

### 14.3 Interventi combinati di consolidamento

#### 14.3.1 Grata viva

**Descrizione sintetica:** la grata viva è un'opera realizzata con pali in legname, disposti tra loro perpendicolarmente, e successiva messa a dimora di talee e/o piantine radicate. È utilizzata per il consolidamento di versanti o sponde acclivi con substrato compatto e per la stabilizzazione di pendii con fenomeni di erosione superficiale dove, per l'elevata acclività, non è possibile applicare altre tecniche d'ingegneria naturalistica.

La grata viva agisce quindi come sostegno del terreno fino a che non si sono sviluppati gli elementi costruttivi vivi che, con lo sviluppo degli apparati radicali producono un effetto consolidante (figg. 14.38a-14.40).

**Descrizione da voce di capitolato:**

- a) semplice;
- b) doppia.

Sostegno di scarpate e versanti in erosione molto ripidi con substrato compatto (che non deve essere smosso) con grata in tondame di larice, altra resinosa o castagno di  $\varnothing 20 \div 40$  cm e lunghezza  $2 \div 5$  m, fondata su un solco in terreno stabile o previa collocazione di un tronco longitudinale di base, con gli elementi verticali distanti  $1 \div 2$  m e quelli orizzontali, chiodati ai primi, distanti da 0,40 m a 1 m a seconda dell'inclinazione del pendio (in genere si lavora su pendenze di  $45^\circ \div 55^\circ$ ); fissaggio della grata al substrato mediante picchetti di legno di  $\varnothing 8 \div 10$  cm e lunghezza 1 m, o di ferro di dimensioni idonee per sostenere la struttura; riempimento con inerte terroso locale alternato a talee e ramaglia disposta a strati, in appoggio alle aste orizzontali con eventuale supporto di una griglia metallica per un miglior trattenimento del terreno. L'intera superficie verrà anche seminata e in genere piantata con arbusti autoctoni.

La grata può essere semplice (*variante a*) o doppia (*variante b*) a seconda della profondità e forma dello scoscendimento. La radicazione delle piante si sostituirà nel tempo alla funzione di consolidamento della struttura in legname. L'altezza massima possibile per le grate vive non supera in genere i  $15 \div 20$  m.

**Campi di applicazione:** può essere utilizzata su sponde e su versanti che presentano acclività anche superiori a  $45^\circ \div 50^\circ$  su nicchie di frana dove sono possibili solo modesti rimodellamenti e su scarpate stradali o ferroviarie molto ripide.

**Fattibilità:** l'altezza massima che si può raggiungere con questo tipo di intervento è di  $15 \div 20$  m. È possibile operare su fronti con altezza maggiore qualora sia realizzabile una gradonatura intermedia. In presenza di venu-

te d'acqua bisogna realizzare dei drenaggi con materiale granulare ed eventuali tubi fessurati per allontanare le acque captate.

**Materiali impiegati:** la grata viva viene realizzata mediante l'impiego di:

- tondame in legno scortecciato (castagno, robinia, larice o altro legname con buone caratteristiche di resistenza) con  $\varnothing = 15 \div 30$  cm e  $L = 2 \div 5$  m, per la realizzazione dell'impalcatura principale;
- picchetti in legno con  $\varnothing = 8 \div 12$  cm e  $L > 1$  m o tondini in ferro di dimensioni idonee a sostenere la struttura;
- chiodi (tondini di ferro acciaioso aderenza migliorata);
- talee, ramaglia e/o piantine di specie arbustive con buon radicamento;
- eventuale rete metallica per meglio trattenere il materiale di riempimento;
- palificata spondale in legno al piede.

