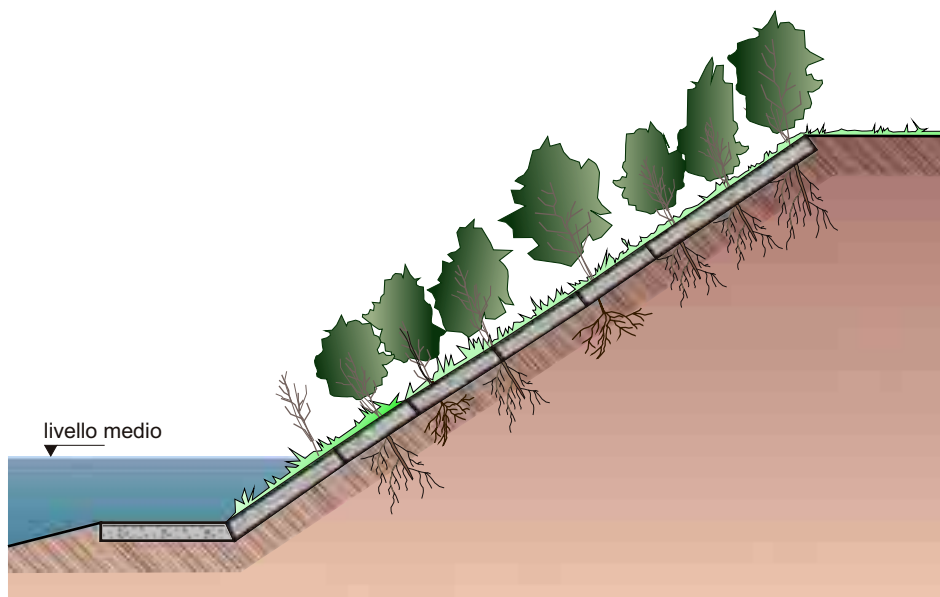


**Figura 6.4.27:** Le foto mostrano un intervento sulla intera sezione di un torrente con materassi.



Generalmente, se le condizioni idrauliche lo consentono, vengono messe a dimora anche talee per realizzare, in tempi più lunghi, una copertura arbustiva dotata di maggiore capacità di protezione meccanica e di più elevato valore ambientale.

**Figura 6.4.28:** Schema che mostra il rivestimento di una sponda con materassi e talee. Le piante vengono messe a dimora dopo la chiusura dei coperchi, mediante infissione, per facilitare l'operazione si può usare una barra di ferro per creare lo spazio tra il pietrame per infilare la talea. Questa tecnica richiede che non si utilizzi il geotessile al di sotto del materasso. Le talee devono penetrare senza impedimenti nel terreno della sponda. In tal modo quando le piante cresceranno si realizzerà una sorta di chiodatura dei materassi e le parti aeree eserciteranno una protezione molto efficace nei confronti della corrente



**Figura 6.4.29:** La foto mostra un rivestimento con materassi e talee della sponda di un corso d'acqua. I materassi sono stati anche intasati con terreno e inerti. Si osservi che nella parte bassa, dove più di frequente si trova il livello dell'acqua, non sono state messe piante, ma solo il riempimento con pietrame.





## Descrizione e Caratteristiche

### Inerbimenti con stuoie, reti e biostuoie

#### Biostuoie

**S**ono costituite da fibre di natura vegetale tenute assieme da retine poliolefiniche o a loro volta a base organica.

Data la natura biodegradabile e la scarsa resistenza meccanica possono essere usate solo sopra il livello dell'acqua e sono caratterizzate da una resistenza alle tensioni di trascinamento poco significativa, pertanto a breve termine sono vulnerabili in caso di sommersione e sono da considerarsi unicamente una protezione rispetto al ruscellamento ed all'impatto delle gocce di pioggia. Per le applicazioni in campo idraulico sono da preferirsi biostuoie con una elevata durabilità: in fibre di cocco o legno.

**Figura 6.4.30:** Rivestimento con biostuoia in fibre di legno, di rilevati arginali in terra. La biostuoia impedirà l'erosione superficiale dando modo alla vegetazione erbacea di crescere e proteggere il terreno permanentemente nei confronti delle acque di pioggia e dell'azione della corrente.



**Figura 6.4.31:** A) Biostuoia in fibre di cocco: le fibre sono intrappolate tra due retine poliolefiniche che hanno la doppia funzione di impedire la dispersione del cocco e di conferire maggiore resistenza meccanica al geosintetico. Generalmente le retine sono fotodegradabili, in modo da scomparire una volta esauritasi la funzione protettiva della biostuoia. B) Georete in fibre di cocco. Un materiale caratterizzato da una elevata curabilità e da una buona resistenza meccanica. C) Georete in agave, ha una resistenza meccanica superiore rispetto al cocco ma possiede una durabilità inferiore.



#### Bioreti e biotessuti

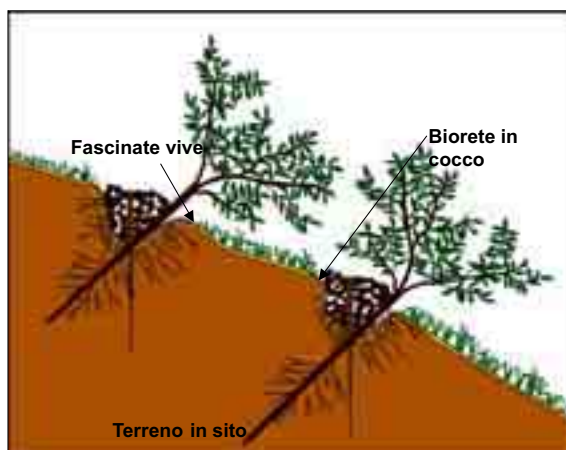
Si tratta di materiali a struttura aperta realizzati con fibre vegetali di varia natura a seconda del tipo di geosintetico: cocco, juta, sisal o altro. Hanno maglie quadrate o rettangolari di dimensioni che vanno da qualche millimetro a qualche centimetro. Anche questi materiali hanno una resistenza alle tensioni di trascinamento limitata seppur superiore ad esempio alle biostuoie (vedi sisal e cocco). Le bioreti in cocco trovano un vasto uso nelle opere idrauliche, in virtù della loro elevata durabilità, laddove sia necessario esercitare una protezione antiersiva leggera in condizioni di basso rischio ad esempio nei recuperi ambientali.



**Figura 6.4.32:** Rivestimento di sponde di un torrente con geodete in juta. Dopo il rimodellamento delle sponde con mezzi meccanici, è importante provvedere ad una protezione temporanea in attesa che cresca la vegetazione. Nella foto sotto si può apprezzare il risultato a distanza di poco più di un anno. Oltre alla copertura erbacea si è provveduto a mettere a dimora delle specie arbustive realizzando delle palizzate con talee (Forno Canavese, Piemonte)



**Figura 6.4.33:** Nello schema è rappresentata una combinazione di biorete in cocco con fascinate vive. La fascinata oltre a consentire la messa a dimora di specie arbustive, garantisce anche una protezione meccanica leggera.



## Descrizione e Caratteristiche

### Rinforzo degli apparati radicali (Turf-reinforcement).

Si tratta di un rivestimento flessibile in cui il materiale inerte viene compenetrato dalle radici delle piante erbacee e ne costituisce il rinforzo permanente. E' di un sistema combinato molto efficace, in grado di incrementare notevolmente la resistenza alle tensioni di trascinamento delle piante erbacee.

