



**UNIVERSITA'
DEL SALENTO**

COSTRUZIONI IDRAULICHE



LEZIONE 17. Ingegneria Naturalistica: Esempi di Interventi

Felice D'Alessandro



Ingegneria Naturalistica: definizione

“L’ingegneria naturalistica” è una disciplina “tecnico-scientifica” che studia le modalità di utilizzo, come materiali da costruzione, di piante viventi, di parte di piante o addirittura di intere biocenosi vegetali, spesso in unione con materiali non viventi come pietrame, legname, acciaio”

(Schiechl, 1973)





Indice

- Proprietà dell'Ingegneria Naturalistica
- Vantaggi/Svantaggi
- Limiti
- Materiali
- Interventi di sistemazione
- Errori nella realizzazione





Proprietà dell'Ingegneria Naturalistica

- Idrogeologica
- Naturalistica
- Estetico-paesaggistica
- Economica





Vantaggi

- Maggiore economicità
- Minor impatto ambientale
- Efficacia che aumenta nel tempo
- Flessibilità degli interventi (deformabilità e riparazione del danno)





Svantaggi

- Non immediata efficacia
- Principi progettuali non ancora definiti e tecniche costruttive non ancora standardizzate
- Monitoraggio e manutenzione
- Reperibilità del materiale





Limiti

➤ Tecnico-costruttivi

Ad esempio difese spondali ad efficacia diffusa (copertura diffusa di salici); pendenza/inclinazione delle sponde; caratteristica dei terreni; reperibilità del materiale.

➤ Climatici

Pluviometria/termometria molto variabile nel territorio nazionale (stress idrico).

➤ Funzionali

Interventi non efficaci nell'immediato; idonea crescita/sviluppo delle piante.

➤ Esecutivi

Bisogna attendere il periodo di riposo vegetativo per la realizzazione.

➤ Biologici

Necessità di reperire nelle aree oggetto di intervento specie vegetali con elevata capacità radicali ed arbustive; stabilità/cedimenti.





Materiali

➤ Specie vegetali (piante)

Ecotipi locali, efficacia che aumenta all'aumentare del tempo, apparato radicale e arbustivo, gli inerti come complemento delle caratteristiche di stabilità delle specie vegetali.

Proprietà meccaniche poco note, possono alterarsi come conseguenza di stati di sofferenza, capacità di attecchimento > 70%.

➤ Inerti

- organica (legname, fili e stuoie di paglia, juta, cocco)

Non bisogna utilizzare legni dolci (abete).

Tenere d'occhio le dimensioni.

- inorganica

- naturali (pietrame)
- artificiali/industriali (acciaio/geosintetici)





Interventi di sistemazione

- Sistemazioni fluviali
- Sistemazioni di versante





Sistemazioni fluviali

➤ Regimazione delle portate

- Arginature
- Dighe
- Vasche di laminazione
- Diversivi e scolmatori

➤ Sistemazione

- Risagomatura delle sezioni
- Stabilizzazione dell'alveo
- Tracciato plano-altimetrico
- Difese spondali
- Difesa dall'erosione





Difese spondali

Tecniche antierosive e di consolidamento delle sponde

➤ Efficacia diffusa

Viene interessata l'intera superficie spondale (rivestimento spondale)

- COPERTURA DIFFUSA DI SALICI

➤ Efficacia lineare

Opere verticali che proteggono segmenti di sponda

- FASCINATA VIVA
- PALIFICATA VIVA
- VIMINATA DI SALICI

➤ Efficacia puntiforme

A supporto di altri interventi

- RULLO CON RAMAGLIA E PIETRAME (protezione al piede)





La scelta degli interventi è anche legata alla loro localizzazione:

ZONE MONTANE: necessità di ricorrere agli inerti di supporto

MEDIO-VALLIVE: al ridursi della capacità di trasporto dell'alveo aumentano le possibili scelte di intervento

Interazione alveo/corrente = f (geometria dell'alveo, pendenza dell'alveo che influenza la velocità della corrente, capacità di trasporto, trasporto solido)