**Modalità di esecuzione:**

- realizzazione del piano di appoggio che può essere costituito da un piano in leggera contropendenza dove viene realizzata una eventuale palificata in legname, quando esiste una reale possibilità di scalzamento al piede;
- sul tondame della palificata vengono fissati (con chiodi) perpendicolarmente elementi reticolari distanti  $80 \div 150$  cm che vengono resi solidali al terreno con picchetti in legno o ferro; successivamente, al tondame così ancorato, viene fissato trasversalmente altro tondame, in modo da formare delle maglie quadrate o rettangolari (a seconda degli interassi che si scelgono, indicativamente  $80 \div 150$  cm);
- riempimento della grata mediante materiale terroso e inerte alternato a talee e ramaglia disposta a strati, ed eventuali piantine, in corrispondenza del tondame trasversale;
- eventuale inerbimento dell'intera superficie;
- è opportuno posare una rete metallica, biostuoia o geojuta per trattenere il terreno riportata;
- per proteggere la testata della grata da eventuali fenomeni di erosione, si può rivestire la testa posando e ancorando una striscia di biostuoie o materiale sintetico, al di sopra della quale può essere inserita una fila di talee; in alternativa può essere realizzata una canaletta di sgrondo.

**Interventi collegati:** opere di consolidamento di versante.

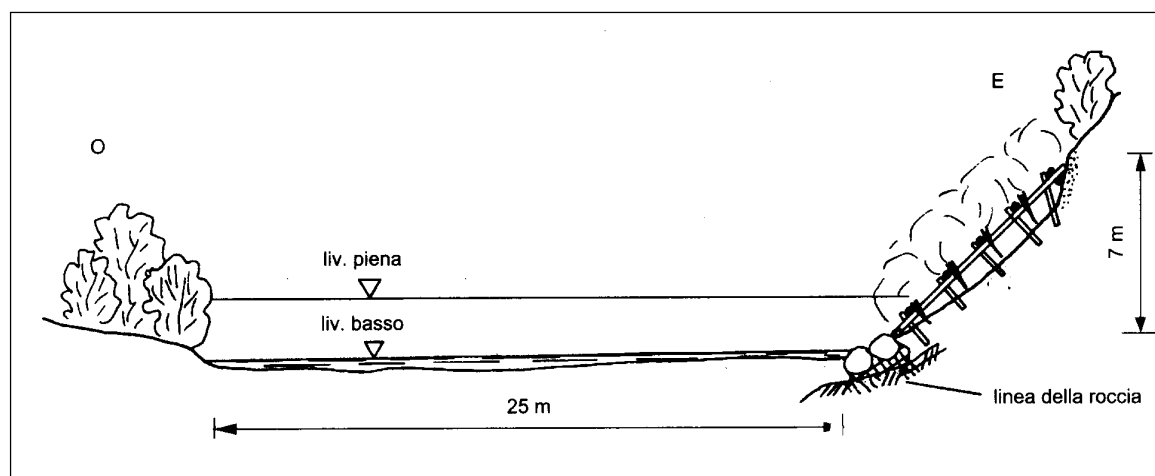
**Prescrizioni:**

- l'interasse degli elementi orizzontali varia a seconda della pendenza del versante;
- le altezze massime delle grate vive non superano i  $15 \div 20$  m;
- le talee dovranno avere una lunghezza tale da raggiungere il terreno retrostante la grata;
- a protezione dei fronti con pendenze elevate e come metodo di contenimento del mate-

Tab. 14.34 - Grata viva: analisi prezzi

Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
<i>a) Manodopera:</i>				
Operaio specializzato	Ora	0,00		
Operaio qualificato	Ora	0,50		
Operaio comune	Ora	0,80		
<i>b) Noli:</i>				
Autocarro	Ora	0,10		
Pala meccanica	Ora	0,50		
Motosega a catena	Ora	0,08		
Generatore con trapano	Ora	0,06		
<i>c) Materiali:</i>				
Legname scortecciato	m <sup>3</sup>	0,25		
Chiodi, spezzoni d'acciaio appuntiti	cad	3		
Rete elettrosaldata	Kg	1		
Talee di salice	cad	20		
Arbusti	cad	1		
Idrosemina	m <sup>2</sup>	1		
<b>Prezzo di applicazione</b>			<b>Euro/m<sup>2</sup></b>	<b>83,67 ÷ 88,83</b>
			<b>£/m<sup>2</sup></b>	<b>162.000 ÷ 172.000</b>

Fig. 14.38a - Grata viva



riale può essere posta una griglia metallica o una rete metallica a doppia torsione;

- una grata di piccole dimensioni può essere eseguita anche con l'impiego di astoni vivi.