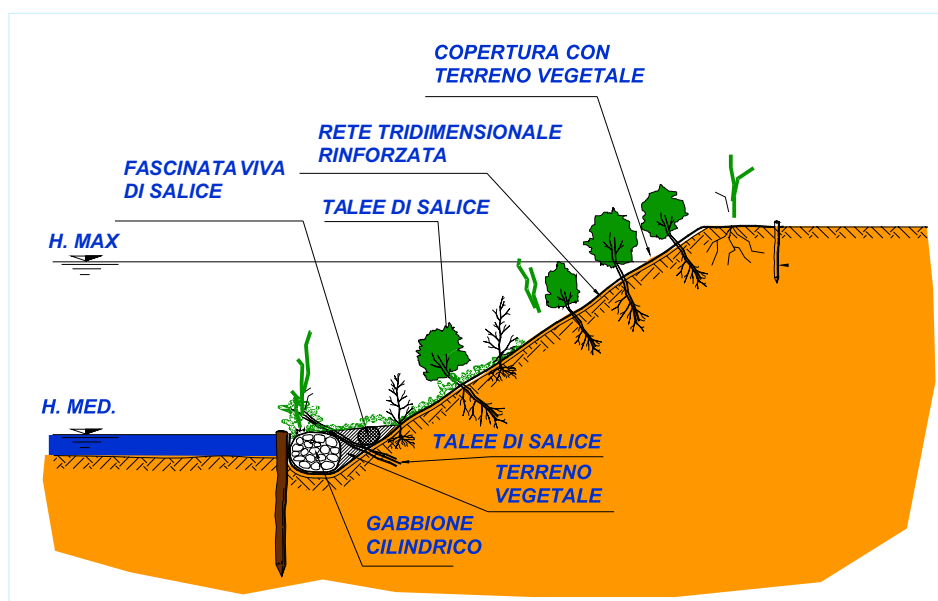
Si ottiene mediante la posa di una geostuoia tridimensionale costituita da filamenti di materiali sintetici (polietilene ad alta densità, poliammide, polipropilene o altro), aggrovigliati in modo da formare uno strato molto deformabile dello spessore di 10-20 mm, caratterizzato da un indice dei vuoti molto elevato (> 90%).

Per migliorare le prestazioni meccaniche di questo materiale, in particolare nelle applicazioni in campo idraulico, la geostuoia viene rinforzata per mezzo di rete metallica a doppia torsione o con una geogriglia. I materiali rinforzati possono venire abbinati anche a chiodature (barre d'acciaio diam. 2.60 cm) realizzate mediante infissione o perforazione a seconda del tipo di terreno della sponda. In tal modo si sfrutta la capacità di contenimento del rinforzo e si migliora anche la stabilità corticale: 1-2 mt di spessore di terreno a seconda della lunghezza dei chiodi.

**Figura 6.4.34:** A sinistra geostuoia tridimensionale in fibre di polipropilene. A destra georete tridimensionale rinforzata con una rete metallica a doppia torsione a maglie esagonali. Il rinforzo rende più resistente il geosintetico, conferendogli una maggiore capacità di consolidamento superficiale del terreno se abbinato ad idonee chiodature con picchetti lunghi.



**Figura 6.4.35:** Nello schema è mostrato un tipico intervento di rivestimento della sponda con rete tridimensionale rinforzata e talee. Per migliorare la protezione al piede è stato previsto un presidio realizzato con un gabbione cilindrico in rete metallica a doppia torsione a maglie esagonali.

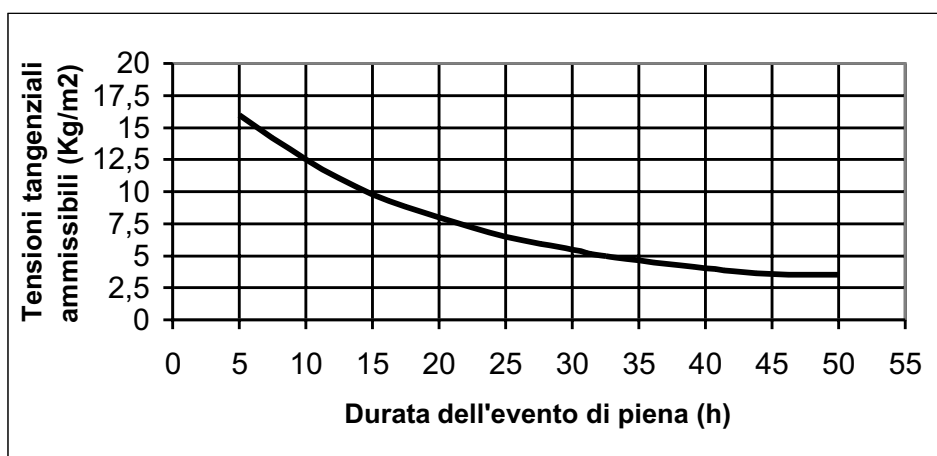


Il sistema di rivestimento costituito dal materiale combinato con le piante ha una resistenza alle tensioni di trascinamento molto più alta rispetto a quella delle piante da sole. Questo aspetto è stato indagato attraverso dei test ed oggi sono disponibili dei dati di tensione ammissibile che possono essere utilizzati nella progettazione. A tal scopo si usano degli abachi che consentono di determinare le tensioni ammissibili di tali sistemi sia in presenza di vegetazione che non ed in relazione alla durata dell'evento di piena.

**Figura 6.4.36:** Sponde di una fiumara rivestite con geostuoia tridimensionale rinforzata e rinverdite.



**Figura 6.4.37:** Resistenza all'azione della corrente di un rivestimento in geostuoia tridimensionale rinforzata: diagramma che correla le tensioni ammissibili con la durata dell'evento di piena



**Figura 6.4.38:** Protezione di un argine fluviale mediante rivestimento con geostuoia tridimensionale piantumata a caldo. Nella foto successiva si può osservare la prima fase di rinverdimento. Dopo 12 anni dall'intervento la sponda è risultata completamente inerbita e non vi è più traccia della bitumatura. F. Zero (TV)



## Descrizione e Caratteristiche

### Grata viva

Si tratta di una struttura di rivestimento addossata alla sponda ottenuta mediante la posa di tronchi verticali e orizzontali disposti perpendicolarmente tra loro. I tronchi orizzontali sono sovrapposti a quelli verticali e vengono chiodati ad essi in corrispondenza degli incroci. Questa disposizione di tronchi individua delle camere rettangolari all'interno delle quali vengono poste, in corso d'opera, talee di salici e il tutto viene ricoperto con inerte terroso.

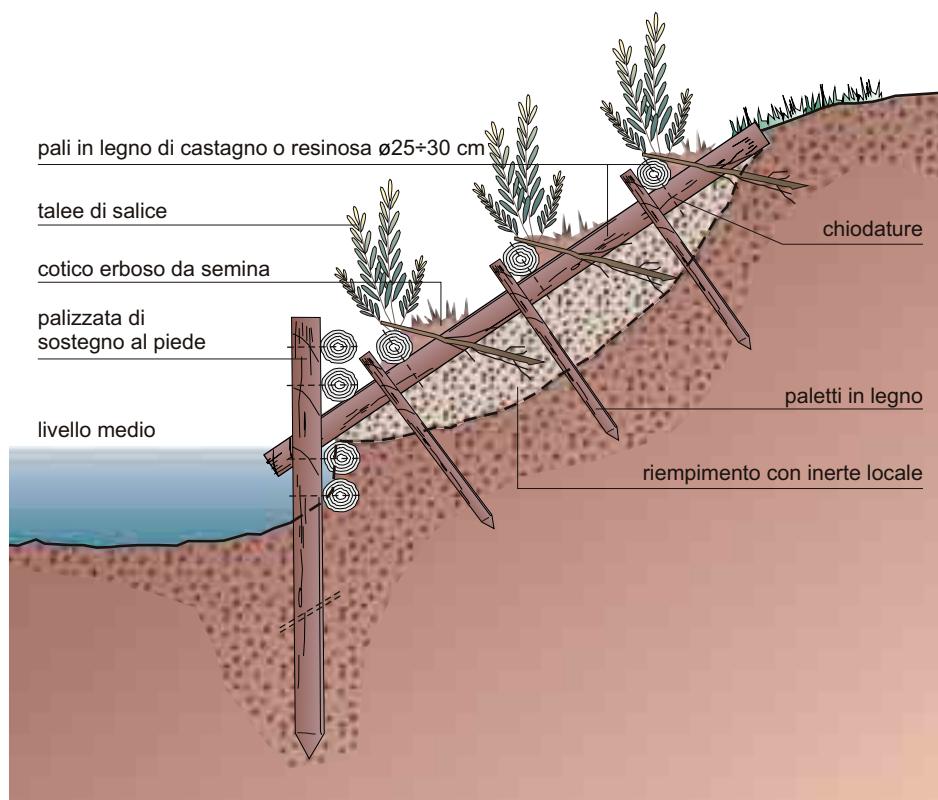
La presenza del tondame consente alla struttura di esercitare una protezione immediata nei confronti della sponda mentre nel tempo le piante si sviluppano e si realizza un vero e proprio consolidamento.