Esempi di interventi

EFFICACIA DIFFUSA

- Copertura diffusa

EFFICACIA LINEARE

- Fascinata viva di salici
- Palificata viva di salici
- Viminata di salici

EFFICACIA PUNTIFORME

- Rullo con ramaglia e pietrame





Copertura diffusa

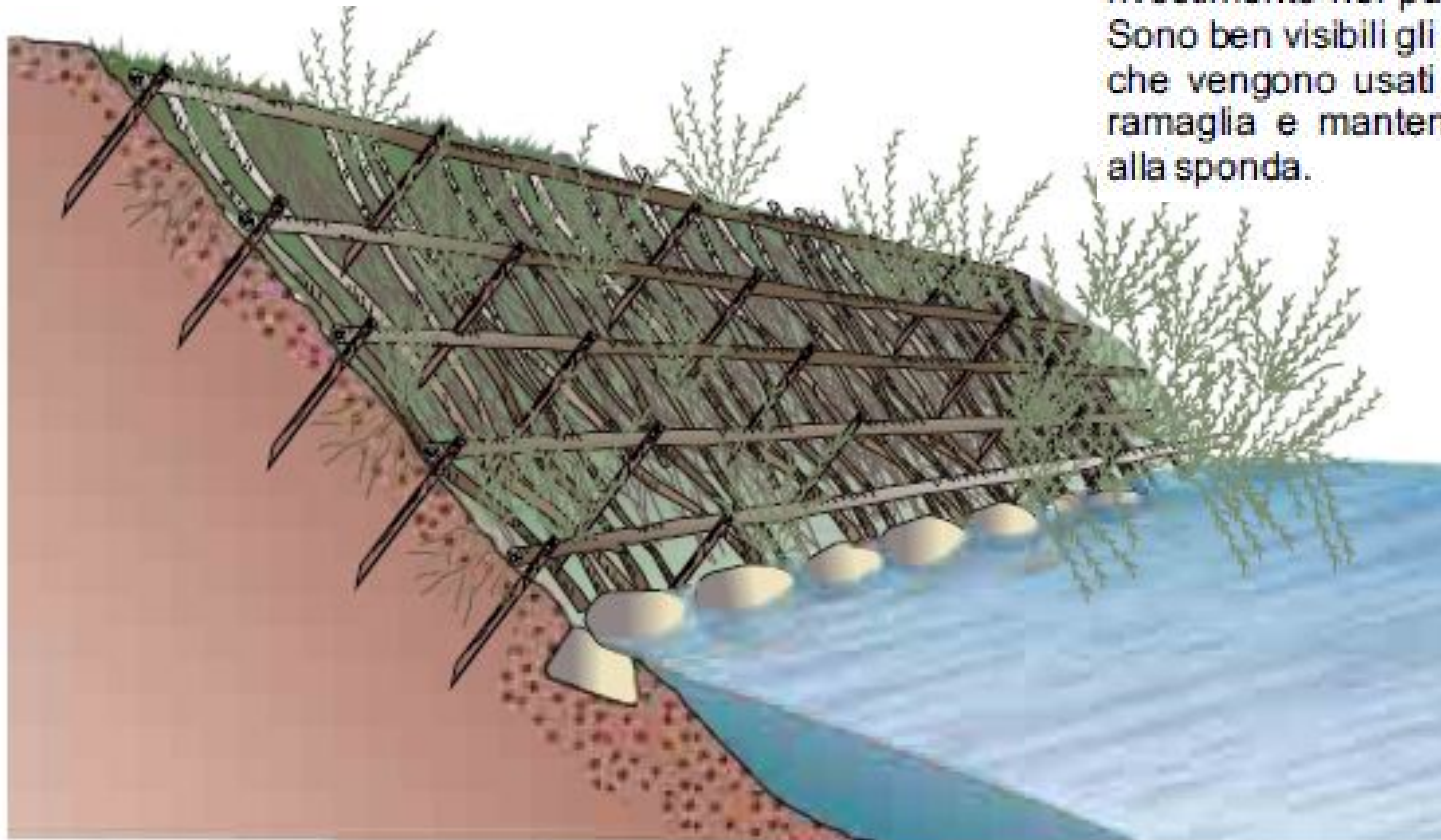


Figura 6.4.51: Lo schema mostra la disposizione della ramaglia su una sponda . Al piede sono stati posati dei blocchi per proteggere il rivestimento nel punto più critico. Sono ben visibili gli astoni correnti che vengono usati per fissare la ramaglia e mantenerla aderente alla sponda.



Copertura diffusa

Questa 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.





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.

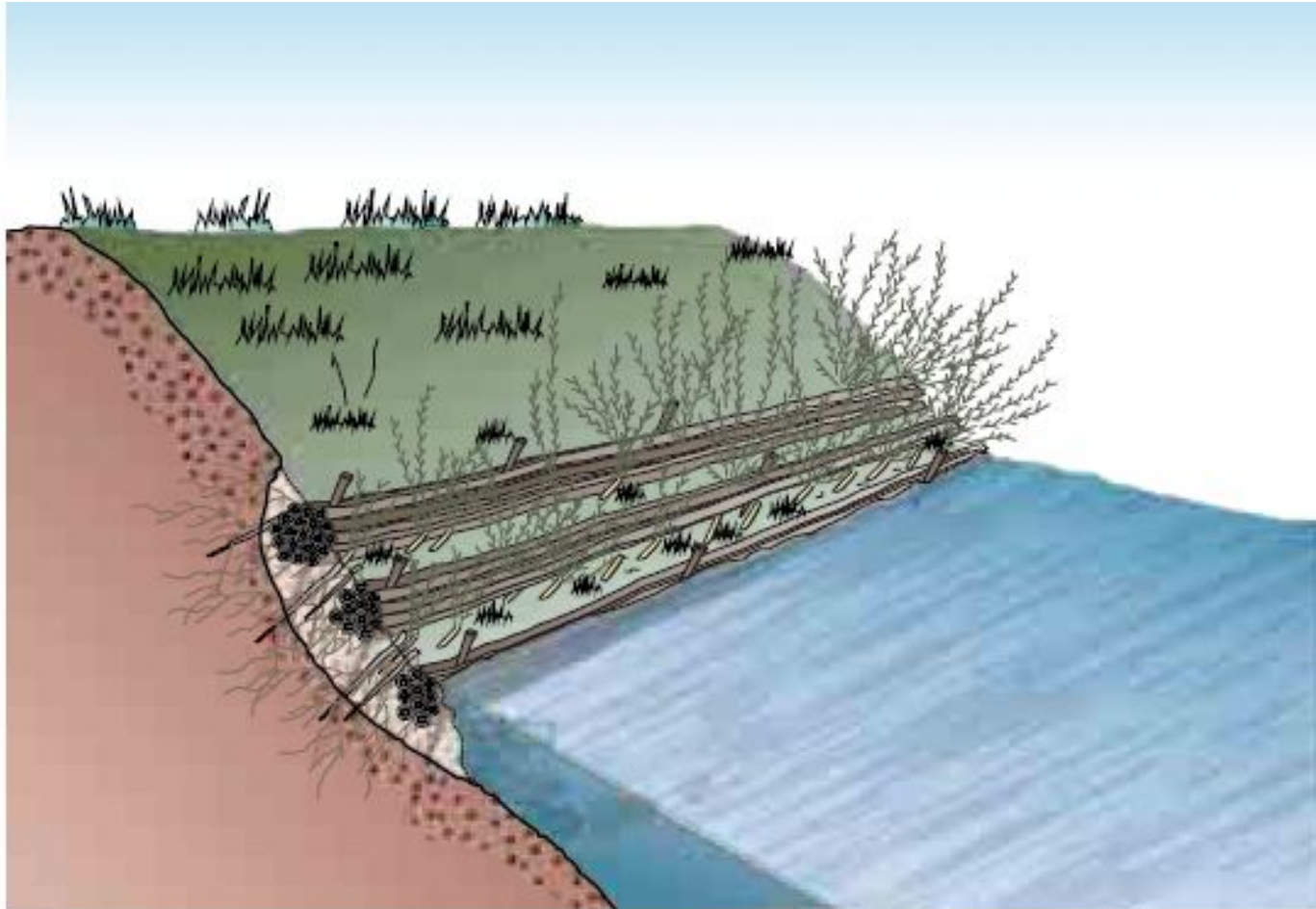
La ramaglia verrà fissata ai paletti tramite filo di ferro o correnti in legno, astoni vivi, fascine vive e ricoperta con un sottile strato di terreno vegetale. La base della sponda verrà poi consolidata con una fascina viva o morta o con una fila di tronchi o con blocchi di pietrame (di dimensioni minime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





