

L'ingegneria naturalistica tende ad utilizzare in modo equilibrato materiali ed elementi costruttivi vivi ed inerti, spesso associati per usufruire dei rispettivi vantaggi.

L'efficacia dei metodi che usano i materiali viventi (parti di piante, piante, associazioni vegetali), sta nel progressivo consolidamento del suolo con un impianto radicale a maglia stretta scaglionato in profondità, nella difesa compatta delle superfici, nella trasformazione dell'energia dell'acqua e del vento da parte dell'apparato vegetale superficiale, nella rigenerazione ed autoregolazione tipiche della vegetazione.

A differenza delle opere tecniche, quelle di ingegneria naturalistica non sono soggetto alla decomposizione atmosferica anzi, nel tempo tendono a raggiungere una crescente stabilità e entro certi limiti riescono, con la loro elasticità ad adeguarsi a piccoli danni che vengono a crearsi a causa del forte dinamismi tipico dei corsi d'acqua.

Tali opere hanno però anche determinati limiti. Mentre le costruzioni tecniche hanno a disposizione un gran numero di materiali e modalità, con diverse caratteristiche, l'uso delle sole piante come materiale costruttivi, riduce le possibilità di applicazione, sia pur tenendo conto delle diverse prestazioni delle singole specie. Inoltre, mentre le materie inerti sono efficaci subito dopo la messa in opera, nelle opere realizzate con la vegetazione, l'azione di difesa è piuttosto bassa all'inizio e diviene ottimale solo dopo un certo numero di anni, anche in questo caso comunque esse non sempre sono adeguate a rispondere alle sollecitazioni indotte da condizioni di deflusso estreme. Per questo motivo la loro realizzazione va limitata a quei settori le cui caratteristiche offrano condizioni di vita durevoli. La presenza di vegetazione infine spesso richiede più spazio e costringe ad allargare la sezione di deflusso.

Nei casi in cui non è possibile impedire l'erosione mediante l'uso di materiali vivi, è necessario intervenire con quelli inerti. Ciò accade quando la forza di trascinamento della corrente supera la resistenza del materiale affiorante nell'alveo, particolarmente lungo le sponde concave. Si ricorre ai materiali inerti anche quando è necessario proteggere parti di scarpate fino alla completa crescita della vegetazione, quando le piante muoiono a causa del forte inquinamento delle acque, se si è in presenza di forti sottospinte, se c'è carenza di spazio a disposizione (es. all'interno degli insediamenti).

Generalmente nelle sistemazioni degli alvei è bene inserire sistemi misti integrati costituiti da materiali vivi e materiali inerti, in quanto entrambi presentano sia vantaggi che svantaggi. I materiali inerti non devono far sì che la vegetazione abbia un ruolo puramente estetico ma debbono costituire una armatura o scheletro, dentro e attorno al quale si dispongono le piante in modo da realizzare una struttura integrata anche staticamente.

Con l'ingegneria naturalistica le sistemazioni uniformi, per profilo della sezione e metodo di consolidamento, vengono abbandonate cercando di realizzare invece la massima molteplicità ecologica consentita dalle mutevoli condizioni locali. Ad esempio, i tratti rettilinei di transizione tra curva e controcurva di meandri, soggetti a forze di trascinamento modeste e con alveo stabile, possono essere difese con sole opere biologiche. Nei tratti in curva si può avere invece una sistemazione mista nelle sponde concave e può essere sufficiente la sistemazione vegetale per quelle convesse.

La scelta dei metodi di sistemazione si indirizza soprattutto sulla durata media di sommersione nel corso dell'anno, del settore che deve essere difeso. Infatti la sezione del corso d'acqua può essere divisa in zone con diverse frequenze di sommersione, interessate da vegetazione con diverse caratteristiche fitosociologiche, ciascuna delle quali è potenzialmente idonea per determinate sistemazioni.

Nella Fig. 1 sono evidenziate sul lato sinistro quattro zone vegetazionali fondamentali, costituite dalle piante acquatiche sotto il livello delle acque di magra, dal canneto tra il livello di magra e il livello medio fino ad un piano superiore al livello delle piene normali ed infine dalle piante di legno duro nella zona superiore.

La stessa figura evidenzia sul lato destro tre zone caratteristiche per le sistemazioni: la zona permanentemente subacquea poiché inferiore al livello di magra, dove prevalgono le sistemazioni con materiali morti; la zona anfibia, ossia soggetta a frequenti oscillazioni, a cavallo del livello delle acque medie, dove prevalgono le sistemazioni di tipo misto; ed infine la zona terrestre superiore, quasi sempre emergente dalle acque, dove prevalgono le sistemazioni di tipo biologico.

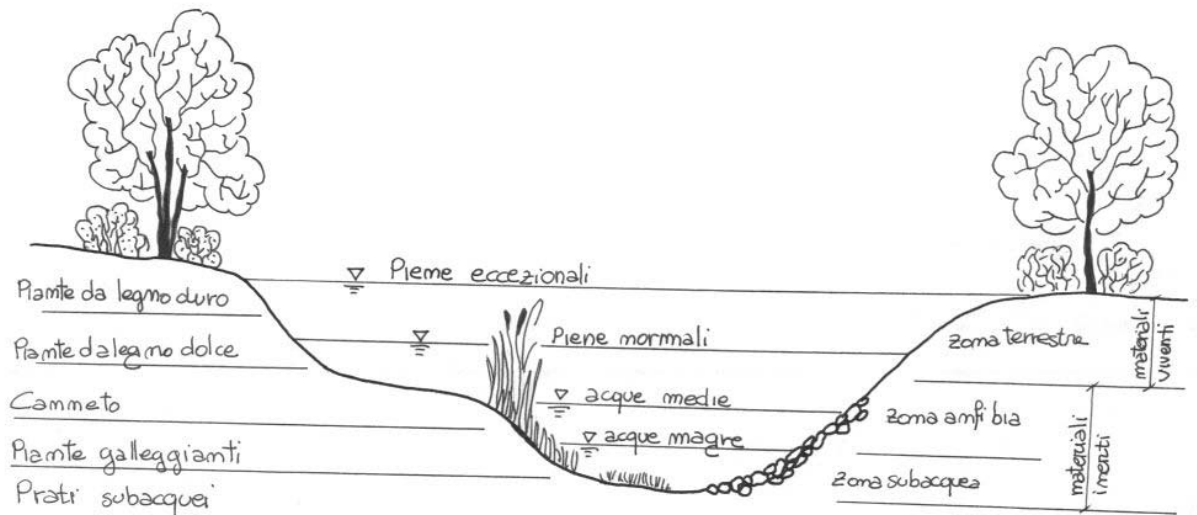


Fig. 1 : Ripartizione della sezione dei corsi d'acqua in zone tipiche per le sistemazioni, in relazione alle situazioni di carico ed alla zonazione vegetazionale (Anselm, R.-DWK)

Le situazioni per le quali in genere è necessario intervenire nei corsi d'acqua sono essenzialmente tre: eccessiva sedimentazione, erosione al fondo ed erosione spondale; in base a queste problematiche si possono schematizzare gli interventi da realizzare.

1.1.1. SEDIMENTAZIONE

In caso di eccessiva sedimentazione si può operare nei seguenti modi:

- aumentare la velocità dell'acqua per aumentare l'energia di trasporto disponibile. Ciò può essere realizzato: diminuendo l'attrito laterale e al fondo mediante rivestimenti con materiali poco scabrosi, eliminando gli ostacoli al regolare deflusso delle acque, diminuendo il percorso mediante l'eliminazione di anse naturali.
- realizzare briglie di ritenuta a monte del tratto in cui si verifica l'eccessiva sedimentazione per trattenere il materiale trasportato in eccesso.

- eseguire il dragaggio periodico del corso d'acqua per eliminare il materiale in eccesso.

1.1.2. *EROSIONE AL FONDO*

Per ridurre l'erosione al fondo si può:

- diminuire l'energia dell'acqua, mediante la realizzazione di canali artificiali che deviano una parte del corso d'acqua diminuendone la portata e quindi l'energia.
- rendere il fondo inerosibile rivestendolo con materiale resistente.
- introdurre un livello di base artificiale mediante la realizzazione di opere trasversali come briglie o soglie che servono a fissare la pendenza di compensazione.

I primi due interventi sono in generale poco consigliabili in quanto modificano in modo drastico e quasi irreversibile le caratteristiche naturali del corso d'acqua.

Briglie e soglie

Le briglie e le soglie sono opere trasversali e trascinabili. Esse vengono raramente usate come opere isolate, piuttosto possono essere combinate tra loro o usate in gruppi omogenei; le dimensioni e la loro disposizione nel corso d'acqua sono calcolate in modo tale da permettere il raggiungimento della pendenza di compensazione.

Le briglie vengono realizzate per lo più in muratura di pietrame o in calcestruzzo e sono dimensionate per lo più per convogliare la portata di piena liquida e solida in modo tale da evitare però l'aggiramento e la sommersione delle ali, a tal fine esse presentano nel piano trasversale una zona centrale ribassata a forma trapezia, detta "gaveta", atta ad un deflusso centrato della corrente lontano dalle sponde laterali (Fig. 2). A valle della briglia si realizza una vasca di calma per dissipare l'energia in eccesso e a volte anche una controbriglia (Fig. 2). Nelle briglie è inoltre necessario provvedere alla protezione della fondazione, nel lato valle, per questo a volte si realizzano delle platee di cls o preferibilmente di pietrame.

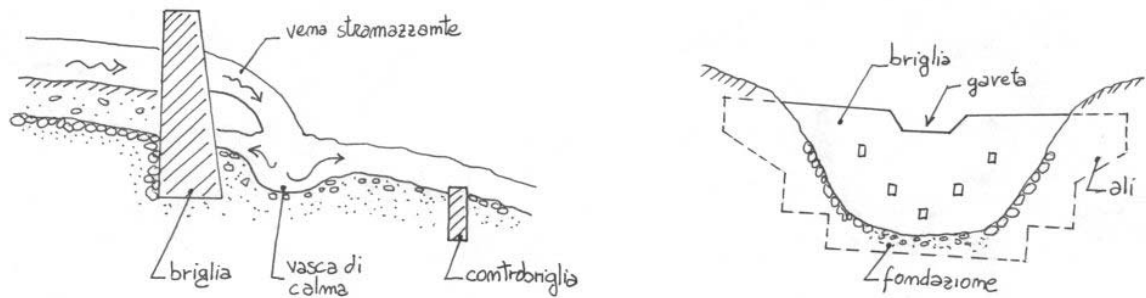


Fig. 2: Briglia tradizionale in muratura (Lange G. – Lecher K.).

L'azione delle briglie nel corso d'acqua consiste nel trattenere a monte il materiale solido trasportato dalla corrente, a valle viene così ridotto il trasporto solido ed aumenta l'energia disponibile, fino alla briglia successiva. Per evitare squilibri a mare a causa della riduzione di trasporto solido, si usano in genere briglie selettive con la capacità di trattenere il materiale più grossolano e lasciar passare quello a granulometria inferiore.

In alternativa alle briglie in pietrame o in cls, si possono usare briglie in gabbioni riempiti con pietra locale, che hanno il vantaggio di essere meno rigide, più permeabili, più facilmente inseribili nel paesaggio. Se il trasporto solido non è eccessivo e per salti non molto grandi si possono anche realizzare briglie in legname e pietrame, che hanno una notevole capacità drenante, soprattutto nel periodo iniziale di funzionamento, ma hanno una vita media di circa 30-40 anni.