**Limiti di applicabilità:** dimensioni ed inclinazione della sponda in erosione.

**Vantaggi:**

- immediata stabilizzazione della sponda;
- l'effetto di stabilizzazione aumenta una volta che le specie vegetali inserite hanno cominciato a radicare;
- le specie vegetali svolgono anche un'azione drenante in quanto assorbono l'acqua necessaria al loro sviluppo;
- intervento efficace in luoghi ristretti, dove risulta difficile effettuare rimodellamenti.

**Svantaggi:**

- realizzazione lunga e costosa;
- con il tempo il legname marcisce;
- non è idonea su versanti con rocce affioranti.

**Periodo di intervento:** le talee e le piantine radicate vanno posate durante il riposo vegetativo, le semine vanno invece eseguite durante il periodo vegetativo.

**Manutenzione e durata dell'opera:** l'opera, se ben realizzata, non necessita di particolari manutenzioni, se non la sostituzione delle talee o delle piantine che non hanno attecchito.

**Possibili errori:** scelta errata del periodo per la posa di materiale vegetale vivo.

**Analisi prezzi:** si veda la tabella 14.34.

Fig. 14.38b - Grata viva

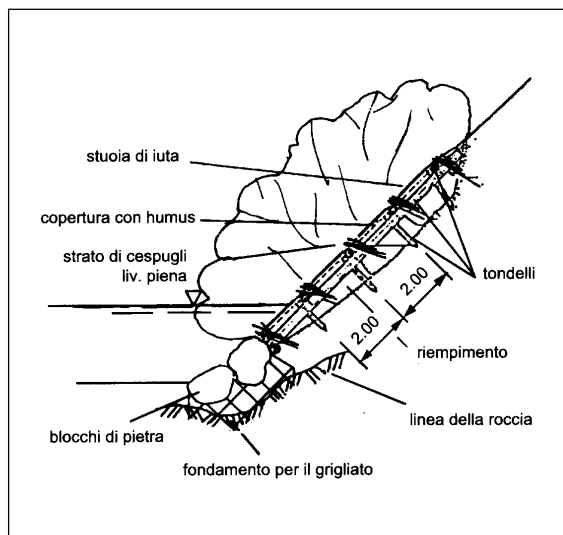


Fig. 14.39 - Grata viva

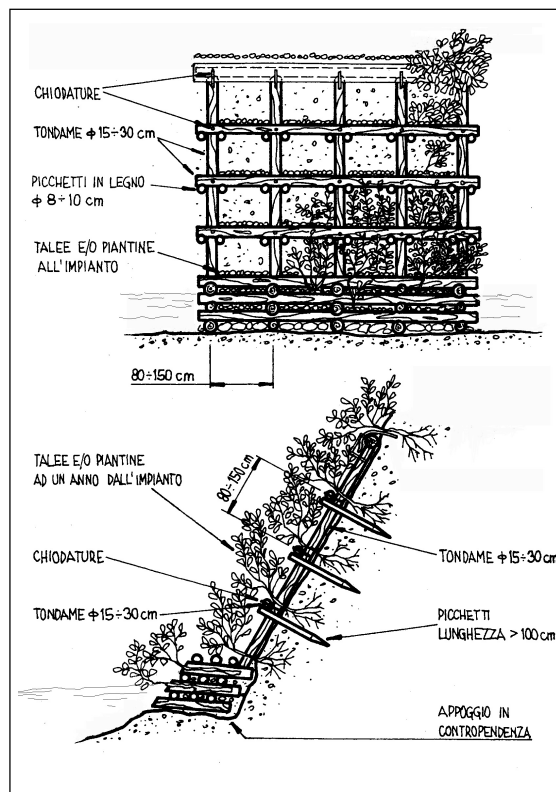
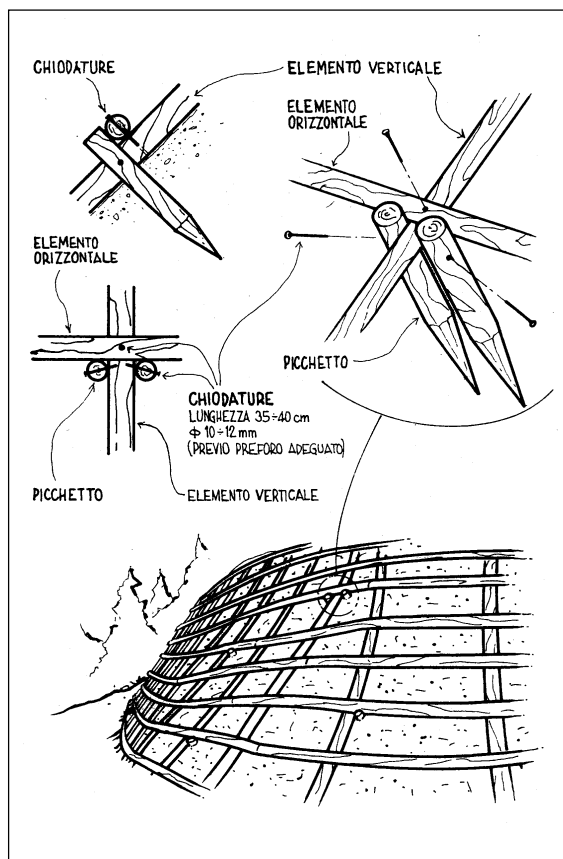


Fig. 14.40 - Grata viva



### 14.3.2 Palificata viva spondale con palo verticale frontale

**Descrizione:** struttura in legname tondo costituita da un'incastellatura di tronchi a formare camere frontali nelle quali vengono inserite fascine.

Frontalmente è presente un palo verticale sul quale sono chiodati i tronchi correnti e quelli trasversi.

L'opera, addossata alla sponda in erosione, è completata dal riempimento con materiale terroso inerte e pietrame nella parte sotto il livello medio dell'acqua (fig. 14.41).

**Campi di applicazione:** sponde fluviali soggette ad erosione.

**Applicabilità della tecnica in funzione statica, idraulica, naturalistica:** corsi d'acqua ad alta energia con trasporto solido anche di grosse dimensioni.