Fascinata viva di salici





Fascinata viva di salici

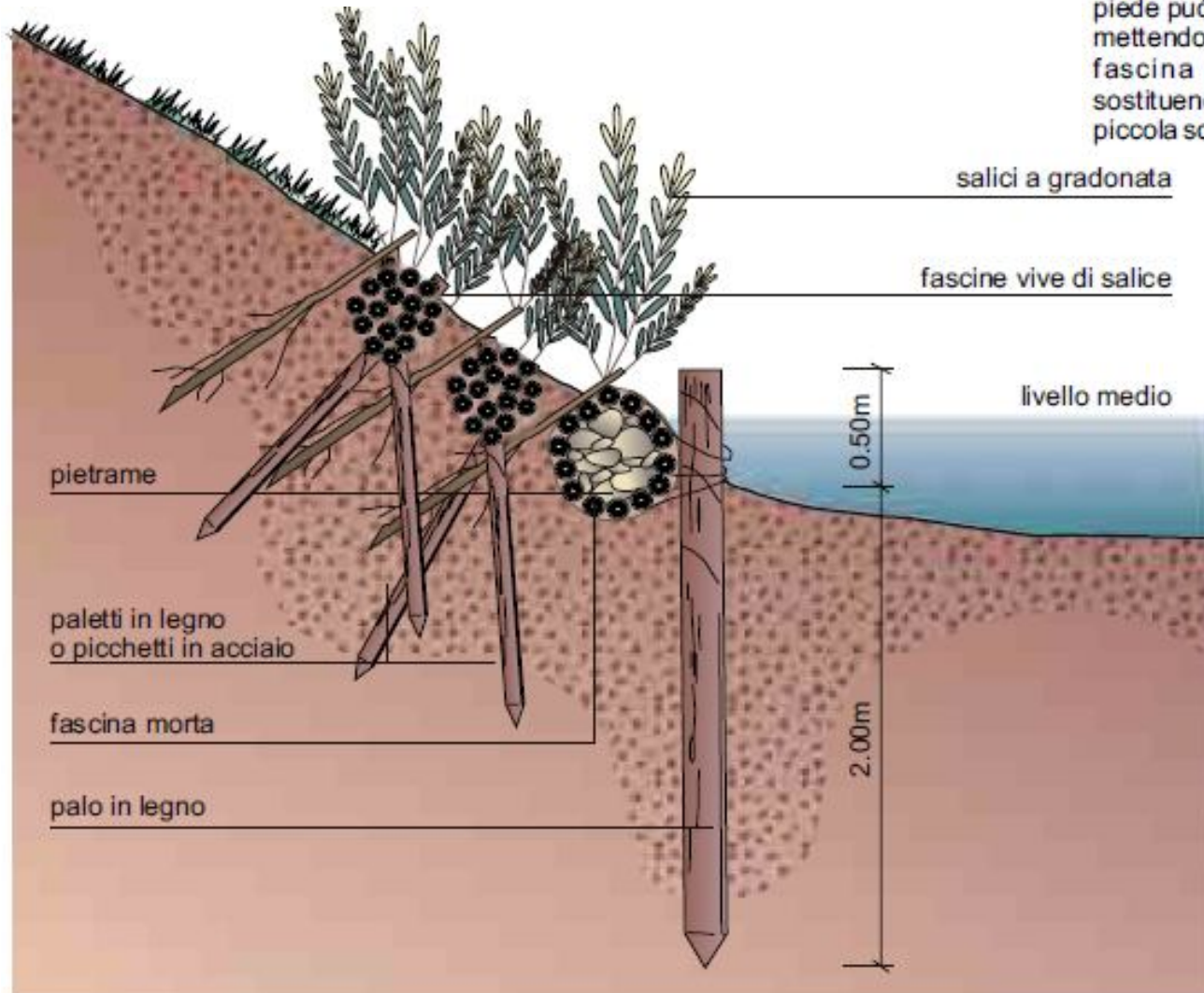


Figura 6.4.49: La ribalta viva nella parte al di sotto del livello medio dell'acqua sarà costituita da materiale inerte. Il presidio del piede può essere reso più efficace mettendo del pietrame dentro la fascina per appesantirla o sostituendo quest'ultima con una piccola scogliera.