La grata viva, impiegata in genere al di sopra del livello di piena, oltre alla funzione di rivestimento esercita quella di sostegno ed è adatta a scarpate artificiali e parti alte di sponde in erosione con inclinazione fino a 40°-50° che non può essere diminuita.

La messa a dimora di talee e arbusti dovrà avvenire nel periodo di riposo vegetativo

**Figura 6.4.39:** In caso di erosione di una sponda, anche piuttosto ripida, la grata viva può essere usata per stabilizzare la sponda ed il terreno di riporto necessario al ripristino morfologico.

La struttura è realizzata con tondame sistemato in modo da formare una grata addossata al pendio e solidarizzata ad esso mediante dei picchetti in legno infissi per almeno un metro. All'interno della grata andranno messe a dimora delle talee per consolidare e proteggere in maniera permanente il terreno della sponda.





La struttura a grata si costruisce per mezzo di tondame di castagno o di una resinosa, di  $\varnothing = 15-25$  cm e lunghezza 2-5 m. La struttura viene fondata su un solco di terreno stabile o poggiata su di un tronco longitudinale di base. I tronchi verticali sono distanti 1-2 m e quelli orizzontali, chiodati ai primi sono distanti da 0,40 a 1,00 m a seconda dell'inclinazione del pendio (in genere si lavora su pendenze di  $45^\circ-55^\circ$ ). Per rendere solidale la struttura al terreno si realizza un fissaggio al substrato mediante picchetti di legno di  $\varnothing = 8-10$  cm e lunghezza 1 m; in alternativa, soprattutto su substrati compatti, si possono usare picchetti di ferro, di dimensioni idonee, per sostenere la struttura.

Le camere rimaste tra un tronco e l'altro della grata vengono riempite con inerte terroso alternato a talee e ramaglia viva disposta a strati, appoggiandole ai tronchi orizzontali con eventuale supporto di una griglia metallica per impedire che il terreno scivoli in basso. Le talee devono avere una lunghezza tale da raggiungere il terreno retrostante la grata.

L'intera superficie verrà successivamente seminata e in genere piantata con arbusti autoctoni. Per controllare fenomeni erosivi in grate su forti pendenze, si può proteggere il terreno all'interno delle camere con una biostuoia.

L'altezza massima possibile per le grate vive spondali non supera in genere i 4-5 m.

**Figura 6.4.40:** La grata viva viene generalmente bloccata al piede con una palificata spondale o con una palificata a parete doppia. Una volta posati tutti i pali della struttura, lo spazio vuoto tra la grata e la sponda erosa viene riempito con terreno ed a mano a mano si posano le talee, disposte in ragione di almeno una fila per camera.



**Figura 6.4.41:** Le talee di salice o di tamericio, sono un elemento costruttivo essenziale della grata viva. Le forti pendenze su cui generalmente si costruiscono tali strutture ed il degrado cui è soggetto il legname, richiedono un consolidamento efficace e di lungo termine. Una volta sviluppatesi le piante, le radici consolideranno il terreno e le parti aeree assorbiranno buona parte dell'energia dell'acqua in occasione di eventi di piena. (Canale c/o Rovigo, loc. Loreo)



## Rivestimenti con materiali vivi

**S**i tratta di rivestimenti realizzati utilizzando come materiale da costruzione solamente o in maniera prevalente piante o parti di esse in grado di radicare e svolgere sia un'azione consolidante che protettiva. Tale ruolo viene svolto dalle piante in due modi: gli apparati radicali legano il terreno e costituiscono un vero e proprio sistema di rinforzo naturale mentre le parti aeree interagiscono con l'acqua assorbendone parte dell'energia deformandosi sotto la sua spinta.

Questi interventi possono comportare l'uso di piante erbacee o piante arbustive; solitamente si evita l'uso di piante arboree in quanto possono assumere dimensioni eccessive e causare problemi sotto il profilo idraulico.

Le piante arbustive sono quelle che esercitano l'azione protettiva più efficace. Se si scelgono delle specie resistenti e flessibili (un esempio classico in ambiente alpino sono i salici), è possibile realizzare rivestimenti con resistenze molto elevate; ad esempio una copertura diffusa al 3° ciclo vegetativo può raggiungere una resistenza di 300 N/mq.

La presenza della vegetazione produce effetti idraulici di cui bisogna tenere conto nella progettazione: la velocità dell'acqua può diminuire significativamente a parità di geometria della sezione di deflusso, in particolare nei piccoli corsi d'acqua. Questo effetto può essere minimizzato con una continua manutenzione che impedisca alle piante di crescere oltre il limite in corrispondenza del quale la rigidità dei fusti impedisce che essi si pieghino al passaggio della corrente.

I rivestimenti con materiali vivi generalmente, a fine costruzione, hanno una efficacia antiersiva molto bassa, per questa ragione si ricorre agli interventi combinati (materiali vivi ed inerti abbinati). Infine giova ricordare che gli interventi con materiali vivi, quando impieghino talee, astoni o piante a radice nuda, vanno sempre realizzati nel periodo di riposo vegetativo.

**Figura 6.4.42:** Astoni di salice conservati in acqua fredda per prolungarne la possibilità di utilizzo oltre il periodo di riposo vegetativo.

A mano a mano che ci si inoltra nel periodo estivo, nonostante questo sistema di conservazione, la percentuale di attecchimento diminuirà.



## Semina a spaglio di specie erbacee

### **Descrizione e Caratteristiche**

**C**onsiste nello spargimento manuale di miscele di sementi sulle sponde da rivegetare, la vegetazione erbacea sviluppandosi esercita un effetto antierosivo superficiale attraverso il reticolo radicale approfondito nel terreno (10-30 cm).

Questa tecnica è adatta per superfici piane o con inclinazioni inferiori a 20° per realizzare rinverdimenti rapidi che, oltre a proteggere dall'azione della corrente, limitino gli effetti dovuti al ruscellamento e l'essiccamento del terreno. Le specie erbacee hanno però un limitato effetto in profondità e la crescita rapida che le caratterizza può ostacolare lo sviluppo di eventuali specie arboree e arbustive.

E' una tecnica inadatta nei casi in cui sia necessaria una funzione protettiva immediata ed inoltre non si addice ai substrati troppo poveri che richiedono apporto di nutrienti, fibra organica, concimanti, ecc. Nei casi di carenze limitate del terreno la semina viene abbinata allo spargimento di concimanti organici e/o inorganici.