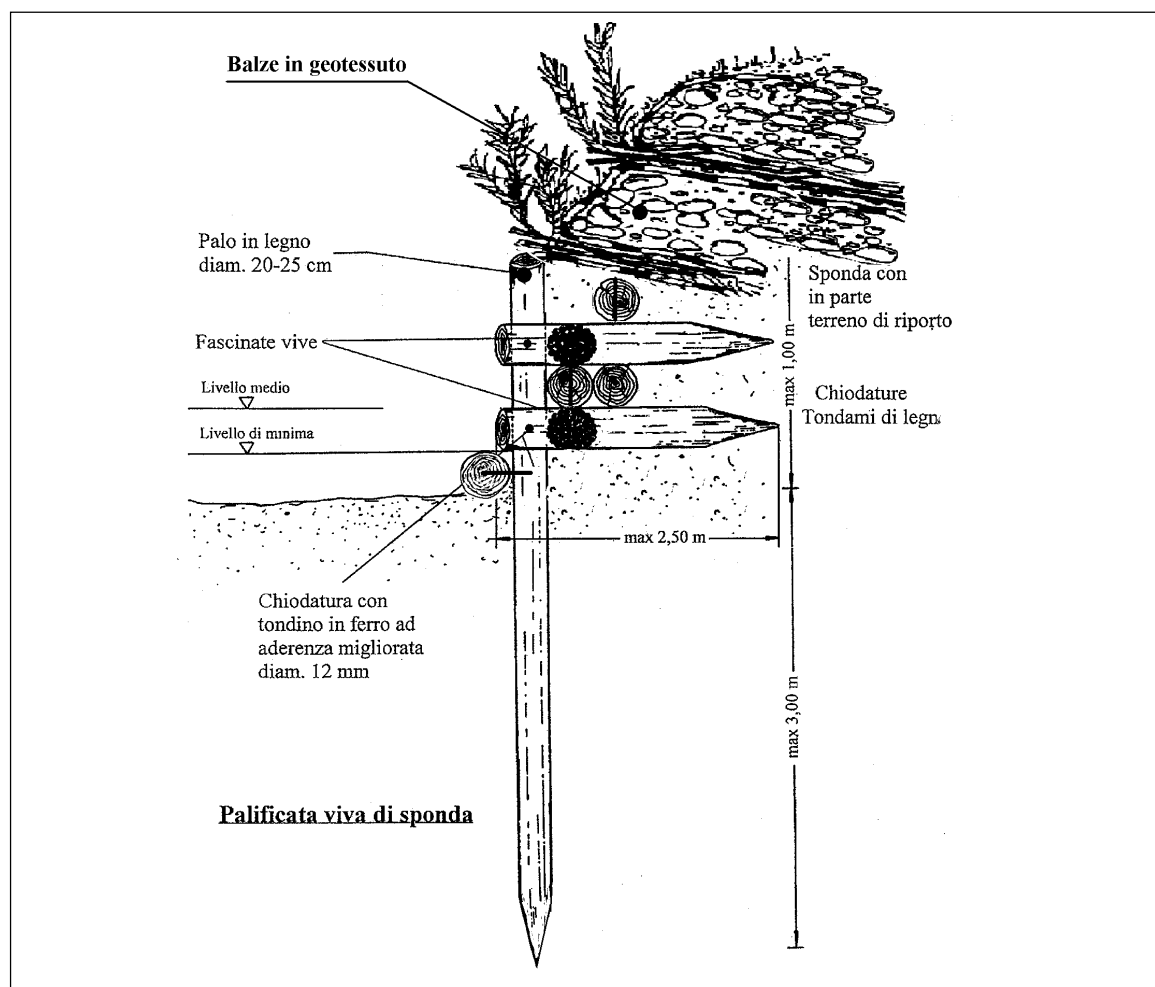
#### Materiali impiegati:

- tronchi e pali di resinosa o castagno scortecciati  $\phi 20 \div 30\text{ cm}$ ;
- chiodature metalliche e cambre  $\phi 12 \div 14\text{ mm}$ ;
- fascine vive di salice  $\phi 20 \div 30\text{ cm}$ ;
- fascine morte  $\phi 25 \div 30\text{ cm}$ ;
- terreno di riempimento;
- pietrame.

#### Modalità di esecuzione:

1. infissione verticale di pali con punta, per almeno  $2/3$  della loro lunghezza, in prossimità della sponda erosa con interasse di  $2\text{ m}$  seguendo lo sviluppo originario della linea di sponda;
2. posa della prima serie di tronchi orizzontali parallelamente alla linea di sponda, retrostanti la fila di pali verticali ed inchiodati ad essi;
3. posa e chiodatura della prima serie di pali con punta perpendicolarmente alla sponda al di sopra della serie di tronchi orizzontali;

Fig. 14.41 - Palificata viva spondale con balze in geotessuto



Tab. 14.35 - Palificata viva spondale con palo verticale frontale: analisi prezzi

Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
<i>a) Manodopera:</i>				
Operaio specializzato	Ora	0,00		
Operaio qualificato	Ora	0,7		
Operaio comune	Ora	1,4		
<i>b) Noli:</i>				
Autocarro	Ora	0,30		
Ragno meccanico	Ora	0,80		
Motosega a catena	Ora	0,30		
Generatore con trapano	Ora	0,06		
Compressore con pistola	Ora	0,30		
<i>c) Materiali:</i>				
Legname scortecciato	m <sup>3</sup>	0,3		
Chiodi, spezzoni d'acciaio appuntiti	cad	4		
Puntale di ferro	cad	1		
Palo frontale	m <sup>3</sup>	0,09		
Talee di salice	cad	15		
Pietrame di riempimento	m <sup>3</sup>	1		
Fascine cieve di salice	cad	1		
Cambre	Kg	0,5		
<b>Prezzo di applicazione</b>			<b>Euro/m<sup>2</sup></b>	<b>83,67 ÷ 88,83</b>
			<b>£/m<sup>2</sup></b>	<b>162.000 ÷ 172.000</b>

4. inserimento di fascine morte nelle camere frontali al di sotto del livello medio dell'acqua e riempimento con pietrame;
5. inserimento di fascine vive di salice nelle camere frontali al di sopra del livello medio dell'acqua e riempimento con inerte terroso;
6. ripetizione delle operazioni 2, 3, 5 fino al raggiungimento dell'altezza di progetto;
7. riporto di materiale inerte fino a completa copertura dell'opera e riprofilatura di raccordo con la scarpata di sponda.

*Prescrizioni:*

- la lunghezza dei pali verticali non deve essere inferiore ai 3 m;
- i pali disposti perpendicolarmente alla sponda devono attestarsi nella stessa;
- come rinforzo della punta in legno dei pali verticali è consigliabile il rivestimento con puntale in ferro.

*Vantaggi:* rapido consolidamento della sponda.

*Svantaggi:*

- altezza limitata;
- tempi di realizzazione lunghi.

*Effetto:* una volta cresciute, le piante esercitano un effetto drenante e di consolidamento della sponda attraverso il fitto intreccio di radici.

*Periodo di intervento:* periodo di riposo vegetativo.

*Possibili errori:*

- scelta errata per la posa di materiale vegetale vivo;
- insufficiente o inadeguato inserimento di fascine e conseguente svuotamento della struttura.

*Note:* la prima fila di pali può essere messa esterna per ridurre la pendenza finale del paramento esterno che, altrimenti, risulta praticamente verticale impedendo la crescita delle fascine delle ramerie inferiori, in quanto adombrate da quelle superiori.

*Analisi prezzi:* si veda la **tabella 14.35**.

#### 14.3.3 Palificata viva spondale ad una ed a due pareti

*Descrizione dell'opera:* manufatto a gravità formato da una struttura cellulare in pali di legno abbinato alla posa di piante. Il deterioramento (marcescenza) del legname, in alcuni decenni, presuppone che i parametri di stabilità del manufatto vengano riferiti ad un paramento esterno assimilabile ad una pendice ben vegetata e ad un terreno con buone caratteristiche di attrito. In presenza di adeguata manutenzione (taglio periodico delle piante al fine di impedire l'appesantimento delle ceppaie) si possono raggiungere accettabili stabilità per pendenze

del paramento esterno dell'ordine di 60° (**fig. 14.42-14.45**).

*Descrizione da voce di capitolato:* consolidamento di sponde subverticali mediante tondami di resinosa o di castagno di  $\varnothing 20 \div 30$  cm e di almeno 3 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 trasversale. I singoli tondami vengono fissati l'uno all'altro con chiodi in tondino  $\varnothing 14$  mm. Gli interstizi tra i tondami longitudinali vengono riempiti con massi sino al livello di magra dell'acqua. Negli interstizi sovrastanti, vengono inserite fascine di salice leggermente ricoperte di terreno per assicurare la radicazione dei rami di salice. Dai salici si sviluppa una vegetazione arbustiva riparia con funzione naturalistica e nel tempo anche statica mediante la radicazione che va a sostituirsi al tondame destinato a marcire. La struttura si presta anche alla creazione di tane per ittiofauna ricavando delle nicchie nella parte sommersa sostenute da legname al posto del pietrame di riempimento.