Un problema legato alla presenza di briglie è l'ostacolo insormontabile che esse creano alla fauna ittica, per questo motivo esse vengono a volte sostituite da rampe di risalita in pietrame (Fig. 3)

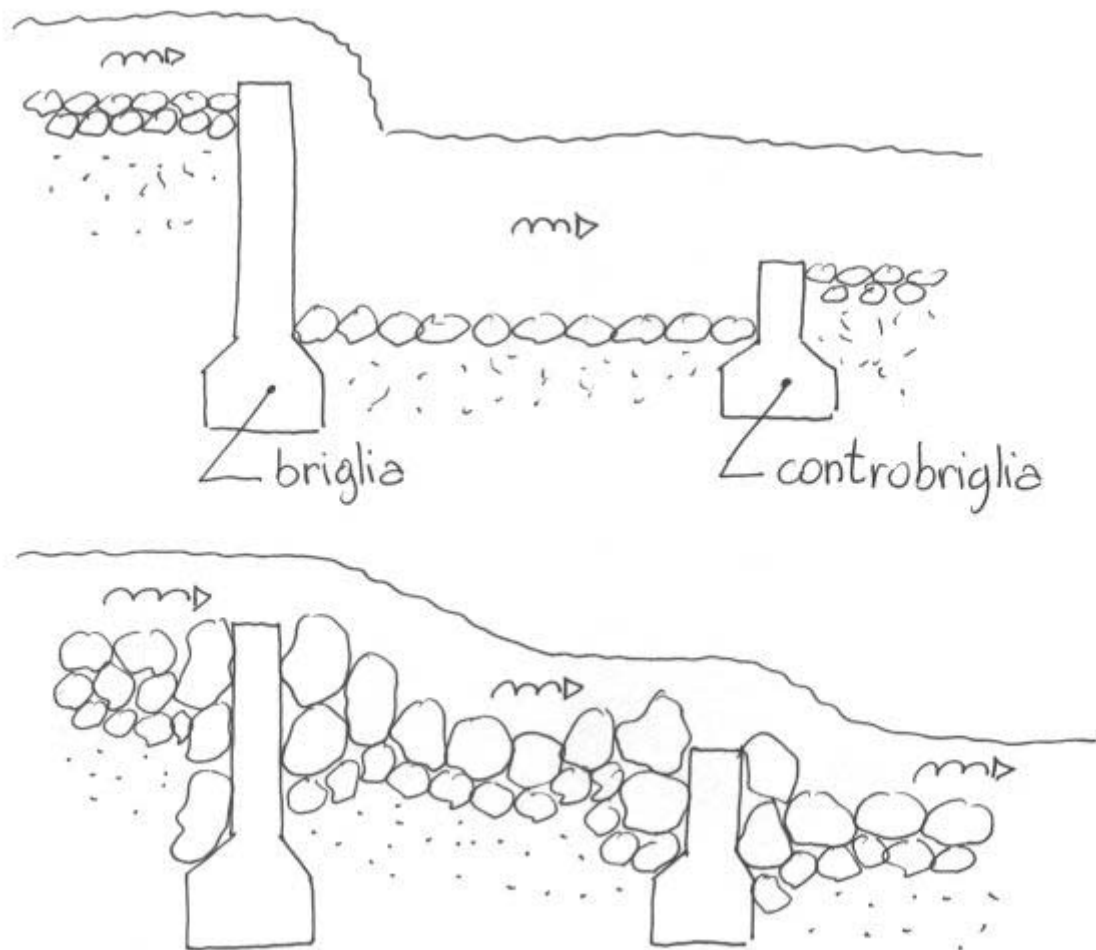
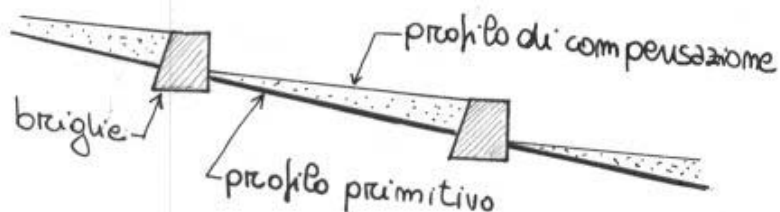


Fig. 3: Trasformazione di una briglia in cls in una rampa in pietrame, che consente la risalita dei pesci.

A differenza delle briglie che sporgono abbastanza dall'acqua e permettono la raccolta di materiale a monte, le soglie sporgono poco dal fondo e fissano un livello di base nel punto in cui sono state posizionate; mediante un processo di erosione controllata, che va al massimo dalla testa di una soglia al piede della soglia a monte, permettono anch'esse il raggiungimento della pendenza di compensazione nel corso d'acqua (Fig. 4).

a) Sistemazione con briglie



b) Sistemazione con soglie

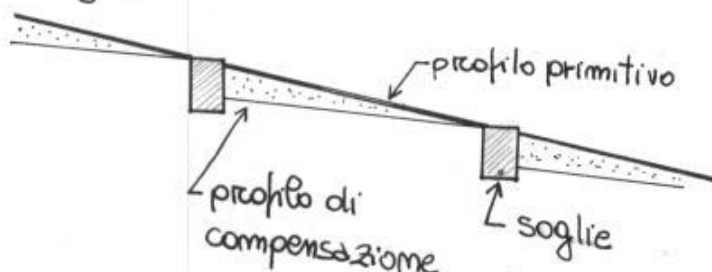


Fig. 4: Sistemazione con briglie a) e con soglie b) per il raggiungimento della pendenza di compensazione.

1.1.3. EROSIONE DELLE SPONDE

Le opere che possono essere realizzate per la protezione delle sponde si dividono in:

- dirette, disposte secondo il flusso dell'acqua e a diretto contatto della sponda da proteggere: muri, gabbionate, rivestimenti e altro.
- indirette, disposte trasversalmente al corso d'acqua, agiscono sulla sponda in maniera indiretta: pennelli, briglie e soglie.

Nella zona inferiore al letto di magra si usano soprattutto materiali inerti, mentre nelle zone soggette alle oscillazioni dello specchio d'acqua attorno al livello medio essi possono essere associati a materiali viventi.

Muri e gabbionate

La realizzazione di muri, in pietrame con malta o in calcestruzzo armato, è generalmente sconsigliata sia per l'impatto sull'ambiente naturale sia perché essendo opere rigide non sono in grado di adattarsi ai movimenti dell'alveo che si modificano continuamente sotto l'azione delle forze naturali.

Le gabbionate sono realizzate mediante la sovrapposizione di gabbioni. I gabbioni vengono realizzati rovesciando su una rete metallica piana materiale di riempimento, pietrisco o ghiaia, e poi ripiegando la maglia in modo da formare corpi cilindrici o prismatici (Fig. 5). Per la sistemazione nella parte superiore delle sponde si usano talvolta gabbioni predisposti per il rinverdimento, ossia riempiti a strati con pietrisco e ramaglia viva ed eventualmente piante legnose radicate.

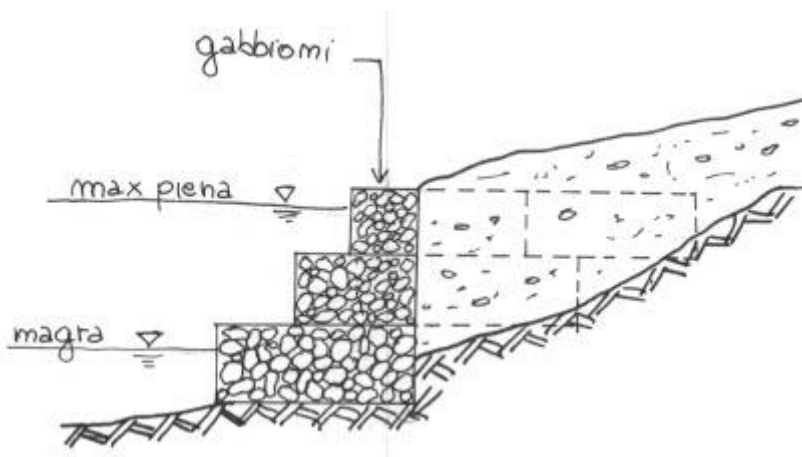


Fig. 5: Gabbioni.

Alberi grezzi

Questo intervento è il sistema più semplice e naturale di difesa al piede delle scarpate fluviali; viene utilizzato per il consolidamento e per la colmata di piccoli avvallamenti, con profondità dell'acqua modesta (<40cm) e forze di trascinamento fino a 50N/m^2 . Consiste nel collocare lungo la riva tronchi di alberi interi (in genere conifere), completi di rami ed aghi i quali, muovendosi sotto l'azione della corrente ne attutiscono l'energia riducendo la velocità dell'acqua e favorendo la sedimentazione del materiale solido sospeso che va così a riempire l'area franata (Fig. 6). Gli alberi usati per tale intervento sono per lo più di piccole dimensioni e fittamente ramificati per tutta la loro altezza per aumentare l'azione di smorzamento dell'energia. Tronchi o grossi rami vengono fissati alla riva mediante picchetti di legno o tondini di ferro o funi o catene, ciò serve soprattutto all'inizio finché i rami inferiori sono seppelliti dai sedimenti.

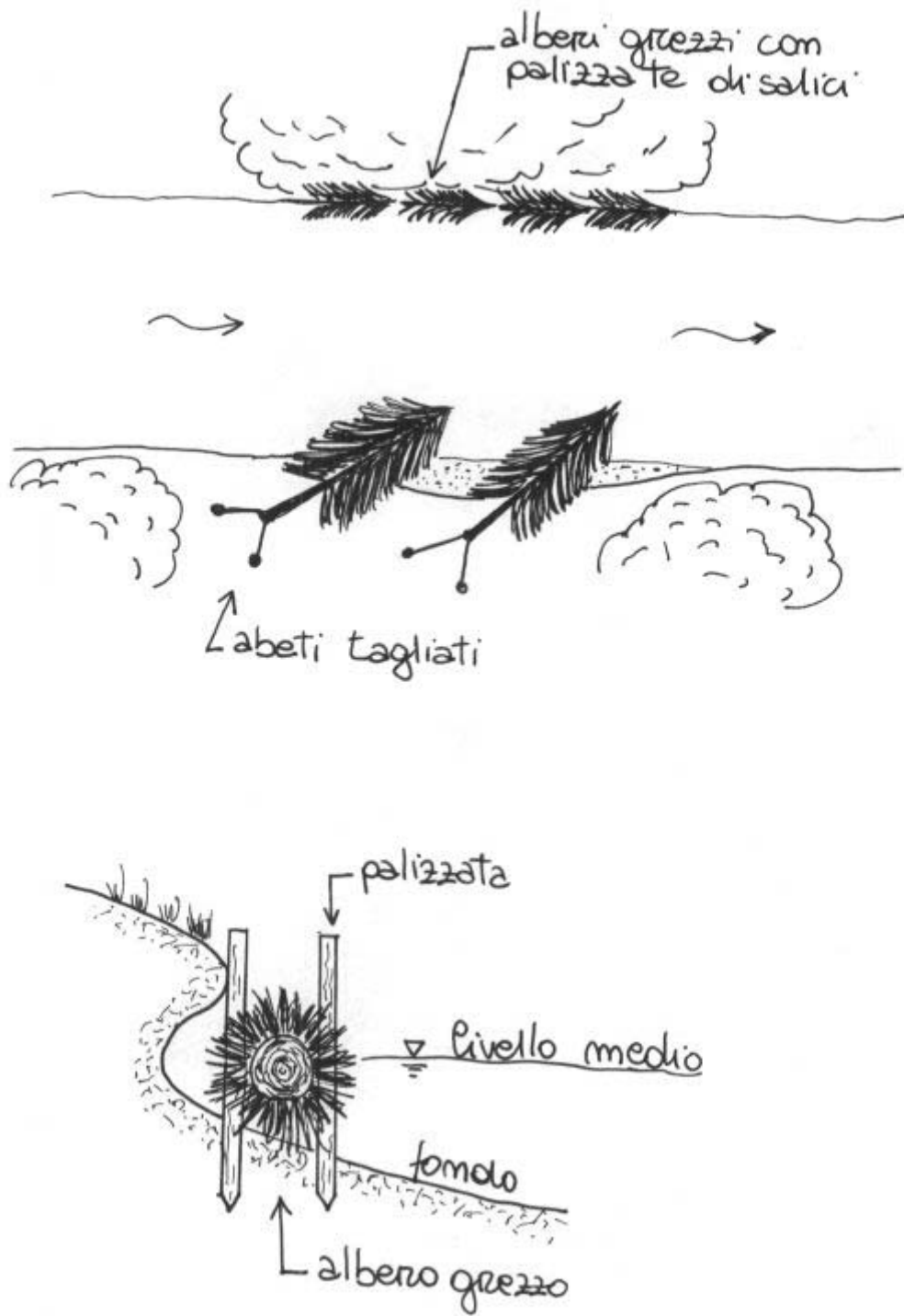


Fig. 6: Difesa spondale mediante alberi grezzi.

Fascinate

Le fascine possono essere realizzate con materiale morto, vivente o combinato; quelle morte sono costituite da fasci di bacchette o rami morti di latifoglie, hanno un diametro complessivo di circa 10-30 cm e sono lunghe da 2 a 4m , vengono di regola legate ogni 30-50cm con fil di ferro. Le fascine viventi semplici differiscono da quelle morte in quanto sono realizzate con fasci di bacchette e/o rami vivi; quelle combinate sono fasci costituiti da un nucleo centrale di bacchette e/o rami morti e un mantello laterale di bacchette e/o rami vivi. Le caratteristiche dimensionali sono più o meno le stesse per i vari tipi.

A seconda delle caratteristiche del corso d'acqua si cui si deve intervenire, si usano fascinate semplici, composte o stratificate.

Per piccoli corsi d'acqua vanno bene le fascine semplici, costituite da soli rami, per quelli maggiori o con maggior trasporto solido e fenomeni erosivi in atto, si usano fascine composte con cuore di ghiaia, pietrisco o gabbioni.