La semina deve essere preceduta dalla preparazione del terreno mediante allontanamento del materiale più grossolano e viene eseguita mediante spargimento manuale a spaglio di una miscela di sementi e di eventuali concimanti organici e/o inorganici in quantità e qualità opportunamente individuate.

La composizione della miscela e la quantità di sementi per metro quadro sono stabilite in funzione del contesto ambientale ovvero delle caratteristiche litologiche e geomorfologiche, pedologiche, microclimatiche floristiche e vegetazionali della stazione (in genere sono sufficienti quantità da 30 a 60 g/mq). E' opportuno che la provenienza delle sementi e la germinabilità siano certificate, sia per ottenere risultati migliori, sia per garantire la compatibilità ecologica dell'intervento.

Come per ogni intervento con materiali vivi per una buona riuscita è necessario fare della manutenzione: degli sfalci periodici almeno nel primo anno dopo la semina, alcuni cicli di concimazione e se necessario delle semine di rinalzo.

### **Descrizione e Caratteristiche**

## Idrosemina

**P**er idrosemina si intende il rivestimento della superficie del terreno con una miscela complessa, distribuita per via idraulica per mezzo di una macchina (idroseminatrice) dotata di botte. La miscela così composta viene sparsa sulla superficie mediante pompe con pressione adeguata, al fine di non danneggiare le sementi stesse.

La miscela deve venire applicata in maniera uniforme, mantenendone la composizione omogenea, a tale scopo l'idroseminatrice deve essere dotata di un agitatore meccanico interno e di apposite lance per l'applicazione del prodotto. La miscela che viene distribuita sul terreno è costituita da semi, collante, fertilizzanti, ed altre sostanze a seconda della funzione che si richiede al rivestimento.

Differenti condizioni caratterizzanti la sponda e la stazione quali: erodibilità, contenuto in nutrienti e struttura del terreno, pendenza della sponda e clima, richiedono tipologie di idrosemine differenti.

A seconda del tipo di componenti presenti nella miscela le idrosemine si distinguono in:

- **idrosemina semplice**
- **idrosemina a mulch a spessore (anche dette potenziate): seme, collante, fertilizzanti, mulch**
- **idrosemina a spessore: seme, collante, fertilizzanti, mulch, torba, paglia**

Dei tipi di idrosemina elencati sopra solo il primo può essere considerato un rivestimento con soli materiali vivi in senso stretto, gli altri infatti prevedono l'associazione delle piante erbacee con materiali inerti che svolgono una funzione di protezione meccanica nelle fasi di germinazione e di radicazione delle piantine.

Come per ogni intervento con materiali vivi per una buona riuscita è necessario fare della manutenzione: degli sfalci periodici almeno nel primo anno dopo la semina, alcuni cicli di concimazione e, se necessario, delle semine di ricalzo.

Al fine di evitare concorrenza tra specie a ciclo vegetativo con differenti velocità è bene limitare l'uso di specie erbacee a rapido accrescimento ed effetto immediato, anche se questo può essere vantaggioso dal punto di vista estetico e funzionale immediato.

## Descrizione e Caratteristiche

### Idrosemina semplice

**C**onsiste nel rivestimento di superfici mediante lo spargimento con mezzo meccanico di una miscela di sementi, acqua e concime ammendanti e collanti. Lo spargimento avviene mediante l'impiego di una idrosemiatrice, nella quale vengono miscelati i componenti. L'effetto antierosivo di questa idrosemina è simile a quello di una semina a spaglio in più la presenza dei collanti garantisce la protezione delle sementi durante la prima fase della germinazione. La rapida crescita di vegetazione, oltre a fornire una protezione antierosiva, instaura nel breve periodo un ambiente idoneo per la microfauna. E' una idrosemina adatta a superfici caratterizzate da scarsità di humus, mediamente acclivi e aree di notevole sviluppo superficiale.

La composizione della miscela generalmente è la seguente:

- miscela di sementi idonea alle condizioni locali (in genere si prevedono 30-40 g/mq);
- collante in quantità idonea al fissaggio dei semi e alla creazione di una pellicola antierosiva sulla superficie del terreno, senza inibire la crescita e favorendo il trattenimento dell'acqua nel terreno nelle fasi iniziali di sviluppo;
- fertilizzanti;
- acqua in quantità idonea alle diluizioni richieste;
- inoculi.

La provenienza e la germinabilità delle sementi dovranno essere certificate e la loro miscelazione con le altre componenti dell'idrosemina dovrà avvenire in loco, per evitare fenomeni di stratificazione gravitativa dei semi all'interno della cisterna se questa non è dotata di agitatore.

### Idrosemina con Mulch

## Descrizione e Caratteristiche

**E'** una idrosemina in cui la miscela è composta da: sementi, acqua e concime ammendanti e collanti e mulch.

Il mulch è una coltre in grado di fornire protezione meccanica e di svolgere un'azione regolatrice nei confronti dell'umidità. I materiali utilizzati a tale scopo sono molti, a volte bizzarri. Tra questi, quelli che oggi hanno la diffusione maggiore sono quelli a base di fibre di legno e di pasta di cellulosa: prodotti a base organica in grado di arricchire i terreni poveri e di assorbire significative quantità di acqua. Le fibre di legno, se di lunghezza opportuna, sono particolarmente efficaci in quanto hanno la capacità di formare una copertura dotata di una certa porosità, grazie alla strutturazione che conferiscono le fibre concatenandosi per mezzo del collante. In tal modo il rivestimento che si ottiene, pur avendo resistenza meccanica, non soffoca il seme assorbendo acqua regola l'umidità isolandolo termicamente sia da temperature troppo basse che da un irraggiamento solare eccessivo.

Questo tipo di idrosemina offre una protezione efficace a breve termine su sponde inclinate fino a 45°, costituite da terreni non troppo poveri in nutrienti.



## Descrizione e Caratteristiche

### Idrosemina a spessore

**H**a caratteristiche simili all'idrosemina a mulch, ma è più ricca di materiale organico e caratterizzata da uno spessore più elevato (1-2 cm).

La miscela usata per realizzare l'idrosemina a spessore ha la stessa composizione di quella con mulch, con l'aggiunta di torba (bionda e bruna). Questo tipo di idrosemina viene messa in opera distribuendo la miscela, con l'idroseminatrice, in due passaggi distinti: si crea dapprima una base ricca di materia organica usando la torba, il collante, un po' di mulch, fertilizzanti e concimi; al secondo passaggio invece la miscela applicata è molto più ricca di mulch, in modo da riportare uno strato di protezione meccanica sopra il precedente.

Questo tipo di idrosemina è particolarmente adatta per terreni poveri di nutrienti e di materiale organico, con inclinazioni fino a 50-60 °. Per le caratteristiche descritte sopra l'idrosemina a spessore viene utilizzata per il rinverdimento di terre rinforzate.

## Descrizione e Caratteristiche

### Matrice di fibre legate

**E'** a tutti gli effetti un rivestimento di scarpate fabbricato in opera. Viene realizzato con la tecnica dell'idrosemina, impiegando, al posto del mulch una miscela di fibre di legno lunghe (almeno il 50% devono essere lunghe non meno di 1 cm) ed un collante molto potente. Quest'ultimo viene usato in quantità consistenti (10 % in peso) per assicurare la formazione di legami molto resistenti tra le fibre di legno. Date le quantità di collante utilizzate è necessario che questo sia di natura organica non inquinante ed al tempo stesso non dilavabile dall'acqua.

Il risultato è la formazione di una pellicola continua dotata di resistenza meccanica significativa che riveste il terreno senza lasciare spazi vuoti, ma mantenendosi porosa ed igroscopica.

La capacità di assorbire acqua di queste miscele è molto elevata e questo consente di creare condizioni di umidità ideali per la crescita della vegetazione. Si tratta di un sistema che garantisce protezione su pendenze molto forti ed in grado di resistere anche al dilavamento dovuto alla corrente qualora si alzi il livello dell'acqua lungo la sponda.