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 trascinarsi 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.





Palificata viva

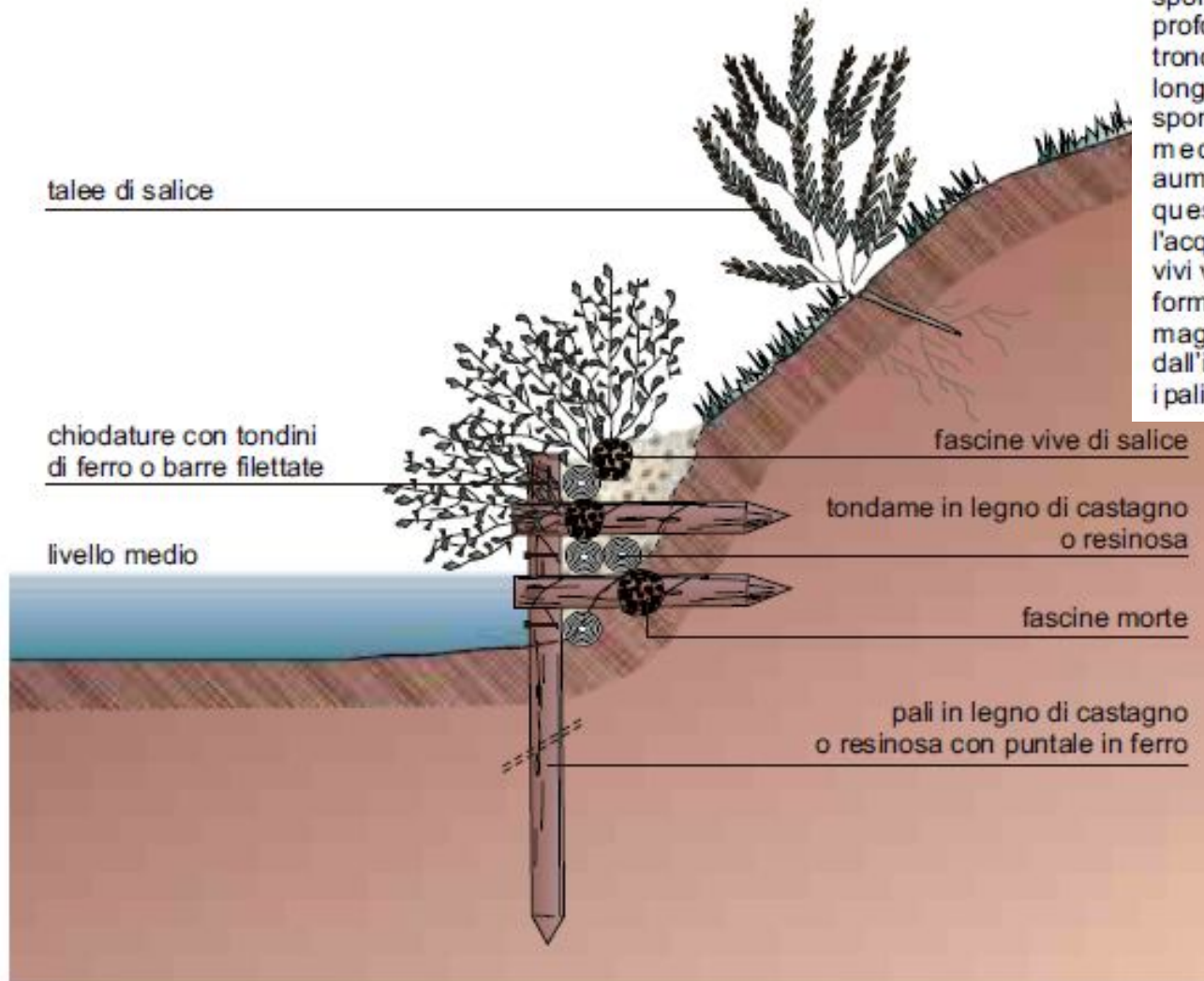


Figura 6.5.4: La palificata di sponda con palo verticale frontale è un valido presidio per il piede di sponde di corsi d'acqua poco profondi. Viene realizzata con tronchi disposti trasversalmente e longitudinalmente rispetto alla sponda che vengono collegati mediante chiodature. Per aumentare la stabilità dell'opera questa viene bloccata verso l'acqua con pali verticali. I materiali vivi vengono messi a dimora sotto forma di fascine di diametro maggiore dei tronchi, poste dall'interno a chiudere gli spazi tra i pali.



Questo tipo di struttura consiste in un' incastellatura di tronchi a formare camere frontali dietro le quali vengono inserite fascine. I tronchi correnti e quelli trasversali vengono inchiodati su pali frontali verticali infissi nel terreno di fondazione.

L'opera, addossata alla sponda in erosione, viene riempita con terreno sopra il livello medio dell'acqua, mentre al di sotto si pone del pietrame.