Le fascine semplici vengono collocate per un terzo del loro spessore sotto la quota di fondo dell'alveo, in un fosso appositamente predisposto, sono inserite nelle scarpate in modo tale da rispettare la prescritta sezione di deflusso e vengono fissate mediante picchetti di legno di opportune dimensioni.

Le fascine composte e i gabbioni vengono fatti rotolare nell'acqua mediante scivoli così da assumere la posizione prescritta, vengono inoltre assicurati mediante pali ed eventualmente protetti da gettate di pietrame. In alcuni casi si può ricorrere alla posa su ramaglia o su tessuti speciali (geosintetici). Sopra le fascine ed i gabbioni sommersi, costituiti da materiale inerte, si possono collocare fascine viventi.

Per il risanamento di erosioni spondali profonde, con notevole profondità dell'acqua si può ricorrere all'uso di fascinate stratificate; esse vengono realizzate con strati sovrapposti di fascine, con le punte dei rami che terminano esattamente in corrispondenza della linea di sponda progettata, collegati orizzontalmente da altre fascine ortogonali più sottili (spessore 10-20 cm) e intercalati con strati di ghiaia, pietrisco e pietre. Tutto il sistema è collegato con pali verticali (Fig. 7).

Durante le piene si depositano sui rami banchi di materiali inerti (sabbia e ghiaia) che consentono il successivo rinverdimento della parte superiore. La parte dell'opera che rimane permanentemente sott'acqua può essere ulteriormente consolidata mediante una gettata di pietrame.

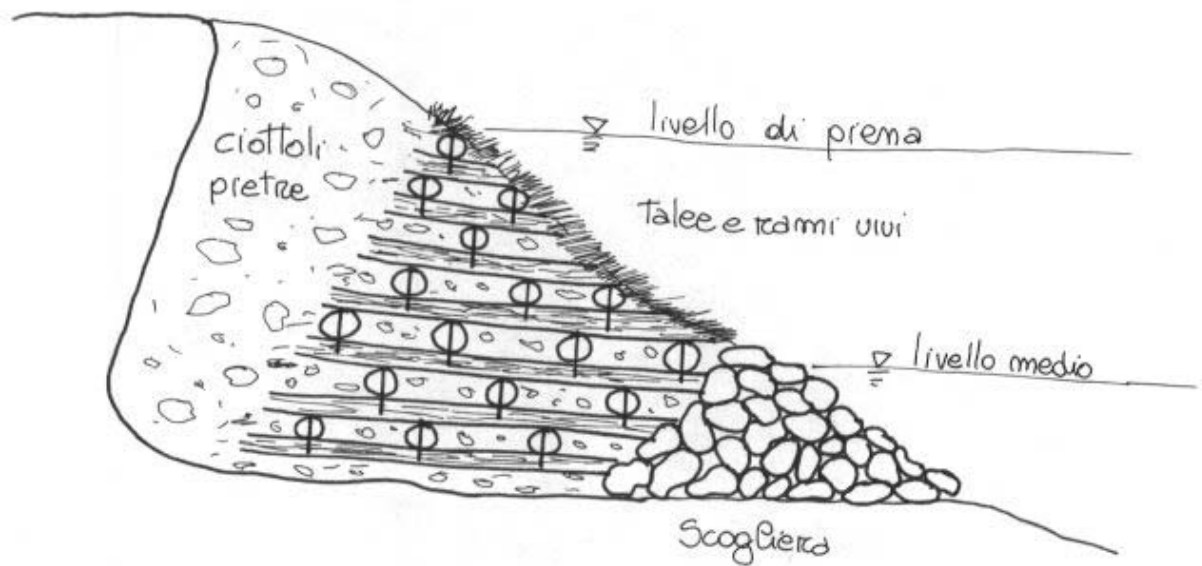
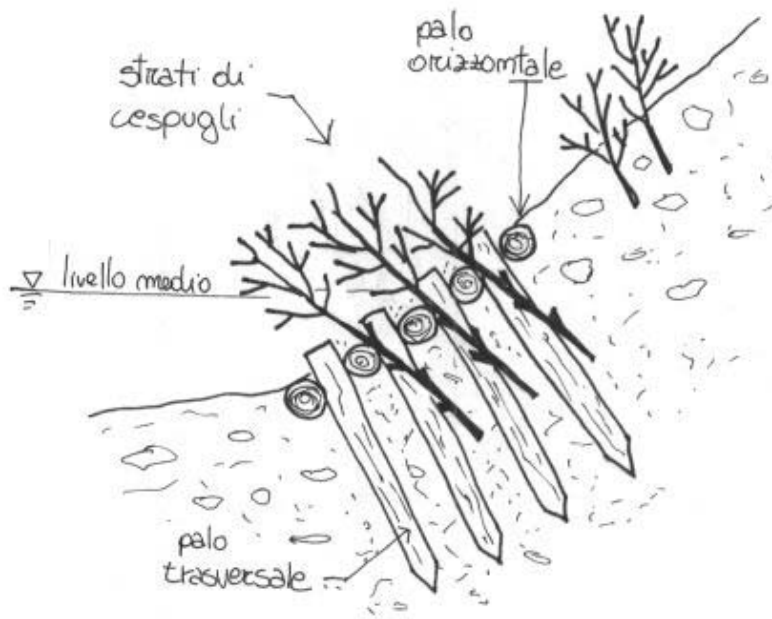


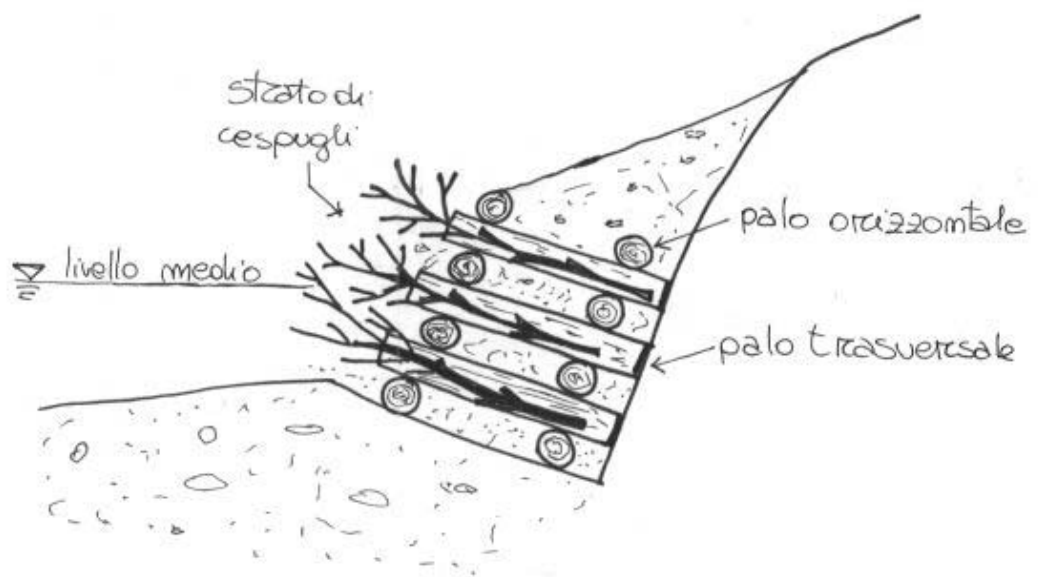
Fig. 7: Fascinata stratificata per il consolidamento di erosioni spondali (Schiechl,H.).

Palificate in legname e sassi

Le palificate in legname con pareti tipo Krainer, usate di solito per il consolidamento di pendii, sono state utilizzate anche per il consolidamento al piede dei corsi d'acqua. Vengono realizzate sovrapponendo pali rotondi o quadrati, disposti orizzontalmente lungo le linee di livello in parete semplice o doppia e collegati ortogonalmente con chiodature o legature, con altri pali trasversali appuntiti che penetrano nel suolo. Gli spazi vuoti della parete vengono riempiti con ghiaia, pietrisco sassi e terra. Se la posizione della palificata rispetto al livello medio delle acque lo consente, negli interstizi possono essere inseriti cespugli viventi, per un successivo rinverdimento (Fig. 8).



a) Parete semplice



b) parete doppia

Fig. 8: Palificata in legname con pareti tipo Krainer rinverdite per il consolidamento spondale.

Armature con tavoloni e stangame

E' possibile consolidare l'alveo e le sponde dei corsi d'acqua piccoli e con portata perenne mediante stangame in corteccia e tavoloni. Rimanendo costantemente immersa nell'acqua, tale opera ha una durata abbastanza lunga.

Per definire inizialmente la pendenza della scarpata vengono infissi dei pali e successivamente contro di essi vengono disposte le stanghe e le tavole, eventualmente collegate con chiodi o fil di ferro (Fig. 9).

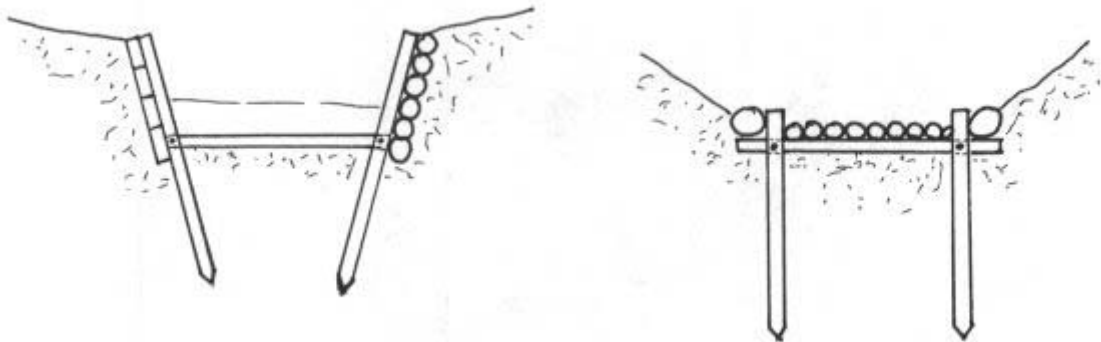


Fig. 9: Consolidamento del letto e delle sponde di piccoli corsi d'acqua mediante armatura con tavoloni e stangame (Schiechtl,H.).

Scogliere e gettate di pietrame

Si usano queste opere per la difesa spondale al piede quando si è in presenza di forti sollecitazioni, per il riempimento di buche e rotture spondali, per la fondazione e la difesa di manufatti speciali in alveo. Le scogliere sono costituite da massi pesanti almeno 100Kg collocati in opera singolarmente, le gettate invece sono realizzate con pietre più piccole scaricate alla rinfusa.

In funzione della sollecitazioni meccaniche presenti (moto ondoso, forza di trascinamento, spinta statica...), viene determinato il peso delle rocce; per aumentare la resistenza alla forza di trascinamento in alcuni casi si riempiono gli spazi cavi tra i massi delle scogliere con un miscuglio di pietrisco e asfalto che ha un effetto sigillante e collegante, in altri casi per lo stesso scopo i massi vengono collegati con funi d'acciaio. Nel caso in cui si è in presenza di fondo sabbioso fine e

forte sottospinta, le scogliere e le gettate devono essere collocate su uno strato filtrante costituito da ghiaia, pietrisco ovvero da un materasso permeabile all'acqua, che impedisca l'affondamento. Per questo scopo in passato si usavano materassi di ramaglie, oggi essi sono stati sostituiti per lo più da materiali artificiali (geosintetici) più convenienti sia come prestazioni tecniche che a livello economico (Fig. 10). Al di sopra del livello medio delle acque, scogliera e gettate di pietrame sono suscettibili di rinverdimento con talee, sufficientemente lunghe per poter affondare nel suolo sottostante (Fig. 11).

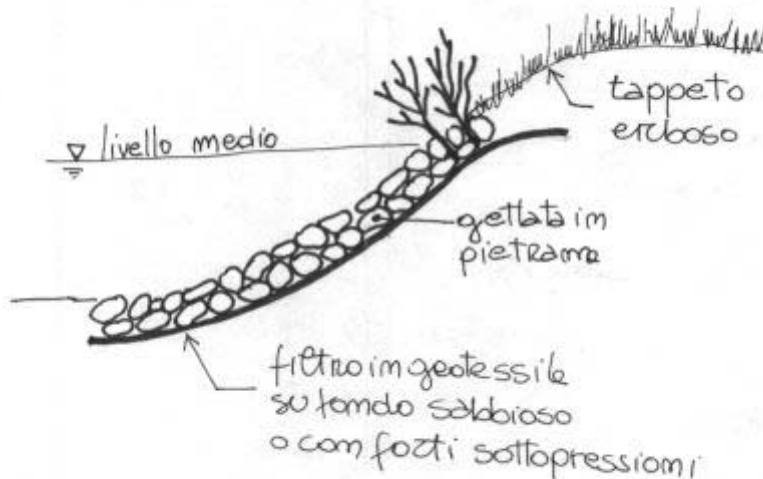


Fig. 10: Consolidamento delle sponde e del fondo dei corsi d'acqua con pietre: rivestimento dell'alveo mediante gettata di pietrame su filtro in geotessile.