**Figura 6.4.43:** Aspersione della miscela di matrice a fibre legate sulla sponda di un canale. La copertura deve essere completa e ed effettuata con quantità minime di prodotto per mq, al di sotto delle quali non bisogna scendere per ottenere risultati ottimali. L'idroseminatrice usata per l'applicazione, deve possedere una pompa volumetrica per non rovinare i semi frantumandoli e deve essere dotata di lance idonee allo spargimento omogeneo della miscela. A distanza di qualche mese dall'applicazione, la copertura erbacea si è sviluppata molto bene su tutta la sponda mostrata nella foto precedente.

## Descrizione e Caratteristiche

### Messa a dimora di talee

Si realizza mediante infissione nel terreno o nelle fessure tra massi di una scogliera di talee legnose e/o ramaglie di specie vegetali con capacità di propagazione vegetativa. Le piante più usate per questa tecnica sono certamente i salici, ma questi non sono adatti a tutti gli ambienti in Italia. In ambiente mediterraneo in alternativa si potranno ad esempio usare il ligustro, l'oleandro e le tamerici, specie quest'ultima resistente a condizioni alterne di forte aridità e presenza di sali nel terreno.

Questa tecnica ha un effetto consolidante che è tanto più marcato quanto maggiore è la profondità cui vengono infisse le talee. Se si usano i salici inoltre si ottiene anche una funzione di drenaggio dovuto ad assorbimento e traspirazione del materiale vivo impiegato.

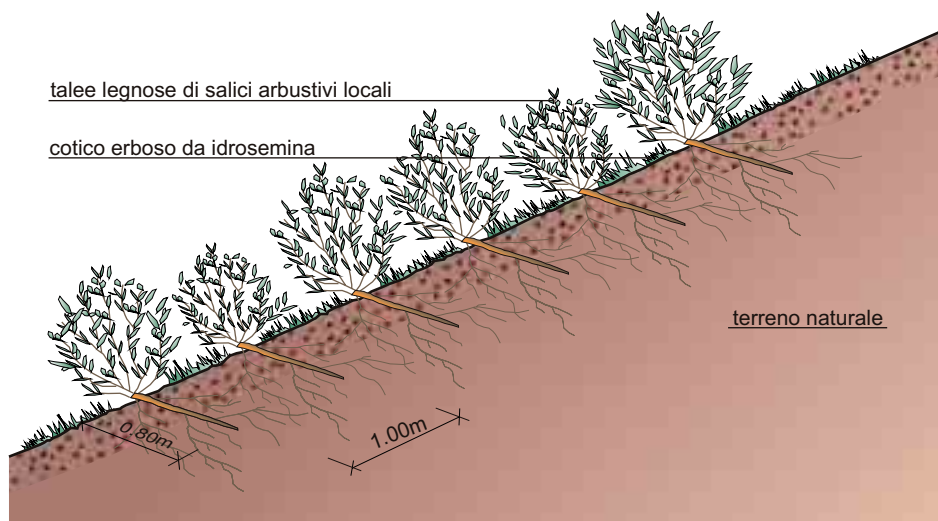
La piantagione di talee viene utilizzata per la rivegetazione e stabilizzazione di superfici spondali di neoformazione svolge una azione inizialmente puntuale e di bassa efficacia ma estesa e coprente dopo lo sviluppo (6 mesi-1/2 anni).

Questa tecnica si addice a sponde a pendenza limitata, sia fluviali che lacustri, su vari tipi di substrato; purché non litoidi e particolarmente serici; non può essere invece applicata in presenza di regimi torrentizi con correnti e trasporto solido particolarmente elevati.

La messa a dimora di talee va eseguita nel periodo di riposo vegetativo e come tutti gli interventi con materiali vivi richiede della manutenzione: saltuarie potature di irrobustimento e sfoltimento per evitare popolamenti monospecifici.

La messa a dimora di talee si effettua impiegando getti non ramificati, di 2 o più anni,  $d = 1-5$  cm,  $L = 0,50 - 0,80$  m, di piante legnose in genere arbustive con capacità di propagazione legnosa; per le tamerici vengono usate di preferenza le ramaglie in fronda mentre la talea vera e propria ha minori capacità di rigetto. Le talee vengono infisse nel terreno lasciandole sporgere al massimo per un quarto della loro lunghezza e comunque non più di 10-15 cm. La densità di impianto in genere varia tra 2 e 10 talee per mq a seconda delle necessità di consolidamento

**Figura 6.4.44:** La sezione mostra la disposizione delle piante nella messa a dimora di talee. Il terreno deve consentire l'infissione per almeno 50-80 cm le talee debbono essere inclinate leggermente sull'orizzontale.



## Descrizione e Caratteristiche

### Piantagione di arbusti

**C**onsiste nella messa a dimora di giovani arbusti autoctoni di produzione vivaistica in zolla o in vasetto. In alternativa si può ricorrere al trapianto a radice nuda, molto usato nelle zone alpine italiane ma poco proponibile nelle regioni centro-meridionali. Generalmente la piante utilizzate sono a comportamento pioniero appartenenti agli stadi corrispondenti della serie dinamica potenziale naturale del sito.

Questa tecnica ha una funzione consolidante: con il tempo si forma un fitto reticolo radicale di protezione dall'erosione; la piantagione di arbusti inoltre contribuisce ad aumentare la biodiversità, grazie anche all'instaurarsi di un ambiente idoneo ad ospitare numerose specie animali.

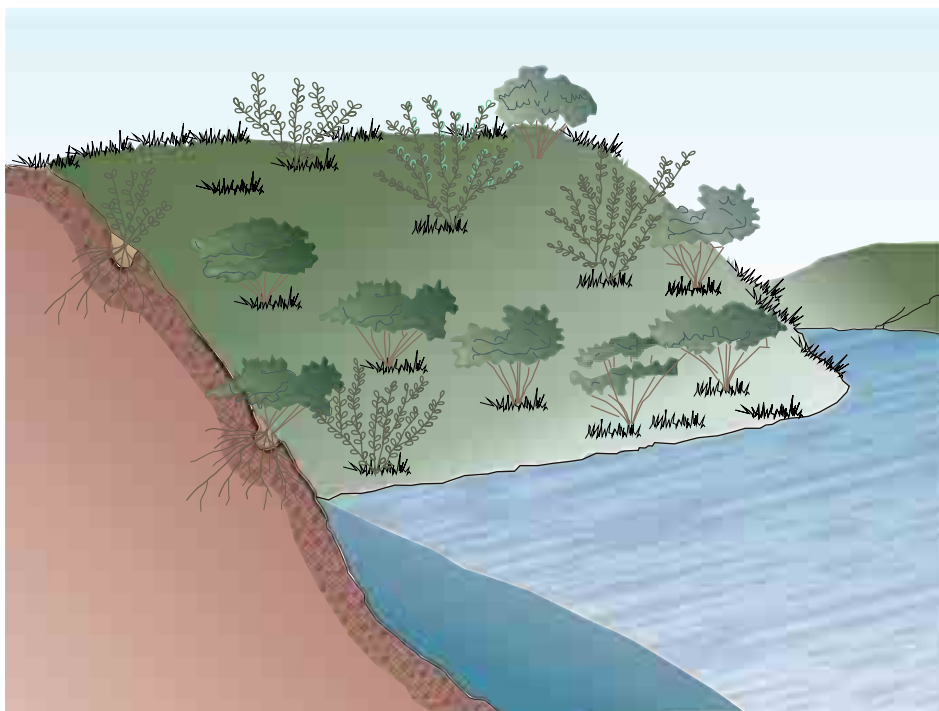
Questa tecnica è adatta a superfici a bassa pendenza con presenza di suolo organico e può essere abbinata alle stuoie, rivestimenti vari, grate e palificate, terre rinforzate ecc. Non è adatta invece ove vi siano eccesso di ombreggiamento e di aridità estiva o prolungati periodi di sommersione.