La struttura è adatta al presidio al piede di sponde soggette ad erosione laddove sia sufficiente proteggere per una altezza non superiore agli 80-100 cm e sia possibile infiggere i pali nell'alveo, la sponda non deve essere affetta da problemi significativi di instabilità .

L'efficacia dell'opera è immediata e cresce nel tempo grazie alla radicazione delle piante; le palificate spondali inoltre hanno il pregio di consentire la rapida ricostruzione di habitat per microfauna acquatica.

La struttura è costituita da tondami di castagno o di resinosa di $\varnothing = 20 - 25$ cm e di 3 -5 m di lunghezza, infissi verticalmente per almeno $2/3$ e addossati alla sponda stessa, dietro i quali vengono collocati tronchi orizzontali, paralleli alla sponda, alternati ad altri tronchi di minimo 1 m di lunghezza inseriti nella sponda in senso ortogonale ad essa.

I singoli tondami vengono fissati l'uno all'altro con chiodi o barre filettate in tondino $\varnothing = 14$ mm. Per impedire lo sviluppo di fenomeni erosivi, gli interstizi tra i tronchi longitudinali vengono riempiti con pietrame o con gabbioni cilindrici sino al livello di magra dell'acqua. Negli interstizi sovrastanti vengono inserite a tergo e ricalzate con inerte terroso, fascine di salice (o tamerici in acque salmastre).

Per aumentare gli effetti sotto il profilo ambientale si possono creare tane per ittiofauna ricavando delle nicchie nella parte sommersa individuate per mezzo di pareti in legname all'interno del riempimento in pietrame.





Viminata viva

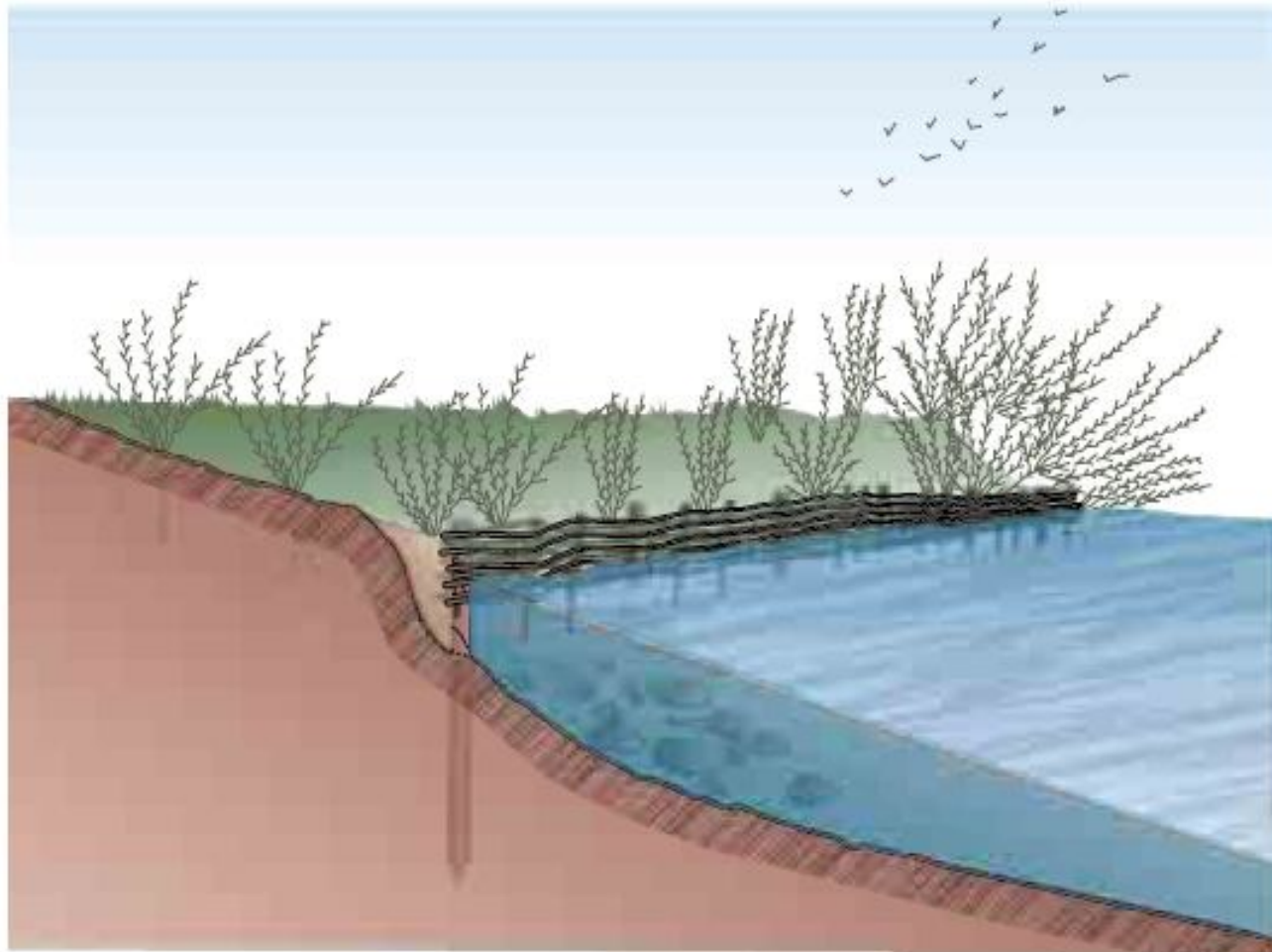
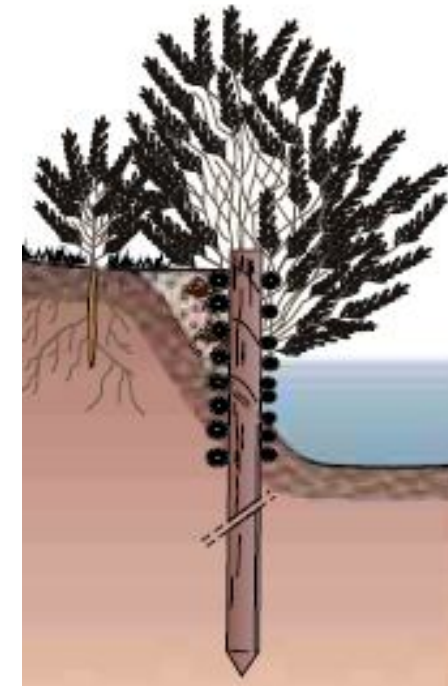