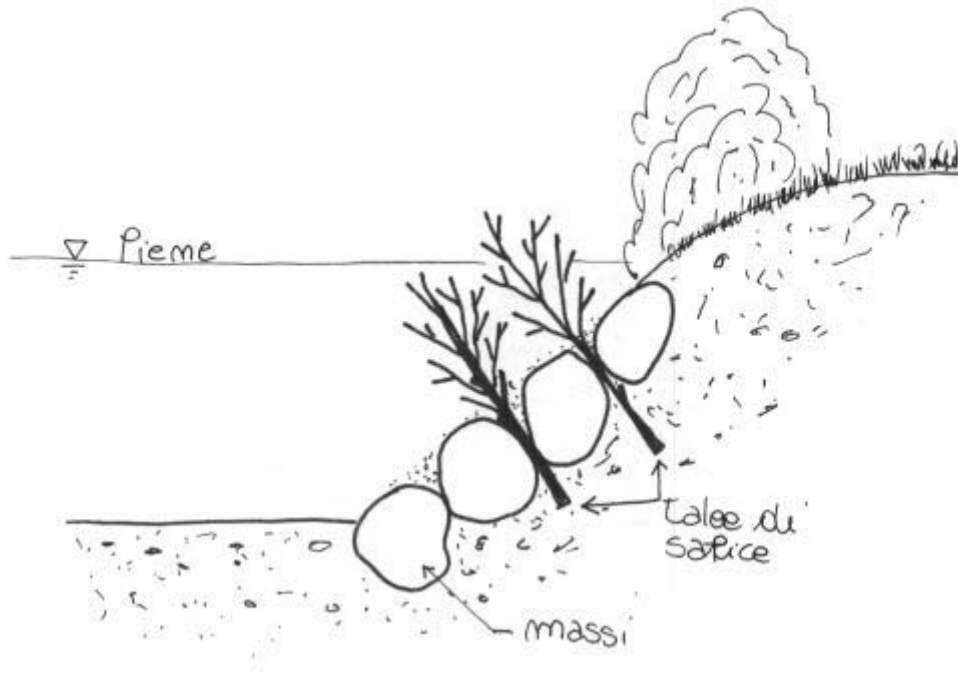


Fig. 11: Rivestimento spondale con scogliera rinverdita con talee di salice.

Pavimentazioni e materassi di pietrame

Nelle opere costituite da gettate di pietrame o scogliere, può capitare che con sponde ripide esiste il pericolo che le acque alte facciano rotolare in basso singole pietre, ciò può essere ovviato usando i materassi di pietre. Questi sono realizzati con doppia rete zincata di maglia opportuna, che trattiene uno strato di pietre aventi spessore circa 20-25cm, vengono fabbricati generalmente sulla riva poi adagiati sulla scarpata e fissati con staffe d'acciaio (Fig. 12).

Le pavimentazioni hanno lo scopo di difendere totalmente le sponde ed eventualmente e anche il fondo, ricoprendoli. Esse vengono realizzate posando sulle sponde o sul fondo, una accanto all'altra delle grosse pietre inframezzate con sassi più piccoli. La diversa sporgenza dei sassi conferisce alla superficie una scabrezza che favorisce la turbolenza e la perdita di energia della corrente (Fig. 13).



Fig. 12: Rivestimento spondale con materassi di pietre.

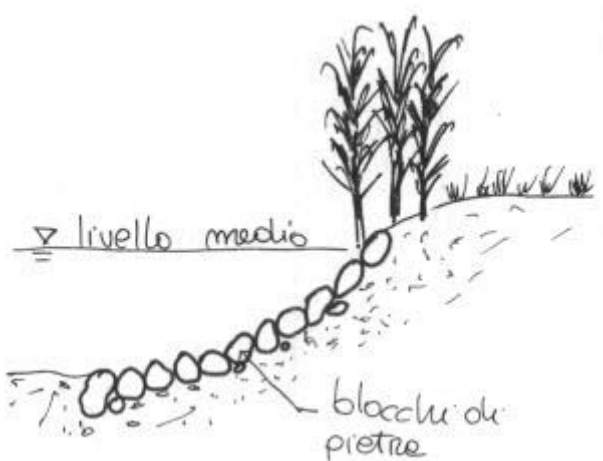


Fig. 13: Pavimentazione dell'alveo in blocchi di pietre.

Materasso reno

I materassi Reno sono costituiti da elementi metallici (reti) che vengono appoggiati sulle sponde, riempiti di materiale litoide e richiusi; sono cioè un materasso di pietrame. Possono essere costituiti da un “unico elemento” (Fig. 14) o da più elementi affiancati, in tal caso si dicono a “tasche” (Fig. 15). I primi vanno usati su sponde con pendenze lievi altrimenti possono scivolare, quelli a tasche possono sopportare pendenze maggiori, entrambi comunque vanno usati in presenza di correnti non elevate.

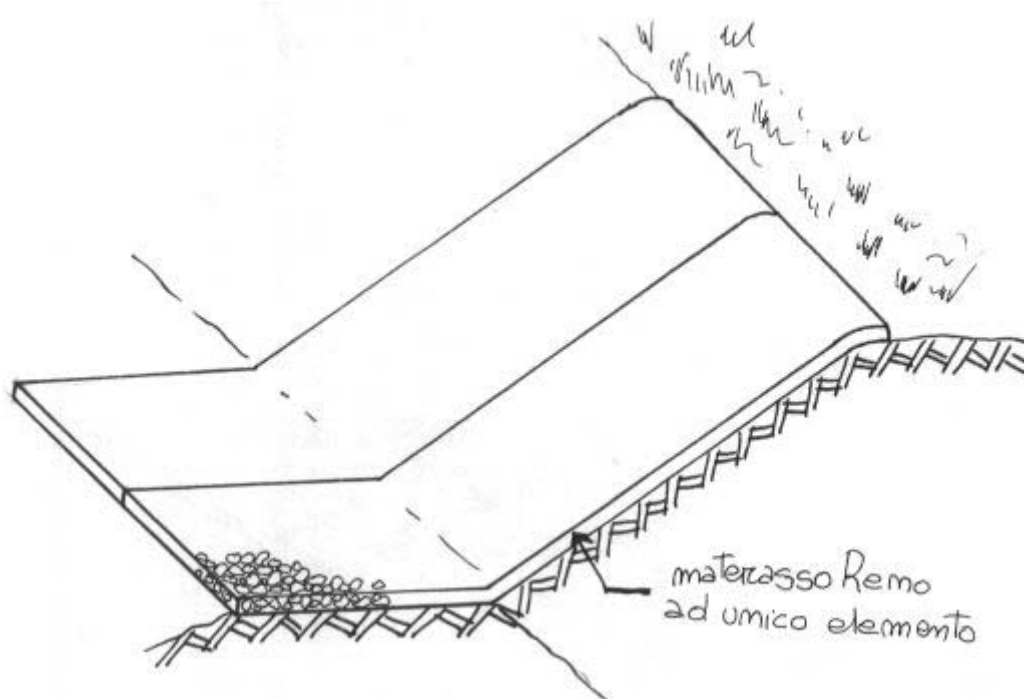


Fig. 14: Materasso Reno ad unico elemento adatto per rivestimenti leggeri di sponde in lieve pendenza.

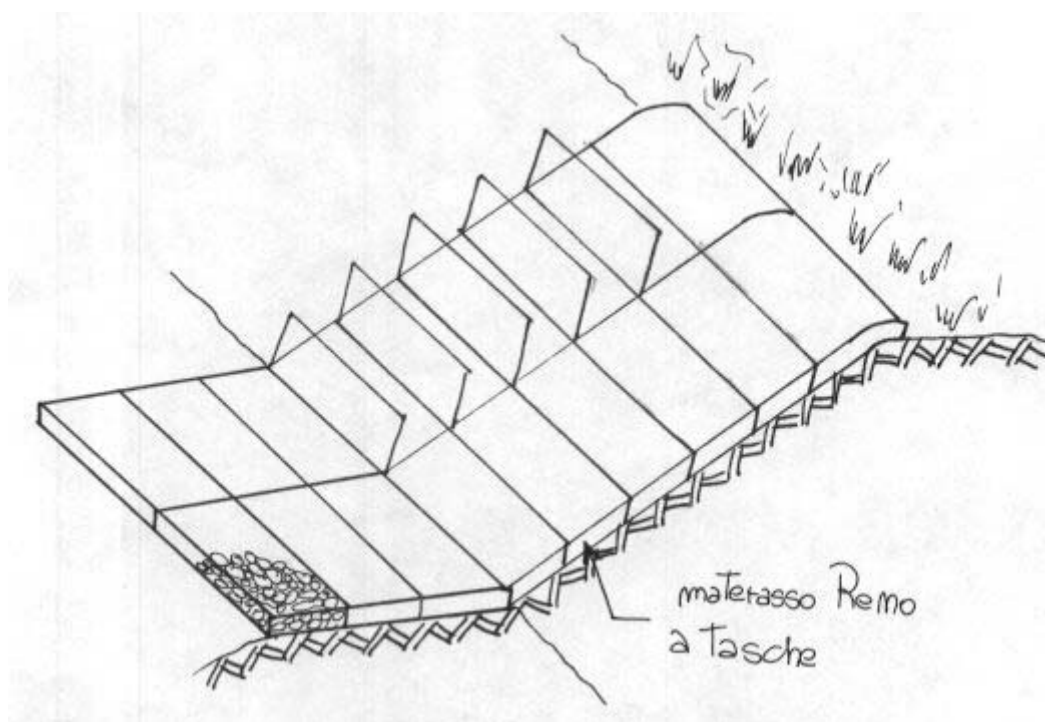


Fig. 15: Materasso Reno a tasche adatto per rivestimenti leggeri di sponde in accentuata pendenza.

Consolidamento con materiali viventi al di sopra del livello di magra delle acque

Nella fascia compresa tra il livello di magra e il livello medio è possibile realizzare significativi interventi di ingegneria naturalistica. Questa fascia, soggetta a frequenti oscillazioni, può essere colonizzata dal *canneto*, che consolida le rive in modo molteplice. Le piante sono ancorate al suolo mediante un fitto intreccio di radici che consentono di resistere alla forza della corrente; le foglie aumentano la scabrezza e diminuiscono la velocità della corrente. Inoltre le piante del *canneto* esercitano sulle acque un forte effetto autodepurante, arricchendole di ossigeno e contribuendo con i microrganismi a decomporre le sostanze organiche inquinanti. La sistemazione a *canneto* deve però tener conto della tipologia del corso d'acqua considerato. Infatti risulta più indicata per corsi d'acqua sufficientemente larghi e profondi o per piccoli corsi d'acqua a deflusso veloce. Per corsi d'acqua a deflusso lento, il *canneto* può però essere disposto lungo le sponde concave, per far fronte alla maggior forza di trascinarsi della corrente, mentre le sponde convesse devono essere tenute libere per non favorire la già naturale tendenza alla sedimentazione.

Al di sopra del livello medio delle acque le sistemazioni di ingegneria naturalistica hanno il massimo delle potenzialità d'impiego essendo possibile l'impiego di associazioni erbacee, arbustive ed arboree.

Nelle sistemazioni di questa fascia, per esigenze soprattutto idrauliche, si preferisce riservare vasti spazi al *prato*. Questo infatti influenza poco il deflusso delle acque e assicura una copertura compatta delle sponde, pur richiedendo frequenti interventi di manutenzione. Inoltre tappeti erbosi bassi e forti, che possono essere calpestati e non richiedono molta cura, in associazione a specie legnose, sono ideali lungo le rive dei corsi d'acqua utilizzate a scopo ricreativo. Nella sistemazione a *prato* dei piccoli corsi d'acqua si può però incorrere nel problema che, venendo meno l'effetto di ombreggiatura degli alberi e dei cespugli, viene favorita la crescita di piante acquatiche nell'alveo che ostacolano il deflusso e rendono necessari periodici interventi di manutenzione.