Le piante, di altezza minima compresa tra 0,30 e 0,80 m e accompagnate da certificazione di origine del seme o materiale da propagazione, vengono poste a dimora in buche di dimensioni prossime a quelle dell'apparato radicale o della zolla avendo cura, se necessario, di apportare terreno vegetale, fibra organica, fertilizzanti ed ammendanti. Le piante possono essere disposte in ragione di 1 esemplare ogni 3-20 mq. Generalmente è necessario provvedere alla pacciamatura con dischi o biofeltri o strato di corteccia di resinose per evitare il soffocamento e la concorrenza derivanti dalle specie erbacee.

Ove necessario inoltre si deve sorreggere la pianta con un palo tutore ed eventualmente provvedere a difenderla mediante reti di protezione faunistica.

Le piante a radice nuda potranno essere trapiantate solo durante il periodo di riposo vegetativo, mentre per quelle in zolla, contenitore o fitocella il trapianto potrà essere effettuato anche in altri periodi tenendo conto delle stagionalità locali e con esclusione dei periodi di estrema aridità estiva o gelo invernale.

**Figura 6.4.45:** La messa a dimora di arbusti è un valido metodo per ricreare condizioni naturali sulla sponda e consolidarla seppur in tempi più lunghi rispetto a quanto è possibile con i salici. La possibilità di usare piante in vaso od in fitocella consente di intervenire anche nei periodi in cui le piante non sono a riposo vegetativo.





## Descrizione e Caratteristiche

### Trapianto di rizomi e di cespi

**S**i tratta di una tecnica utilizzata per la propagazione delle specie di difficile reperimento in commercio e di difficile propagazione per seme, come ad esempio *Phragmites australis* e *Typha* in zone palustri.

Dal selvatico vengono prelevati rizomi e cespi in pezzi di alcuni centimetri. Questi vengono posti a dimora sul terreno e poi ricoperti con uno strato leggero di terreno, onde evitarne il disseccamento.

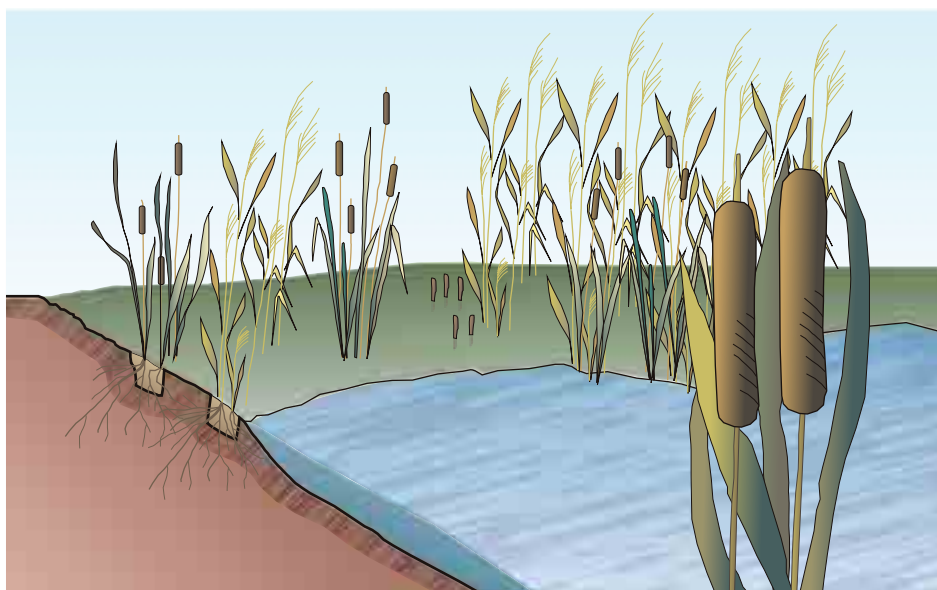
Questa tecnica garantisce una copertura del terreno rapida e più efficace rispetto a quella ottenibile con la semplice semina e consente di introdurre specie rapidamente edificatrici e di difficile reperimento commerciale sfruttando materiale reperibile nei pressi del luogo di intervento.

Il trapianto di rizomi e di cespi è adatto alle sponde fluviali, lacustri e paludi costiere salmastre nonché in ambienti igrofili e su substrati non drenanti.

Sotto il profilo del consolidamento questa tecnica è meno efficace rispetto all'impiego di piante nate da seme in quanto la radicazione non è altrettanto profonda, ma ha certamente un'ottima valenza ecologica. Svantaggi del trapianto di rizomi e di cespi sono l'elevato consumo di materiale ed lavoro lungo e impegnativo.

Il trapianto va eseguito all'inizio o al termine del periodo di riposo vegetativo in ragione di 3-5 pezzi per mq.

**Figura 6.4.46:** Trapianto di rizomi e di cespi.



## Descrizione e Caratteristiche

### Viminata viva spondale

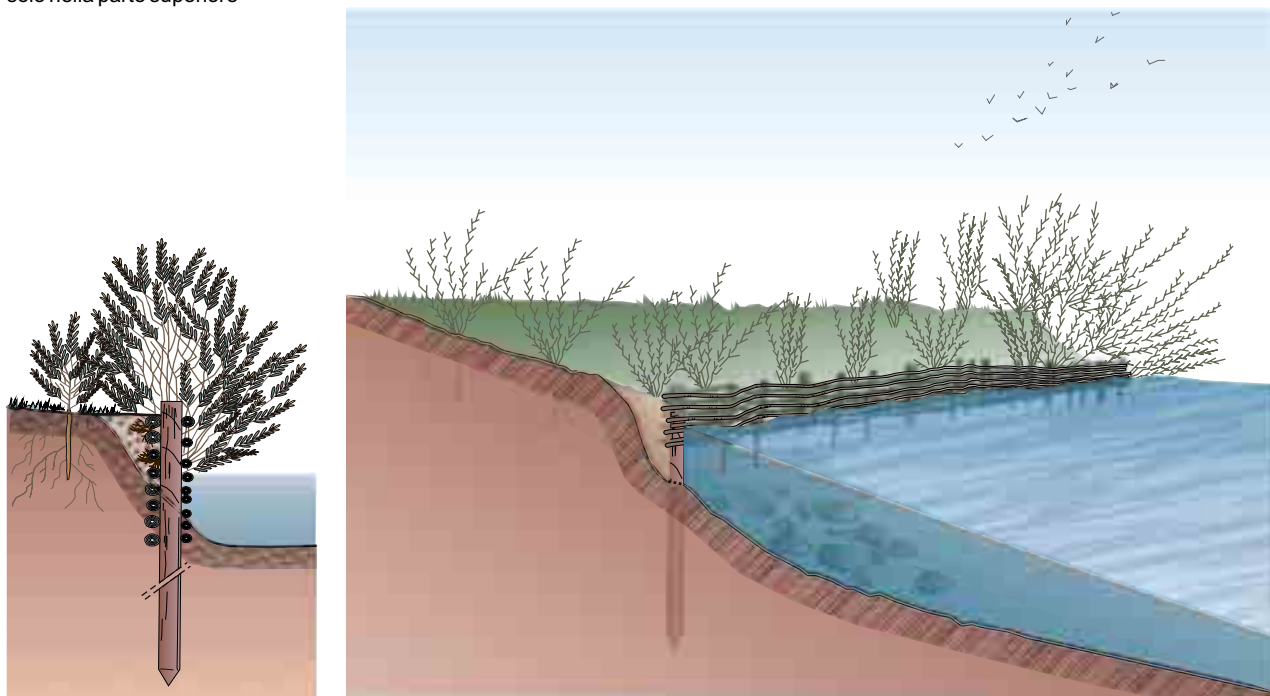
**L**a viminata viva è costituita da un intreccio di verghe, attorno a paletti in legno, di specie legnose, con capacità di propagazione vegetativa, disposte in modo da formare una piccola parete verticale addossata al terreno della sponda, alta fino a 50 cm.