Figura 6.4.47: Lo schema mostra una viminata spondale, usata per proteggere la piccola sponda di un corso d'acqua. Posta parzialmente sotto il livello dell'acqua, la struttura ricaccerà solo nella parte superiore





La 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 viminate 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 .

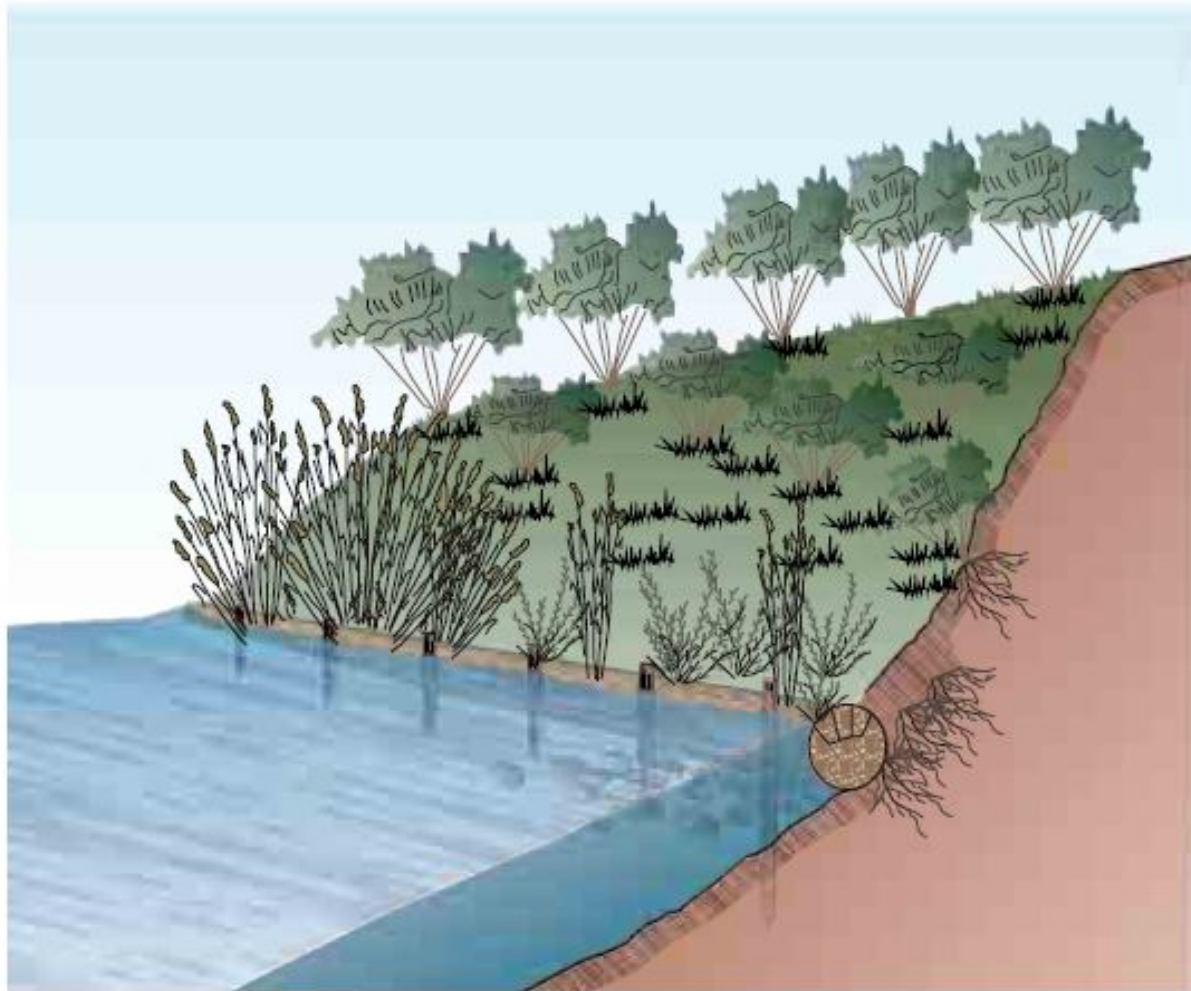
La viminata spondale offre il vantaggio di una rapida stabilizzazione di piedi di sponda in erosione e di una notevole adattabilità alla morfologia della scarpata, ma la sua applicabilità è condizionata dal fatto che richiede una notevole mano d'opera e grandi quantità di verghe lunghe ed elastiche da 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.