*Campi di applicazione:*

consolidamento, ricostruzione di sponda, soggette ad erosione. La variante ad una parete è preferibile in situazioni di spazio limitato.

*Limiti di fattibilità:*

velocità della corrente superiori a 4 m/s.

*Materiali impiegati:*

- tondame di specie a legno durevole (robinia, castagno) di diametro almeno 20 cm;
- pioli, tondini in metallo ad aderenza migliorata  $\varnothing 12 \div 14$  mm;
- talee e piantine di latifoglie  $\varnothing 20 \div 30$  cm;
- pietrame;
- Inerte terroso.

*Grado di reperibilità:* per tutti i materiali una buona reperibilità. Per quanto riguarda il legname si puntualizza come in particolari condizioni, ovvero operando all'interno o in prossimità di zone a bosco, possa risultare economico l'utilizzo di legno proveniente da tagli e diradamenti, potendo utilizzare per la costruzione delle palificate anche legname con caratteristiche tecnologiche (cipollatura, legno di torsione, ecc.) non altrimenti utilizzabile se non come legna da ardere. Il materiale vegetale da utilizzarsi è facilmente reperibile presso i vivai pubblici e privati, fanno eccezione alcune specie arbustive.

*Modalità di esecuzione:*

- montaggio legname:
  - il piano di posa va realizzato con una contropendenza verso monte stabilita in sede di calcolo di stabilità ( $5^\circ \div 15^\circ$ ); il tipo di manufatto si presta alla posa anche su

- piani non complanari nel senso dello sviluppo in lunghezza;
- si procede alla posa della prima fila di legname in senso parallelo alla pendice, curando il posizionamento in bolla, durante la posa del tondame si realizzano i collegamenti tra un legno ed il successivo realizzando gli incastri ed i fissaggi con il tondino in ferro;
  - il montaggio prosegue con la posa del successivo ordine di tondame da posizionarsi in senso ortogonale alla prima fila ed alla pendice: questi legni avranno lunghezza variabile desunta dai calcoli progettuali ed in considerazione delle caratteristiche biotecniche e del terreno (capacità di approfondimento dell'apparato radicale) e variabile da 1,5 a 3 m. Si procede quindi al fissaggio dei legni con la fila sottostante sempre tramite tondino in ferro. Nella variante ad una parete, i pali con punta perpendicolare alla sponda al disopra del tronco orizzontale, vengono inseriti nel terreno a spinta mediante escavatore;
  - per quanto riguarda la realizzazione del fissaggio con il tondino si può rilevare come vada curata la completa perforazione dei due tronchi da fissare e si debba quindi disporre di punte da legno di adeguata lunghezza (doppia del diametro dei tronchi), almeno 40 cm: la foratura parziale può originare fessurazioni e rotture del legno al momento dell'inserimento forzato del tondino con colpi di mazza;
  - nel procedere alla realizzazione dei piani successivi si segue lo schema descritto, con l'avvertenza di posizionare i legni longitudinali alla pendice sempre in posizione arretrata rispetto al sottostante ordine di legni longitudinali e, ciò, per conferire al manufatto la pendenza del paramento scelta in sede progettuale;
  - eventuali variazioni di pendenza del paramento possono essere ottenute rinunciando alla posa del legno longitudinale sul retro del manufatto e realizzando il fissaggio a carico dell'ordine di legno longitudinale sottostante;
- riempimento struttura e posa materiale vegetale:
    - dopo aver realizzato il montaggio di 1 o 2 ordini di tondame, occorre procedere al riempimento della struttura cellulare con inerti e terreno ed alla posa delle talee e delle piantine;
    - il terreno posato negli spazi vuoti tra i pali va opportunamente compattato e si procede quindi alla posa delle talee in posizione coricata ovvero delle piantine sempre in posizione coricata ovvero delle piantine sul fronte a vista in posizione eretta;
    - le talee posate dovranno avere una lunghezza pari alla profondità della palificata (1,5 ÷ 3 m) onde consentire una radicazione profonda, ed è sufficiente che emergano fuori terra per 10 ÷ 30 cm;
    - le talee o le piantine radicate vengono posate in ragione di una ogni 10 ÷ 15 cm di fronte per ogni ordine di tondame longitudinale ovvero per circa 20 ÷ 30 talee/piantine per ogni m<sup>2</sup> di paramento esterno della palificata;
  - palificata a una parete:
    - la palificata ad una parete viene montata con le stesse modalità previste per il tipo a due pareti ma rinunciando alla posa del tondame longitudinale posizionato sul retro della struttura;
    - in particolare si realizza questa tipologia in presenza di spazi limitati per quanto attiene le possibilità di realizzare strutture profonde ovvero per scelta progettuale che ritenga sufficiente la realizzazione di un manufatto leggero con prevalenza della funzione di rivestimento rispetto a quella di sostegno;
    - la posa dei legni ortogonali alla sponda, nella costruzione della palificata ad una parete può essere realizzata con l'ausilio di una trivella, manuale o portata sul retro di una trattoria con punta da 15 ÷ 20 cm, che realizzi il foro nel fronte terroso solido. Tale modalità consente di contenere al minimo i movimenti di terra ma soprattutto assicura il mantenimento della solidità di quella porzione di pendice non ancora oggetto di scoscendimento;
    - in questa modalità costruttiva è importante battere i pali nel foro realizzato con la trivella dopo averli opportunamente appuntiti.