Questa piccola struttura consolida immediatamente gli strati superficiali di terreno spingendo in profondità il proprio effetto quando le verghe emettono radici. Le vimate spondali vengono utilizzate su sponde di piccoli corsi d'acqua per creare dei piccoli terrazzamenti o sostegni spondali di presidio del piede e generalmente sono costituite da una sola fila parallela alla direzione del flusso. La tecnica è applicabile lungo corsi d'acqua con velocità della corrente medio-bassa e trasporto solido ridotto.

La viminata spondale offre il vantaggio di una rapida stabilizzazione di piedi di sponda in erosione e di una notevole adattabilità alla morfologia della scarpata, ma la sua applicabilità è condizionata dal fatto che richiede una notevole mano d'opera e grandi quantità di verghe lunghe ed elastiche da intrecciare; inoltre poiché si usano verghe dotate di capacità di propagazione vegetativa, gli interventi vanno realizzati durante il periodo di riposo vegetativo.

La struttura viene realizzata con paletti di legno (resinosa, castagno) di  $\varnothing = 8-15$  cm, di lunghezza 100-150 cm infissi verticalmente lungo la sponda per una altezza fuori terra di circa 50 cm, posti alla distanza massima di 1 m uno dall'altro. I paletti vengono collegati tra loro da verghe di salice vivo o altra specie legnosa con capacità di propagazione vegetativa, di almeno 150 cm di lunghezza, intrecciate sui paletti e legate con filo di ferro. Il contatto con il terreno spondale deve essere assicurato in ogni punto per consentire l'attecchimento e radicazione delle piante.

**Figura 6.4.47:** Lo schema mostra una viminata spondale, usata per proteggere la piccola sponda di un corso d'acqua. Posta parzialmente sotto il livello dell'acqua, la struttura ricaccerà solo nella parte superiore



## Descrizione e Caratteristiche

### Ribalta viva

**E'** costituita da strati alterni di fascine vive, disposte longitudinalmente alla sponda, e ramaglia viva di salici, disposta trasversalmente, sopra il livello medio dell'acqua. Al fine di ricostituire una sponda erosa tale modulo va ripetuto fino al riempimento dell'erosione e al raggiungimento dell'altezza desiderata. Si completa a tergo delle fascine con riempimento di inerte. Al di sotto del livello medio dell'acqua si pone materiale morto. Le fascine vengono fissate con paletti di legno e ferro, disposti con orientazione alternata.

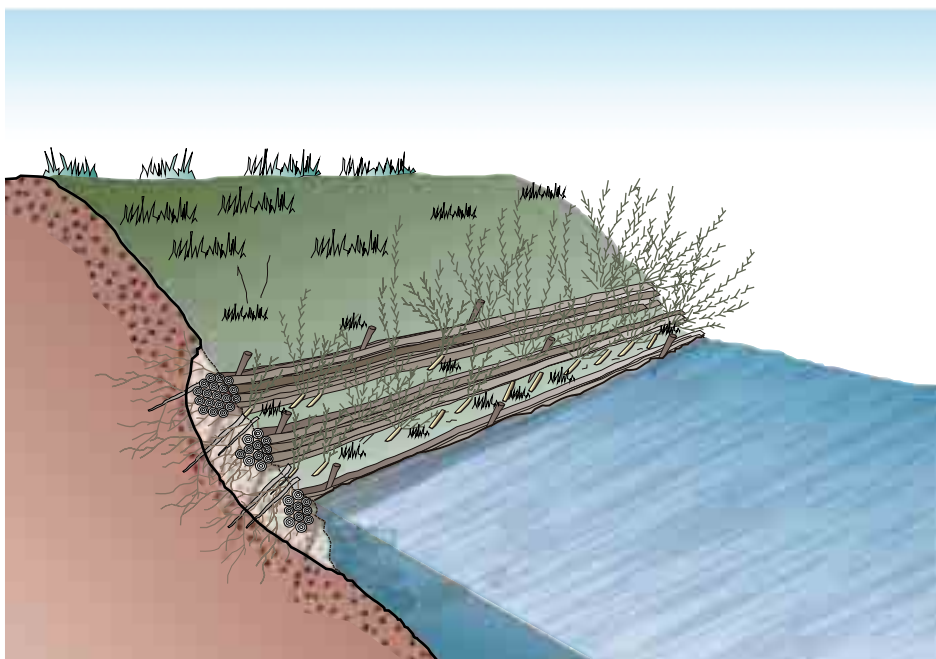
Questa tecnica viene usata nei ripristini spondali in corsi d'acqua ad energia media quando non si può migliorare la stabilità della sponda diminuendone la pendenza. La ribalta viva ha un'efficacia immediata poiché la ramaglia esercita una protezione meccanica e rallenta l'acqua diminuendone la capacità erosiva; col tempo la capacità protettiva aumenta grazie alla radicazione delle verghe di salice.

La ribalta viva va impiegata tenendo in considerazione gli effetti che avrà sul regime di flusso delle acque: i salici sviluppandosi causano una diminuzione della sezione idraulica ed inoltre la disposizione delle fascine e gradonate, soprattutto se troppo sporgenti, può produrre turbolenze in grado d'innescare fenomeni erosivi.

Questa tecnica comporta l'uso di grandi quantità di materiali vivi e deve essere realizzata solamente nei periodi di riposo vegetativo.

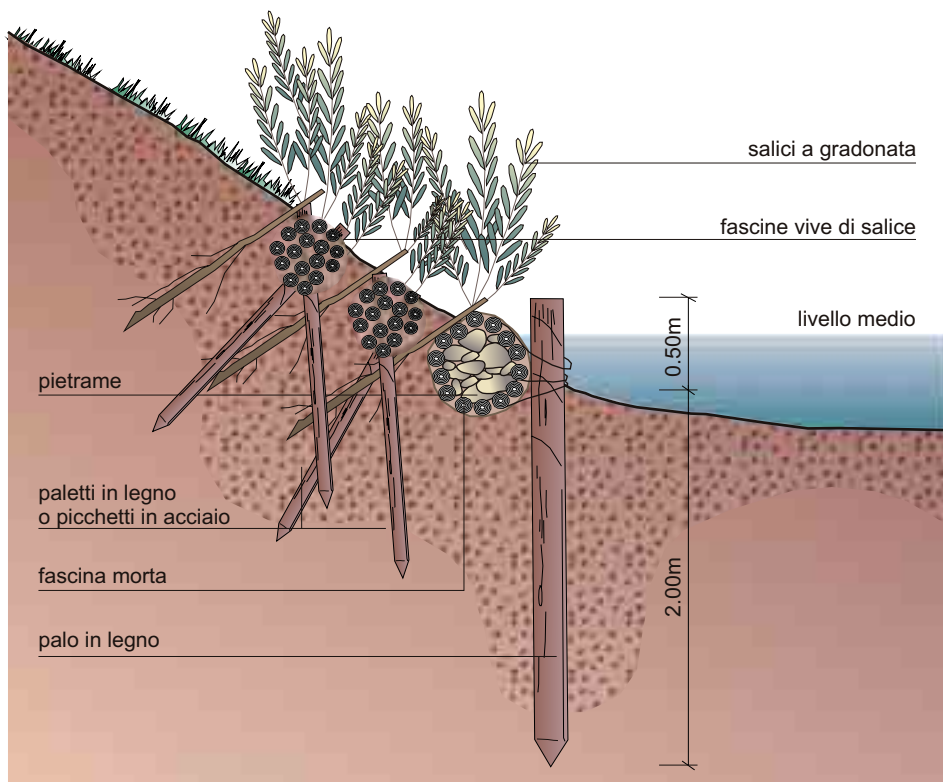
La ricostruzione spondale si effettua per mezzo di strati alterni di fascine vive di  $\varnothing=25-30$  cm e ramaglia viva di Salici, Tamerici o altra specie legnosa con capacità di riproduzione vegetativa. Le fascine vengono collocate lungo la sponda in modo da ridisegnarne l'andamento, si fissano con dei picchetti e vengono poi riempite a tergo con inerti. Sopra la fascina si pone uno strato di ramaglia viva ed il modulo così descritto viene ripetuto fino alla completa ricostruzione della sponda. La ramaglia, eventualmente disposta in obliquo rispetto alla corrente, andrà legata con molti punti di legatura e fissata con piloti in funzione dell'entità delle tensioni di trascinalimento della corrente previste. La base della sponda, al di sotto del livello dell'acqua, deve venire protetta con materiali inerti. Pertanto l'operazione di ricostruzione viene preceduta dalla posa di una fascina morta di  $\varnothing=60$  cm o di blocchi di scogliera, a seconda delle necessità.