Una sistemazione ecologicamente e paesaggisticamente corretta della rive associa al *prato* l'introduzione di *arbusti* ed *alberi*, che contribuiscono in modo significativo al consolidamento biologico delle rive, grazie ad un sistema radicale

profondo e di lunga vita. La scelta delle associazioni vegetali dipende dal tipo di popolamento naturale presente, dalle caratteristiche del suolo, dai livelli idrici e dalla durata dei periodi di sommersione. Subito sopra la zona del canneto, si sviluppano le associazioni delle piante di legno dolce, come salici e ontani, che prediligono maggiormente l'umidità. I salici sono caratterizzati da un forte sviluppo radicale ed una crescita di tipo pioneristico; grazie alla elevata flessibilità ed elasticità, non subiscono danni da parte delle corrente. Non sono però adatti per corsi d'acqua con alvei di larghezza inferiore ai 5m, perché disturbano il naturale deflusso delle acque restringendo il profilo libero con i rami che si protendono verso il basso. L'ontano è invece più adatto ai piccoli corsi d'acqua in quanto la sua chioma si sviluppa in altezza e tende a formare una galleria vegetale che impedisce l'eccessiva crescita delle piante acquatiche. La zona superiore ai saliceti ed agli ontani è invece colonizzata da associazioni di piante di legno duro, come i frassineti. Infine nella zona superiore delle rive, raramente interessata dalla acqua di piena, non avendo la vegetazione arborea ed arbustiva una spiccata funzione di difesa, ma una prevalente funzione ecologica e paesaggistica, si deve porre l'attenzione ad un opportuno collegamento con gli esistenti popolamenti boschivi, evitando disposizioni in filari, eccessivamente artificiali, prevedendo invece piantagioni articolate, ricche di speci e su vaste superfici.

Si riportano per maggior chiarezza alcuni esempi di sistemazione vegetale arborea ed arbustiva, sia per corsi d'acqua piccoli e medi che per fiumi.

La Fig. 16 rappresenta una sistemazione tipica, interamente vegetale, studiata per corsi d'acqua collinari medi e piccoli. Le rive immediatamente al di sopra del livello medio delle acqua sono sistemate con una stretta striscia di ontani e salici (orlo interno). In condizioni di luce sufficiente e con correnti non troppo veloci, sono possibili anche modesti popolamenti a canneto. La zona delle acque alte, coperta da prati e libera da essenze legnose, è protetta superiormente da una striscia compatta, più o meno larga, di ontani, frassini, pioppi, olmi e altre essenze locali (orlo esterno).

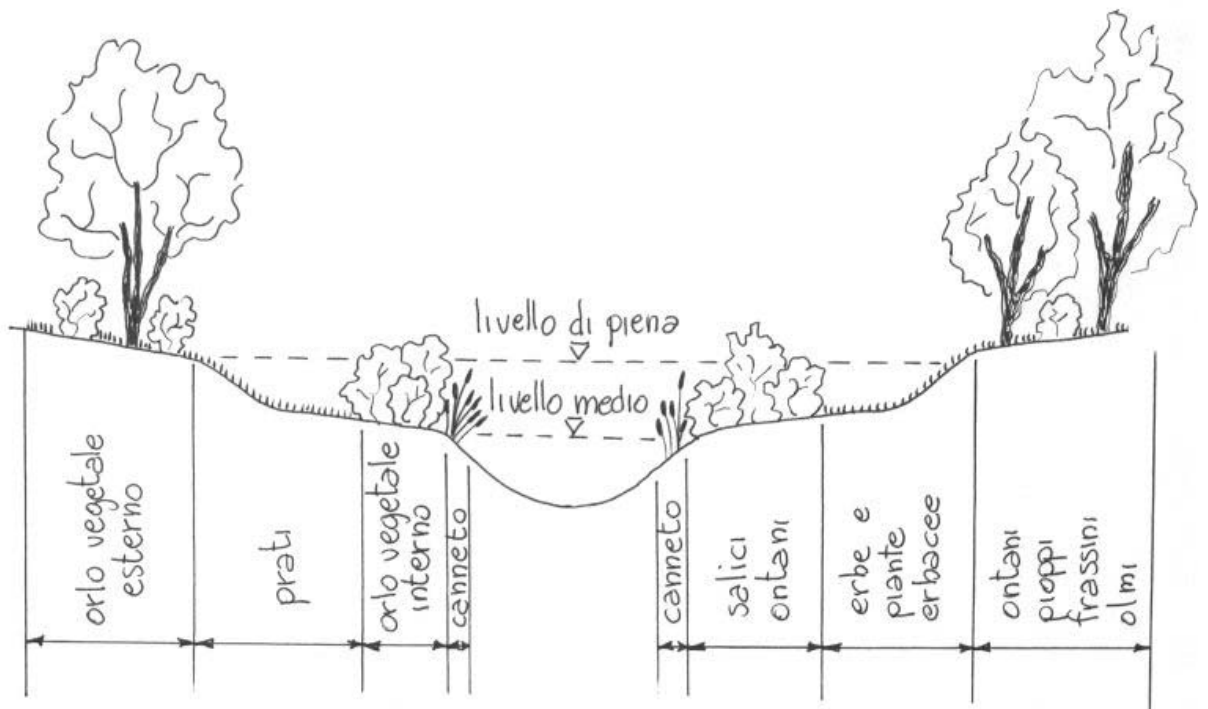


Fig. 16: Sistemazione vegetale di corsi d'acqua collinari piccoli e medi (Meszmer F.).

La Fig. 17 indica un tipo di sistemazione nel caso di percorso sinuoso. L'alveo centrale, predisposto per la portata media, è delimitato mediante canneti e specie legnose. Nel letto di piena sono preferiti manti erbosi, in quanto alberi isolati potrebbero produrre buche per scalzamento e ridurre troppo la sezione di deflusso. Le sponde, nei tratti concavi maggiormente sollecitati, sono consolidate con canneti e boschi misti. Al margine del letto di piena vengono disposte piante locali, come ontani, salici, frassini, olmi, carpini e pioppi.

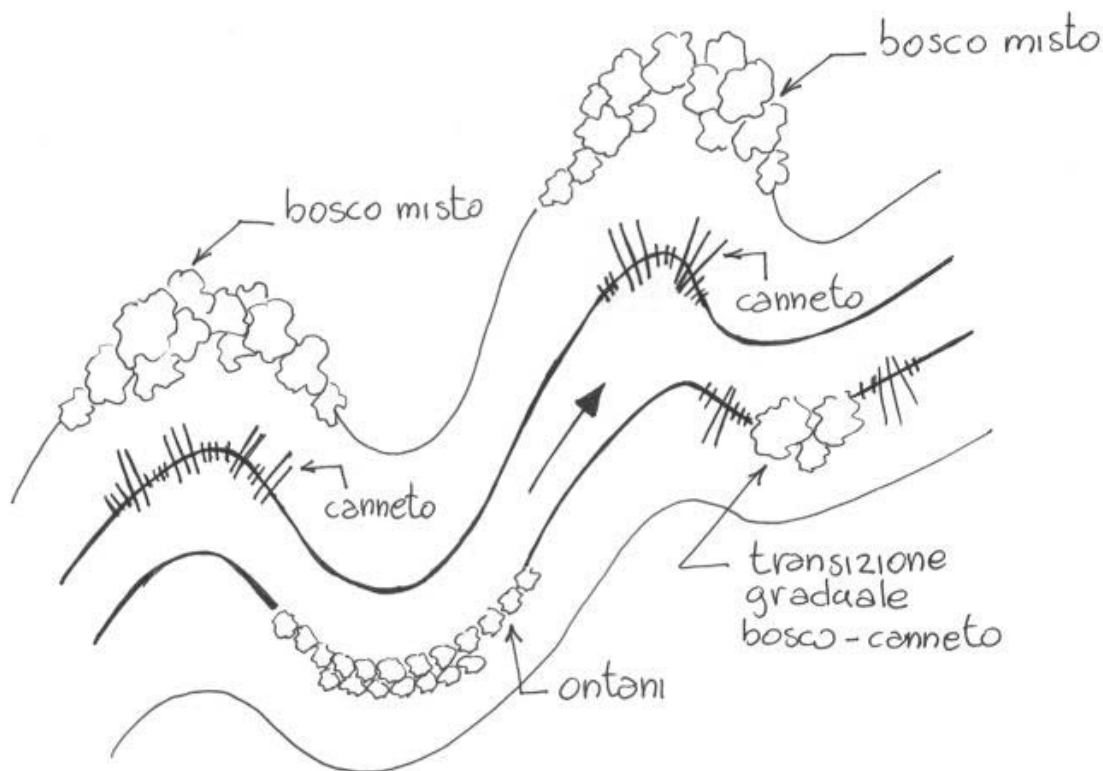


Fig. 17: Sistemazione vegetale di piccoli corsi d'acqua con percorso sinuoso (Anselm R.).

Nei fiumi la sezione più ampia e la pendenza più ridotta consentono lo sviluppo completo delle fasce di vegetazione (Fig. 18). Nella sezione totalmente boscata (a), l'intera superficie delle rive sopra i canneti viene ricoperta dalle piante. A causa dell'elevata scabrezza idraulica, il bosco diminuisce fortemente la capacità di deflusso dell'alveo: a parità di portata, è necessaria una maggior sezione e quindi una maggior estensione del letto. Nella sezione con boschi di golena (b), si sistemano a bosco solo le golene; risultano più facili quindi gli interventi di manutenzione. Nella sezione con boschi di corona (c), alberi e cespugli sono disposti sul coronamento delle scarpate, al di sopra del massimo livello delle acque di piena. Nella sezione con boschi di spalla (d), alberi e cespugli occupano anche la parte superiore delle scarpate, interessata dalle acque di piena, senza tuttavia esercitare un effetto rilevante sulle condizioni idrauliche di deflusso. Nella sezione con boschi di scarpata (e), il bosco viene realizzato nella zona alta della scarpata, interessata dalle

piante a legno duro, e su tutta la scarpata esterna. Nella sezione con boschi di orlatura (f), i margini dello specchio d'acqua medio sono occupati da strisce di alberi e cespugli; il bosco diminuisce la capacità di deflusso, in funzione dell'escursione delle acque di piena.

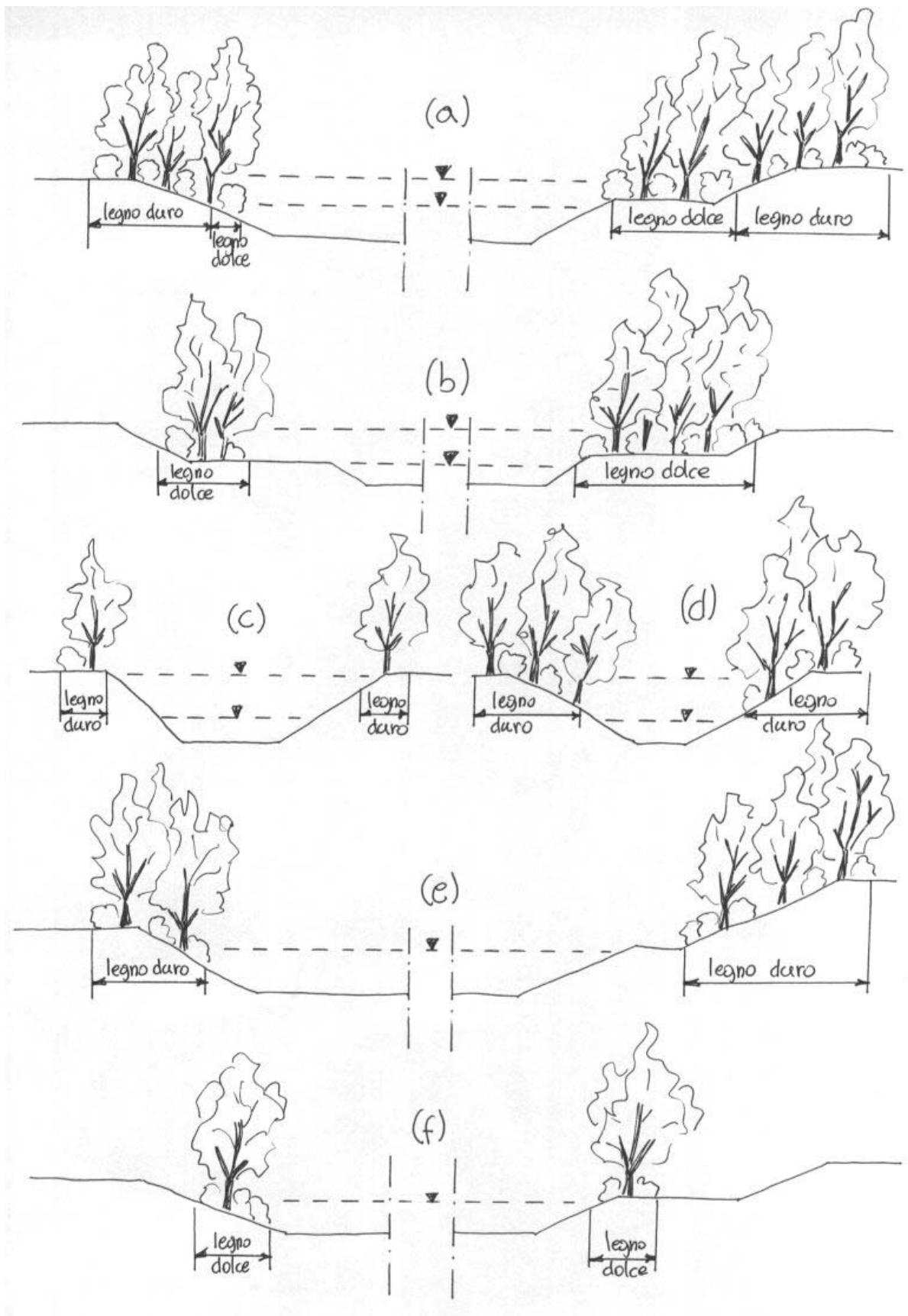


Fig. 18: Sistemazione delle rive dei fiumi con alberi e cespugli (Meszmer F.).