Rullo con ramaglia e pietrame





Si tratta di un cilindro in rete metallica zincata e plasticata o in rete sintetica, foderato con una geostuoia sintetica o un feltro di fibre vegetali, riempito con una miscela di ghiaia e sabbia. Nella parte superiore si mettono a dimora con pani di canne o altre piante igrofile. Per impedire la rimozione da parte della corrente i cilindri vengono ancorati con pali di legno frontali.

Questa tecnica è adatta alla protezione di canali in erosione, corsi d'acqua a bassa pendenza, sponde lacustri, in situazioni caratterizzate da modeste oscillazioni del livello dell'acqua.

Si ottiene un rapido effetto di consolidamento e rinaturalizzazione delle sponde e golene legato al rapido sviluppo del canneto consentendo di creare habitat adatti all'insediamento di avifauna ed ittiofauna.

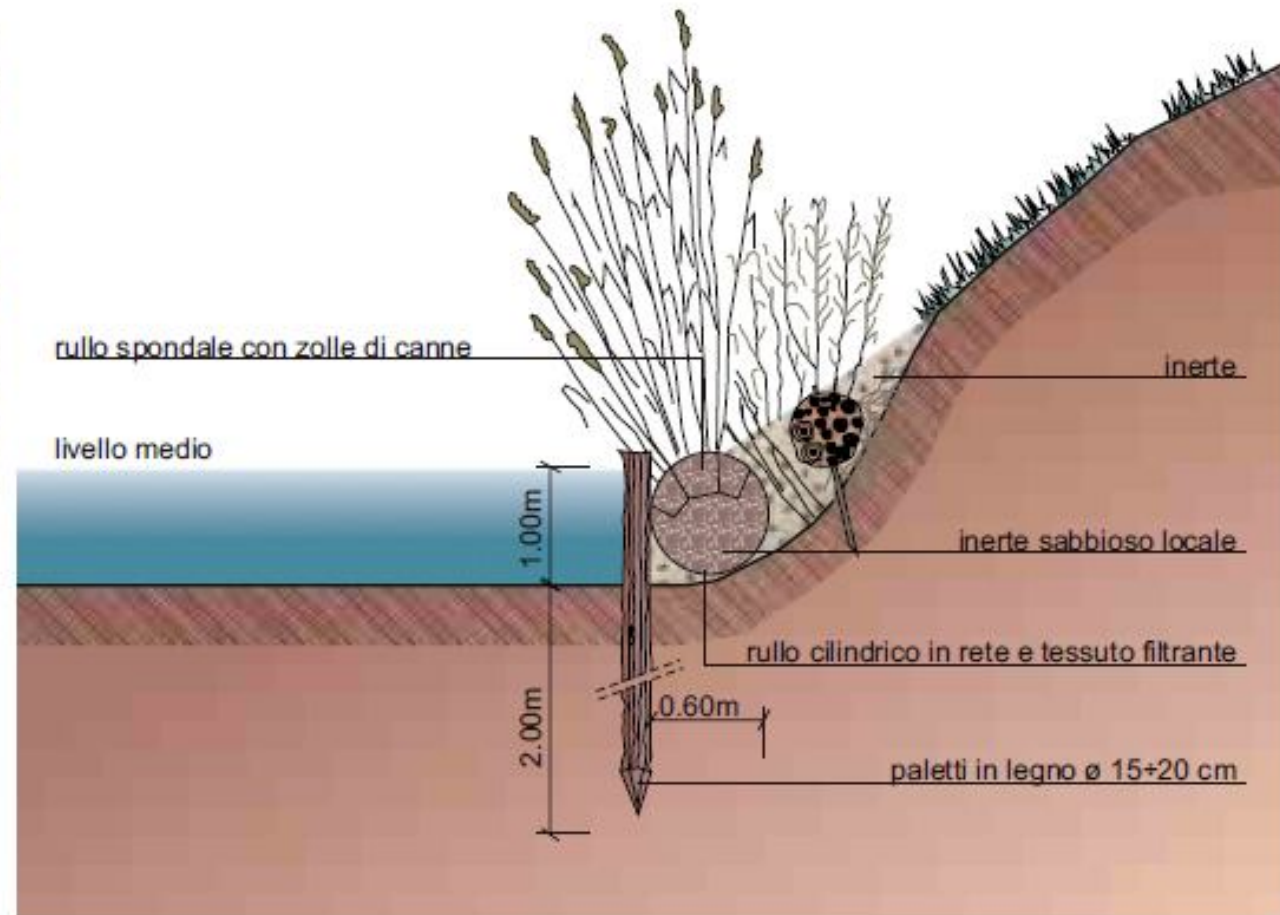
La struttura si realizza mediante la formazione di un rullo cilindrico in rete zincata plasticata di maglia minima tipo 8x10 o in georete sintetica, a telo aperto di larghezza minima di 120-160 cm, disposta in un solco predisposto di minimo 40x40 cm. Dalla parte dell'acqua i cilindri vengono sostenuti da pali di legno, dimensionati e distanziati in funzione del substrato e delle sollecitazioni cui sono soggetti. La rete va rivestita internamente con una stuoia o un geotessuto filtrante sintetico o in fibra vegetale e viene poi riempita di tout-venant sabbioso o ghiaioso (granulometria 80-120 mm) per i 2/3 inferiori. Nella restante parte superiore del rullo vengono collocati pani di canne ed altre specie igrofile (Phragmites, Juncus, Typha, Phalaris, Schenoplectus, ecc.). Terminato il riempimento il cilindro si chiude e si lega con filo di ferro. Ad operazione conclusa il rullo sporge per 5-10 cm sul livello medio dell'acqua ed il raccordo con la sponda viene eventualmente realizzato con ramaglie o fascine di salici e tamerici.