**Figura 6.4.48:** Disegno schematico di una ribalta viva, il materiale vivo viene impiegato solo al di sopra del livello medio dell'acqua, sia nelle fascine che nella ramaglia.





**Figura 6.4.49:** La ribalta viva nella parte al di sotto del livello medio dell'acqua sarà costituita da materiale inerte. Il presidio del piede può essere reso più efficace mettendo del pietrame dentro la fascina per appesantirla o sostituendo quest'ultima con una piccola scogliera.



**Figura 6.4.50:** Costruzione di una ribalta viva: si stanno posando gli elementi trasversali (in questo caso delle talee al posto della ramaglia). Al di sopra verrà posata una ulteriore fascina e poi si completerà con un riempimento con terreno nella parte sommitale dell'opera. Sponda sin. Immissario lago di Lugano.



## Descrizione e Caratteristiche

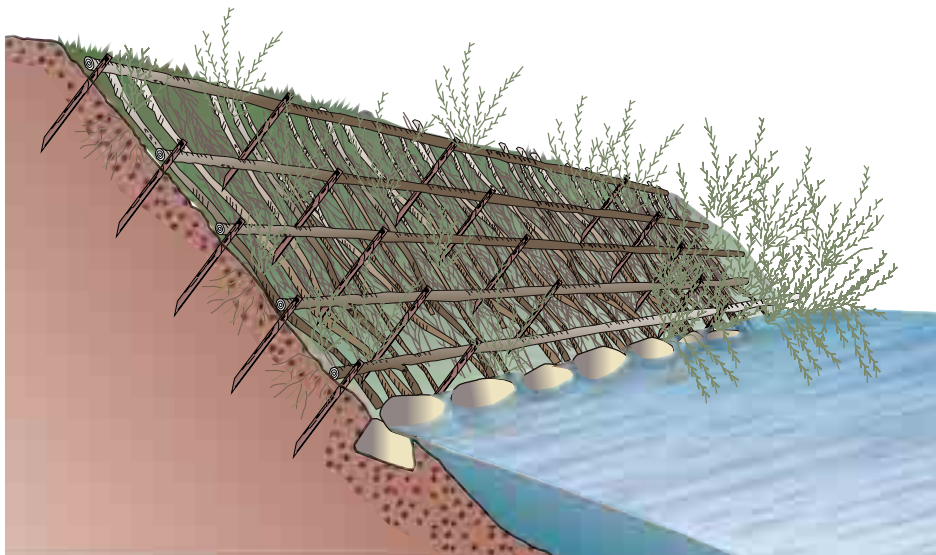
### Copertura diffusa con ramaglia viva o con astoni

**Q**uesta tecnica consiste nella stesura sulla superficie di una sponda di ramaglia viva di specie vegetali con capacità di propagazione vegetativa (ad es. Salici, Tamerici). La ramaglia viene posta perpendicolarmente alla direzione della corrente ed è fissata al substrato mediante filo di ferro teso tra picchetti e paletti vivi e/o morti. Gli strati di ramaglia, disposti in tal modo coprono la superficie della sponda proteggendola, sin dalla messa in opera, dall'erosione esercitata dalla corrente.

La resistenza alle tensioni tangenziali di questa tecnica, aumenta progressivamente con lo sviluppo delle radici e può arrivare a valori molto elevati, passando dai 50 N/mq di inizio lavori ai 300 N/mq dopo il 3° periodo vegetativo. E' una tecnica adatta a sponde di corsi d'acqua che necessitano di una protezione continua ed elastica, in grado di sviluppare un effetto minimale immediato.

Questa tecnica pur resistendo a tensioni tangenziali elevate non è adatta a corsi d'acqua con velocità della corrente e trasporto solido notevoli.

**Figura 6.4.51:** Lo schema mostra la disposizione della ramaglia su una sponda. Al piede sono stati posati dei blocchi per proteggere il rivestimento nel punto più critico. Sono ben visibili gli astoni correnti che vengono usati per fissare la ramaglia e mantenerla aderente alla sponda.



**Figura 6.4.52:** Realizzazione di una copertura diffusa con astoni di salice. Si osservino i paletti verticali usati per fissare i correnti che verranno posati successivamente sugli astoni.



## Descrizione e Caratteristiche

La copertura diffusa comporta un elevato impiego di materiale vivo e richiede tempi lunghi per la posa in opera. Nel tempo è necessaria la manutenzione con tagli di potatura e sfoltimento per evitare una crescita irregolare delle piante.

Una controindicazione di natura ecologica di questa tecnica è la tendenza alla formazione di fitocenosi monospecifiche di salice.

La copertura diffusa viene realizzata rivestendo la sponda, precedentemente rimodellata, per mezzo di ramaglia viva disposta con densità di 20-50 verghe o rami per metro, di lunghezza minima di 150 cm. Le piante vengono disposte perpendicolarmente alla corrente intercalate da paletti di castagno infissi per almeno 60 cm e sporgenti per 20 cm, collocati in file distanti 1 m e con interasse da 1 a 3 m a seconda della pressione idraulica.

La parte inferiore dei rami dovrà essere infissa nel terreno o nel fondo e lo strato inferiore dovrà coprire lo strato superiore con sormonto di almeno 30 cm.

La ramaglia verrà fissata ai paletti tramite filo di ferro o correnti in legno, astoni vivi, fascine vive e ricoperta con un sottile strato di terreno vegetale. La base della sponda verrà poi consolidata con una fascina viva o morta o con una fila di tronchi o con blocchi di pietrame (di dimensioni minime di 0,2 mc) eventualmente collocati in un fosso preventivamente realizzato.

Una variante di questa tecnica è detta copertura diffusa "armata" e consiste nell'uso al piede di blocchi di pietrame che vengono collegati con una fune di acciaio fissata a pali di legno o di ferro, onde consentire una maggior protezione al piede, pur conservando una certa elasticità. Il periodo migliore di esecuzione è il tardo autunno.



**Figura 6.4.53:** La costruzione della copertura diffusa e terminata, la sponda è coperta in maniera continua dalla ramaglia, che è solidamente fissata alla sponda per mezzo dei correnti ancorati ai paletti verticali. Nel giro di un anno si imposterà una vegetazione fitta ed elastica, dotata di una capacità protettiva molto elevata.