Pennelli

Si ricorre ai pennelli per delimitare un nuovo letto di deflusso delle portate medie, più ristretto e in genere più profondo, e per risanare rotture spondali. I pennelli sono opere di regimazione a forma di argini, disposti trasversalmente alla corrente, con diverse inclinazioni.

La realizzazione di pennelli isolati consente di allontanare la corrente dalla sponda per arrestare l'erosione. Per evitare danni sulla sponda opposta però si realizzano in genere disposizioni bilaterali dei pennelli su entrambe le rive. Nelle campiture tra i pennelli, diminuendo la velocità dell'acqua, si innescano fenomeni di sedimentazione di materiale solido trasportato (Fig. 19). Questo favorisce la formazione di interessanti biotopi per numerose piante ed animali.

I pennelli hanno il vantaggio di poter essere realizzati in fasi successive e modificati, allungati o accorciati, in funzione dei risultati ottenuti (Fig. 20).

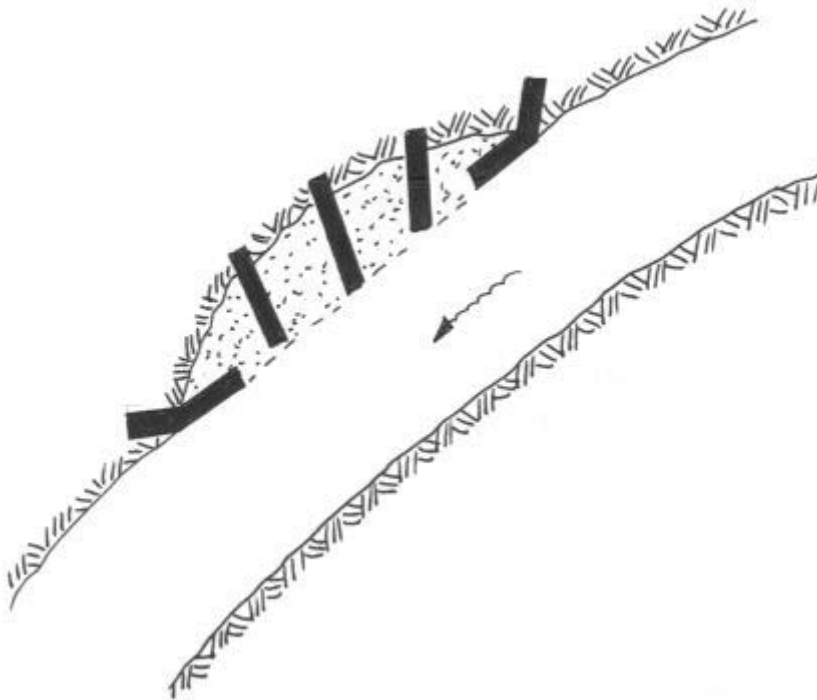


Fig. 19: Disposizione dei pennelli per il risanamento di una rottura spondale.

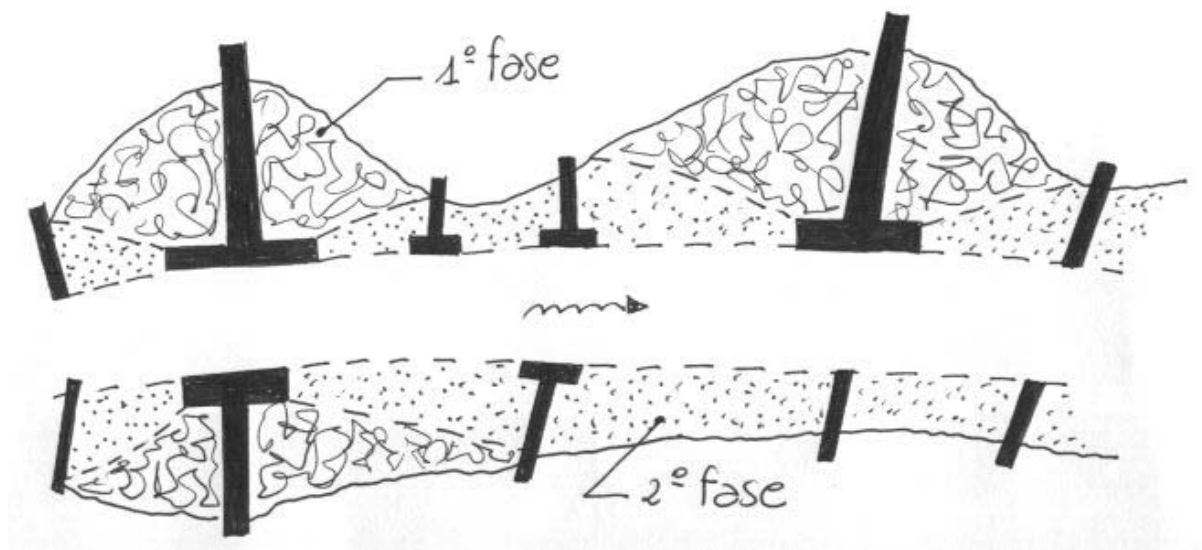


Fig. 20: Disposizione dei pennelli in fasi successive per delimitare un nuovo letto di morbida.

I pennelli possono essere realizzati con vari materiali, spesso associati: palancole in pali di acciaio, cemento o legno, materassi di fascine, fastelli di rami, gabbioni, gettate o rivestimenti di pietrame. Questi manufatti possono essere sostenuti da misure biologiche, inserendo, nelle parti che non si trovano per troppo tempo sommerse, rami vivi. La Fig. 21 mostra una forma speciale di pennello con buone caratteristiche di naturalità ed alta efficacia ecologica.

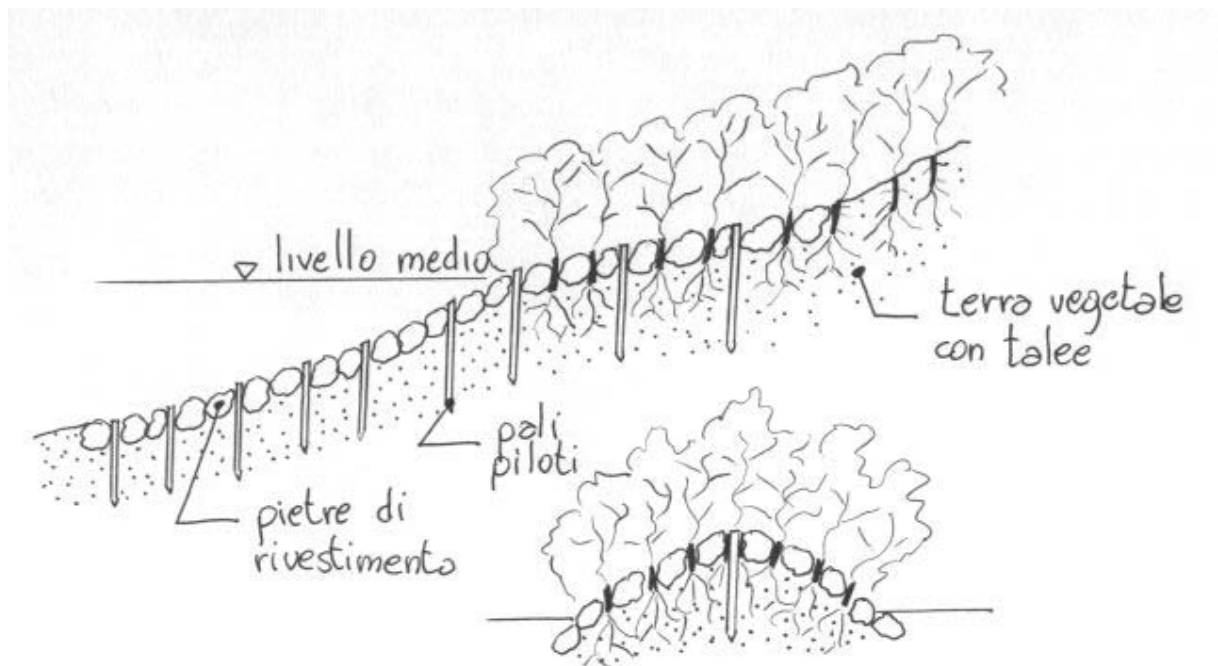


Fig. 21: Pennello sommerso in pietrame consolidato con pali piloti e rinverdito con talee sopra il livello medio delle acque (Schiechl - Stern).

Traverse a cespuglio

Le traverse a cespuglio (Fig. 22) sono costruzioni a forma di pennello, tra i più economici per realizzare l'interramento e quindi il ripristino delle rotture spondali, su una o entrambe le rive di corsi d'acqua con trasporto solido di tipo medio, esclusi i torrenti montani.

L'effetto idraulico delle traverse a cespuglio viene realizzato grazie all'elasticità dei rami, che trasformano l'energia e riducono la forza di trascinamento della corrente, facilitando la sedimentazione e la conseguente crescita di vegetazione.

Le singole traverse vengono realizzate con materiali misti, inerti (pietre, pietrisco, gabbioni, fascine cilindriche, pali di legno) e vivi (talee di salici e pioppo).

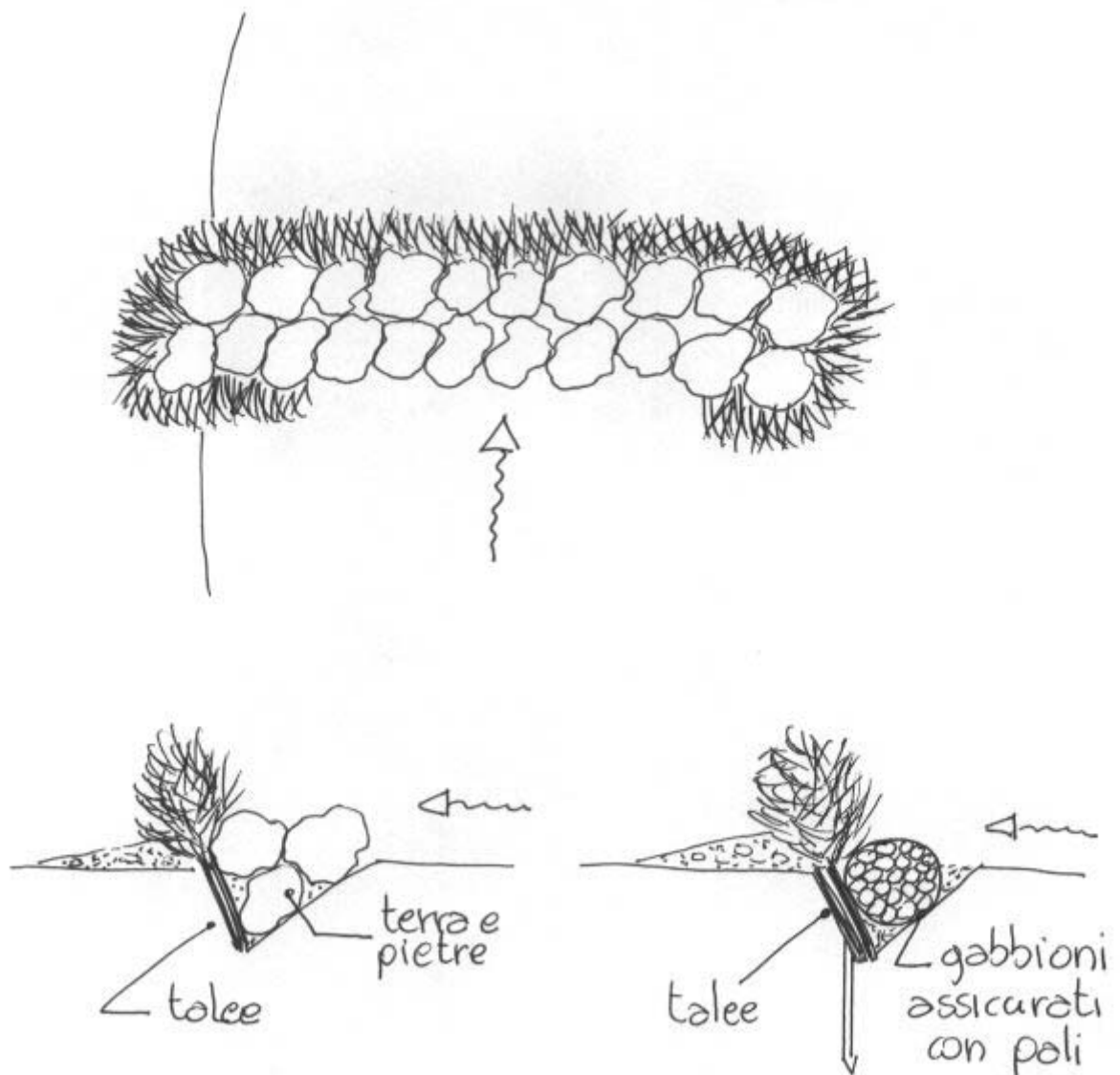


Fig. 22: Costruzione di una traversa a cespuglio (Keller).