La lavorazione deve avvenire durante il periodo di riposo vegetativo, possibilmente in primavera prima della germogliazione.





Figura 6.5.8: Il rullo bloccato dalla parte dell'acqua mediante pali di legno, nel giro di breve tempo è soggetto alla radicazione da parte delle canne. Queste, insieme alle piante sviluppatesi dalle fascine vive poste a tergo, esercitano una efficace protezione della sponda nei confronti di correnti poco veloci ed al contempo creano un ambiente favorevole all'insediamento della fauna. Le canne inoltre apporteranno ulteriori benefici contribuendo alla depurazione delle acque.





Considerazioni sulla presenza di vegetazione in alveo

Indici di resistenza al moto

Interferenza tra la presenza di vegetazione sulle sponde e la corrente in alveo (deflusso delle acque)

VANTAGGIO: Riduzione dell'erosione, protezione delle sponde, stabilità contro l'azione della corrente.

SVANTAGGIO: Riduzione della sezione di deflusso (soprattutto nelle sezioni piccole), aumento del coefficiente di scabrezza.

Rispetto ad un argomento così importante e complesso vi è da evidenziare che numerose sono state le ricerche (in laboratorio e su campo) al fine di stabilire valori attendibili per le resistenze al moto prodotte dalle differenti specie vegetali (Armanini et al. 1998, 2004; Ferro 2008)





Sistemazioni di versante

- Fascinata di versante
- Cordonata viva in legname
- Grata viva

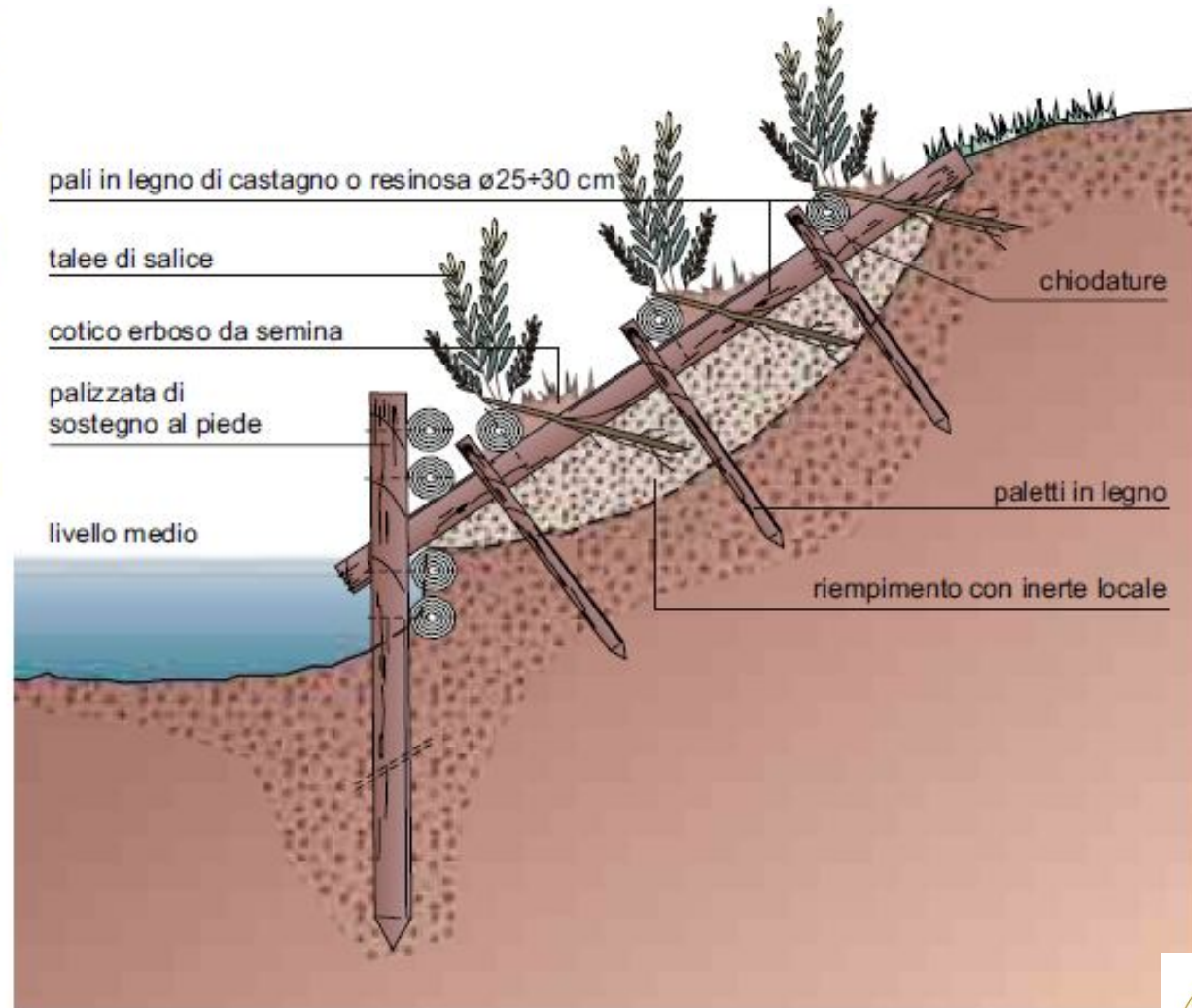




Grata viva

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.





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





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.