Spazzole viventi

Si tratta di opere semplici ed economiche (Fig. 23), realizzate in genere in associazione alle traverse a cespuglio, in quanto da sole non raggiungono una resistenza ed una efficacia elevata, mentre possono sostenere l'azione delle traverse quando la sedimentazione nelle campiture è già avanzata.

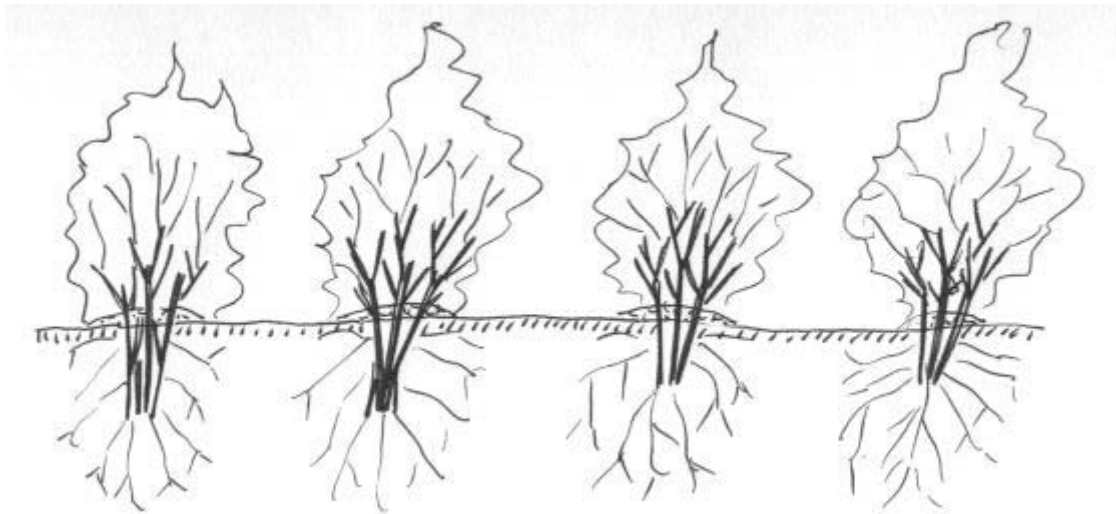


Fig. 23: Spazzole viventi, realizzate con talee di salice parallelamente alle traverse a cespuglio.

Graticciata con ramaglia

Le graticciate con ramaglia (Fig. 24) vengono utilizzate per il risanamento delle rotture spondali più gravi, in quanto, grazie ad una maggiore stabilità, resistono subito ad eventi di piena anche importanti. Sono adatte a corsi d'acqua veloci, con forti oscillazioni di livello e medio trasporto solido.

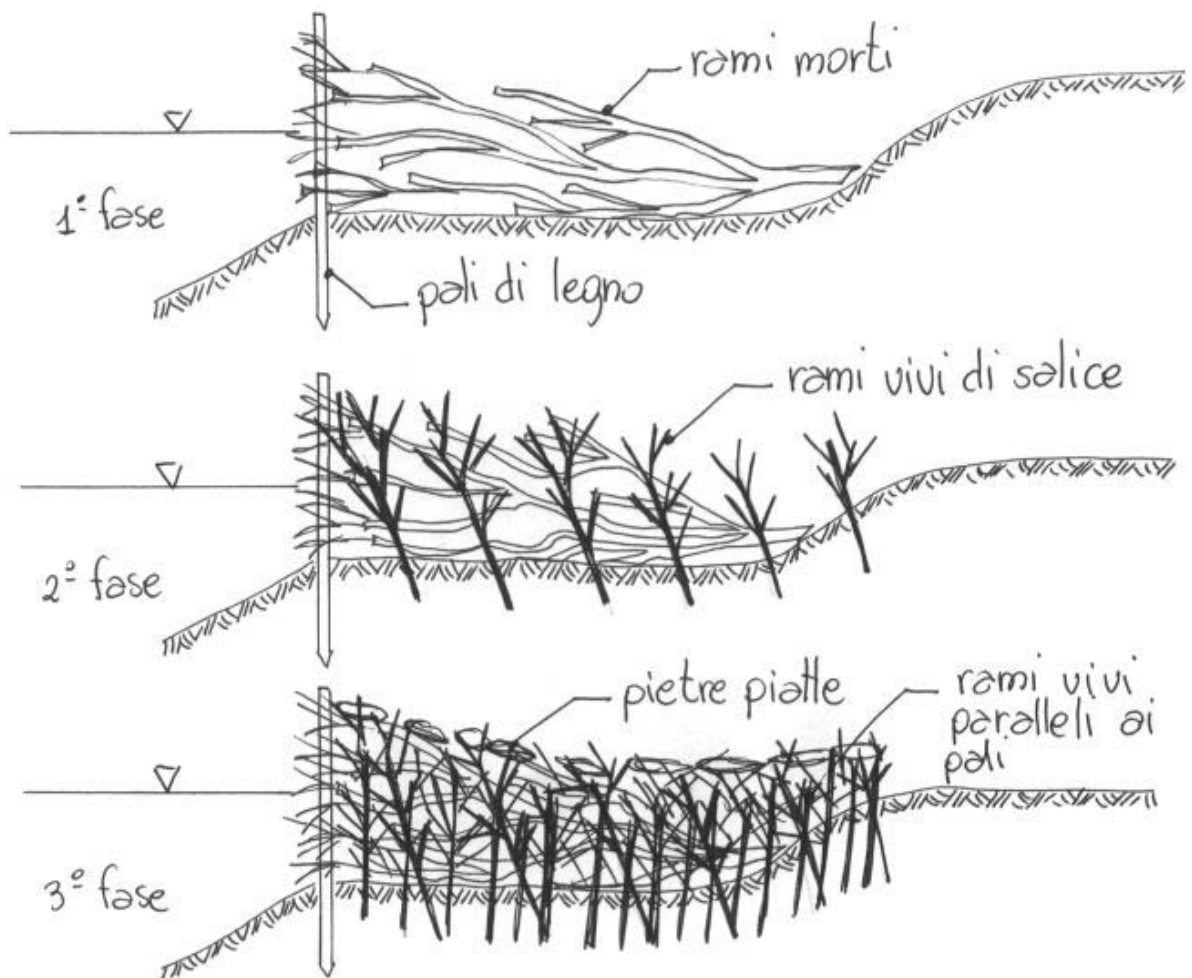


Fig. 24: Costruzione di una graticciata con ramaglia (Pruckner).

In presenza di rotture spondali estese non è necessario in genere risanare l'intera superficie mediante la graticciata di ramaglia. Questa può essere limitata al settore di monte, più sollecitato, mentre a valle si può ricorrere alle più economiche traverse con cespuglio, eventualmente integrate con spazzole viventi (Fig. 25).

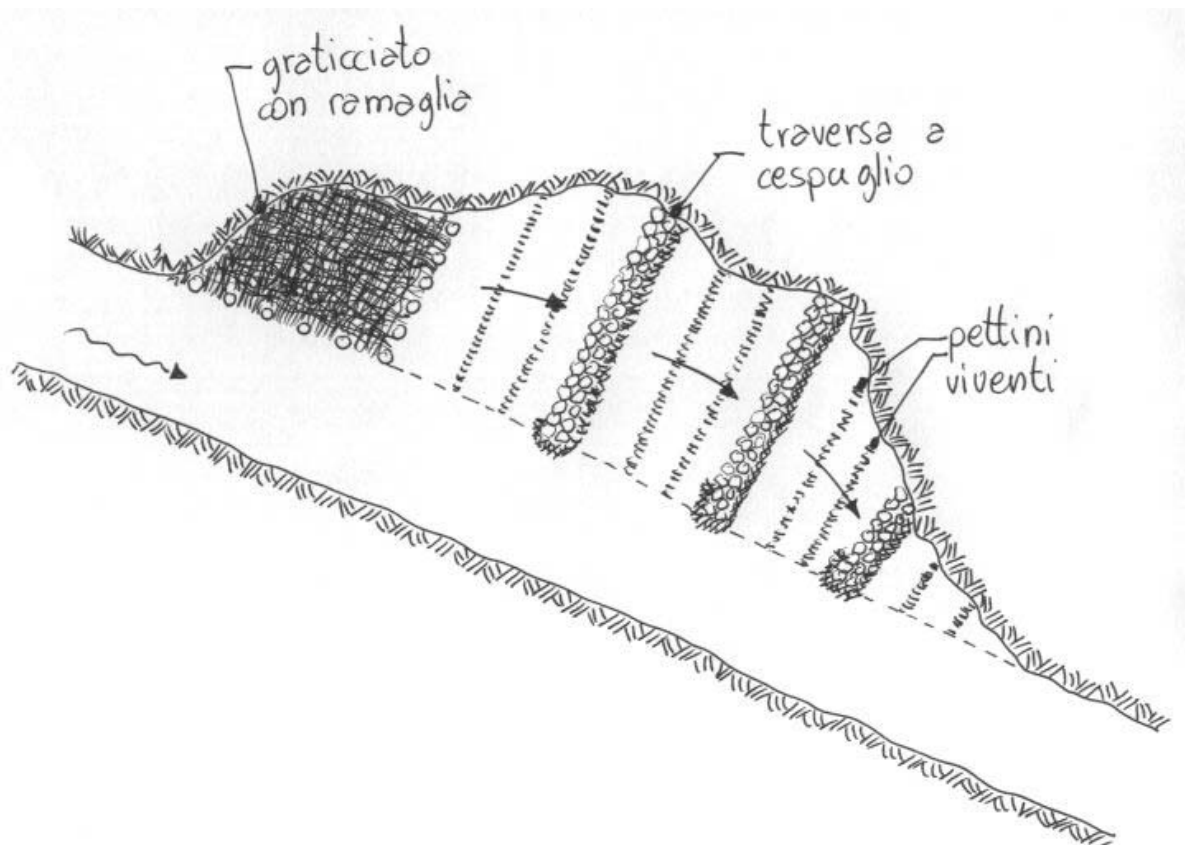


Fig. 25: Risanamento di rotture spondali estese mediante l'associazione di diverse opere di ingegneria naturalistica (Schiechl H.).

Soglie di fondo viventi

Le soglie di fondo viventi sono opere di ingegneria naturalistica che interessano l'intera larghezza del corso d'acqua e vengono realizzate con obiettivi di consolidamento dell'alveo, sopraelevamento del livello di fondo, contenimento del trasporto liquido. Esistono diverse tipologie di soglie viventi, di seguito elencate, alcune staticamente meno resistenti, altre più stabili.

Soglie a cespuglio vive interrate. Costituisce la forma più semplice ed economica di traversa vivente. Ortogonalmente all'asse del corso d'acqua si scavano piccole fossi triangolari sulle quali si dispongono rami viventi di salice, fittamente accostati. I rami vengono zavorrati con conci di pietre, gabbioni cilindrici, fascine o tondame di legno (Fig. 26), poi la fossa viene nuovamente riempita con la terra scavata, raggiungendo il livello originario di fondo dell'alveo, cosicché solo i rami elastici dei salici possano sporgere.

Le sponde del corso d'acqua, nel punto di innesto della soglia vivente, devono essere protette con una mantellata di rami di salice assicurata da fili di ferro e picchetti e ben collegata alla soglia, per evitare scalzamenti.

Le soglie a cespuglio vivo limitano l'erosione dell'alveo, favoriscono la sedimentazione del materiale fino trasportato dalla corrente,

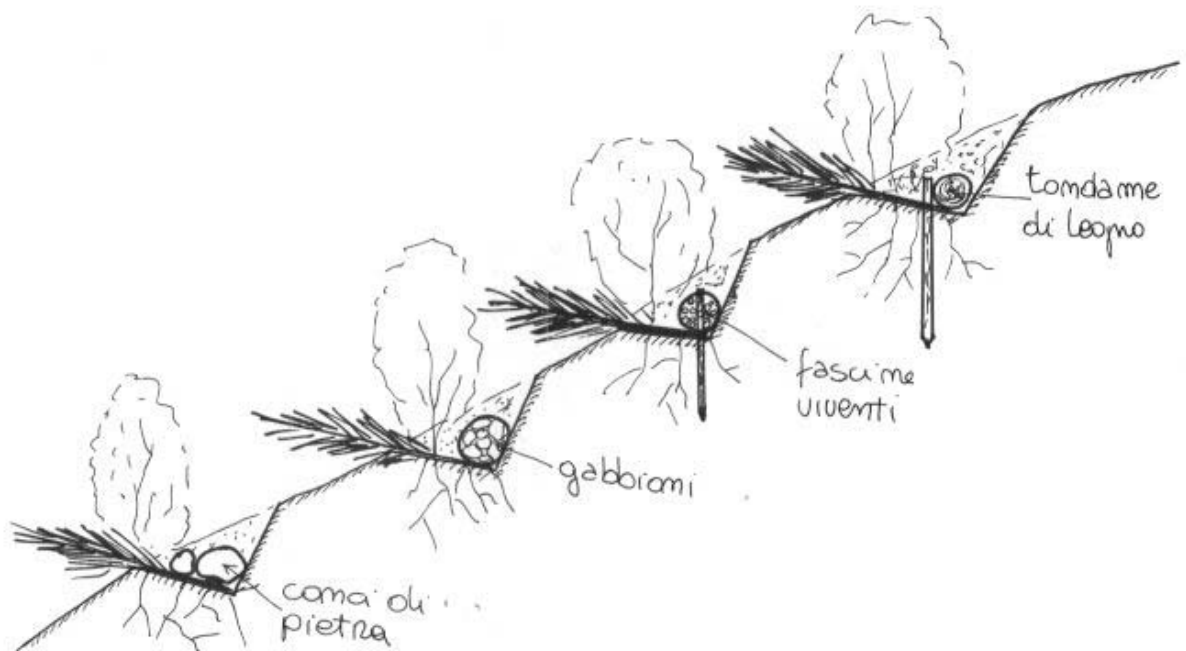


Fig. 26: Soglie a cespuglio vive interrate (Schiechtl H.).

Soglie di fascinate vive. Costituiscono una sistemazione semplice e poco costosa, un po' più stabile delle soglie a cespuglio vive, offrono buone possibilità di sedimentazione al materiale fine; sono particolarmente adatte per alvei stretti con acqua tranquille. Vengono realizzate con fascine contenenti rami di salice vivi associati a rami morti ed a pietrisco, secondo due modalità, ossia con fascina semplice o doppia (Fig. 27).

Nel primo caso, scavata una fossa ortogonale all'asse del corso d'acqua, vi si affonda la fascina fino a circa metà del diametro. Nel secondo caso le fascine vengono disposte sfalsate l'una sopra all'altra. Quest'ultima sistemazione risulta un po' più robusta. E' comunque possibile anche la costruzione con tre o più fascine. Le fascine devono essere assicurate all'alveo mediante picchetti di legno o di metallo, per impedire lo scalzamento laterale del manufatto va dedicata particolare cura

all'ancoraggio alle sponde laterali mediante appositi intagli in cui si inseriscono i terminali delle fascine, assicurandoli con pali.

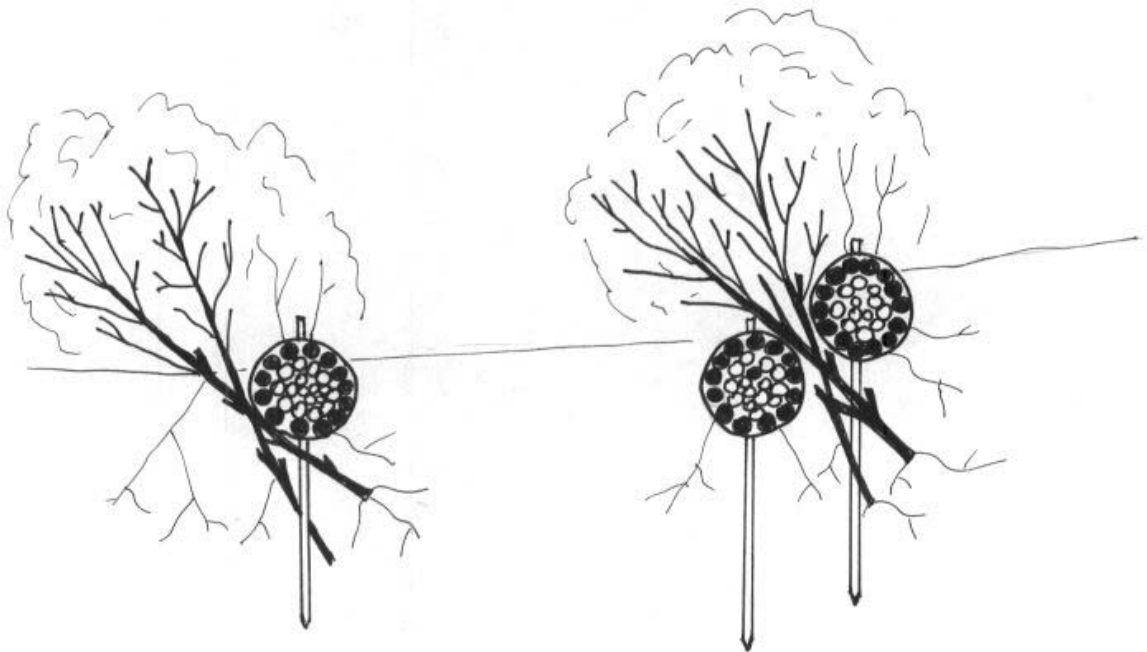


Fig. 27: Soglie di fascinate vive, semplici e doppie.

Soglie di viminate. Sono realizzate con verghe di salice vive flessibili, intrecciate attorno a picchetti di legno (vivo o morto) o a picchetti metallici conficcati nell'alveo ad opportuna distanza in modo da formare barriere trasversali alla corrente, affondate nell'alveo fino a circa la metà della loro lunghezza, per evitare lo scalzamento (Fig. 28); si può anche aggiungere una difesa in rete metallica a maglia stretta posta sul lato di monte. Lateralmente la soglia deve essere prolungata in modo che i terminali penetrino nelle sponde del corso d'acqua. Si possono ulteriormente proteggere le sponde con mantellate di salice.

Anche le soglie di viminate possono essere realizzate semplici o doppie e combinate con le sistemazioni a cespuglio e con fascine, in questi casi si realizza prima la sistemazione a cespuglio o con fascine poi si inserisce la viminata sul lato di monte, ricoprendo infine le fosse.

Questo tipo di sistemazione può essere usato senza rischio solo per piccoli corsi d'acqua con modeste pendenze e per canali agricoli.

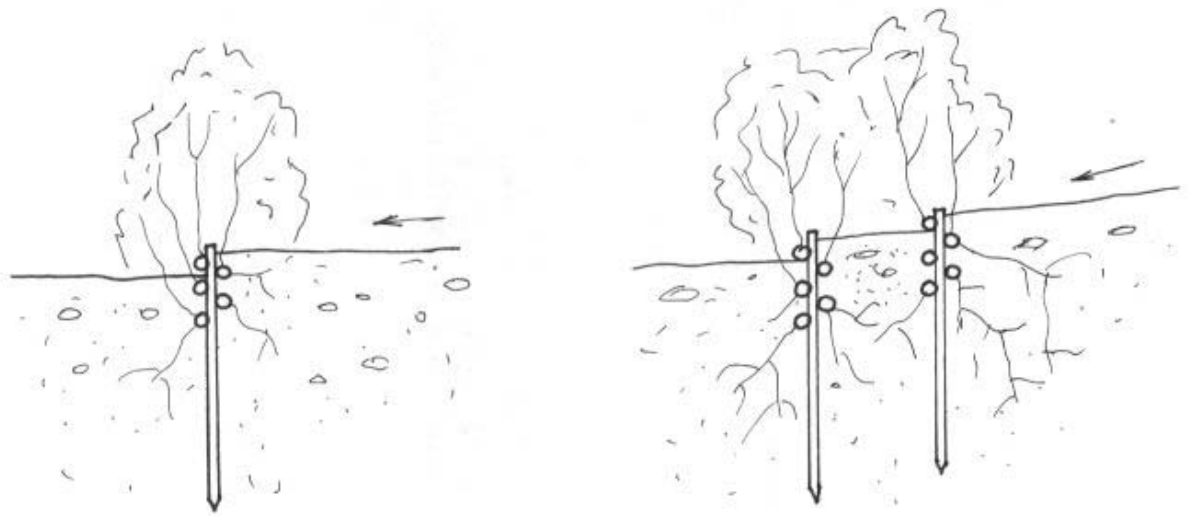


Fig. 28: Soglie di viminate semplice e doppie.

Soglie di gabbioni rinverditi. Se esiste il materiale adatto, si possono fabbricare sul posto i gabbioni, disponendo in piano una rete metallica a maglie strette e caricandola a strati di pietre e rami vivi di salice, inseriti correttamente tra le maglie. La rete viene poi piegata e cucita con fil di ferro, in modo da formare un corpo prismatico o pseudoprismatico (Fig. 29) (che meglio si adatta alla superficie di posa).

I rami devono uscire dalla rete da entrambe le parti: le punte grosse vanno rivolte verso l'alveo e ricoperte di terra per favorire la crescita, quelle fini sporgono nella direzione della corrente.

Per impedire lo scalzamento al piede della soglia, i gabbioni possono essere collocati sopra uno strato di ramaglia o se necessario si realizza una fondazione costituita da una griglia di legni tondi in cui gli spazi vengono riempiti con rami.

Per motivi di stabilità è bene che i gabbioni penetrino un po' nell'alveo e nelle sponde.

Una variante rispetto al gabbione tradizionale è costituita da corpi a sacco in geotessile riempiti di ghiaia (Fig. 29); essi hanno il vantaggio di poter essere costruiti in tutte le possibili forme e quindi si possono adattare meglio alla morfologia locale, essendo più elastici.

Le soglie di gabbioni costituiscono traverse stabili anche in alvei ripidi interessati con continuità da portate liquide e solide.

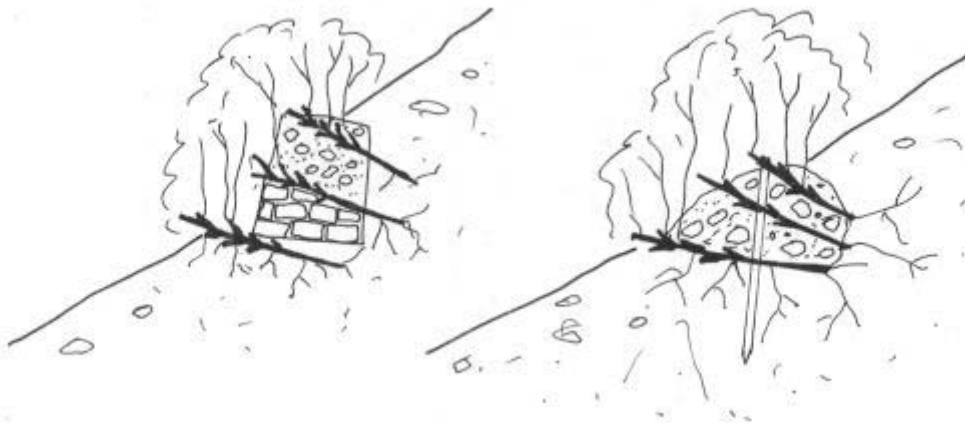


Fig. 29: Soglie di gabbioni rinverditi.

Soglie in legno rinverdite. Il principio delle palificate in legname con pareti tipo Krainer, semplici o doppie, può essere applicato anche per la realizzazione di soglie trasversali di legno, riempite con ghiaia e sassi e rinverdite con rami vivi o tallee di salice, che vengono introdotti nel processo di riempimento, con inclinazione di circa 15°. Si ottiene così un manufatto stabile ed elastico, sostenuto da un'intelaiatura in legno che dura 25-30 anni; le sue funzioni sono in seguito assunte dall materiale vivente.

Questa sistemazione è adatta per il gradonamento di alvei ripidi e stretti, con una resistenza simile a quella dei gabbioni.