*Parametri e modalità di calcolo:*

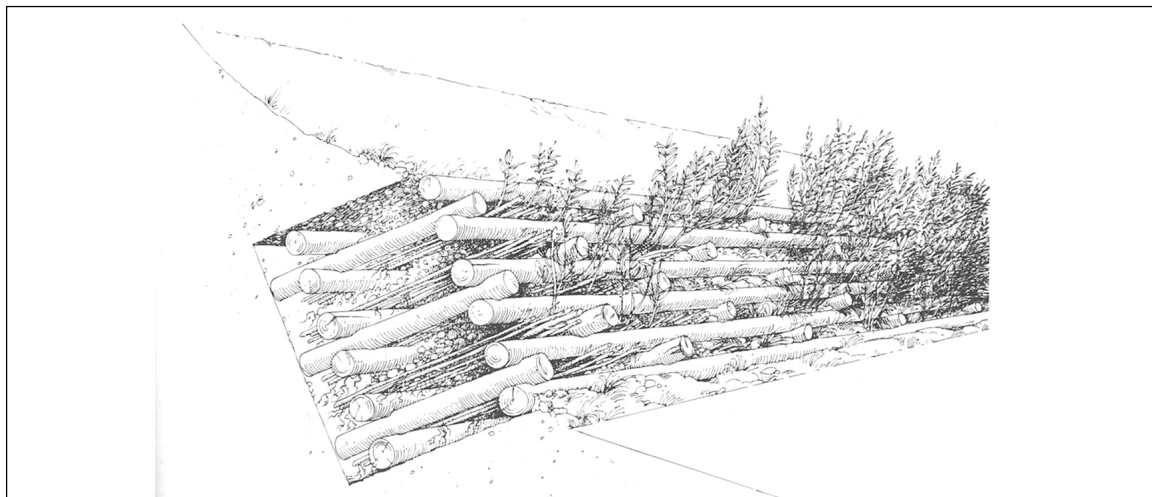
la palificata deve essere calcolata come manufatto a gravità tenendo presente come il volume occupato dal legname è pari a circa il 15 ÷ 20% del volume totale del manufatto.

*Prescrizioni:*

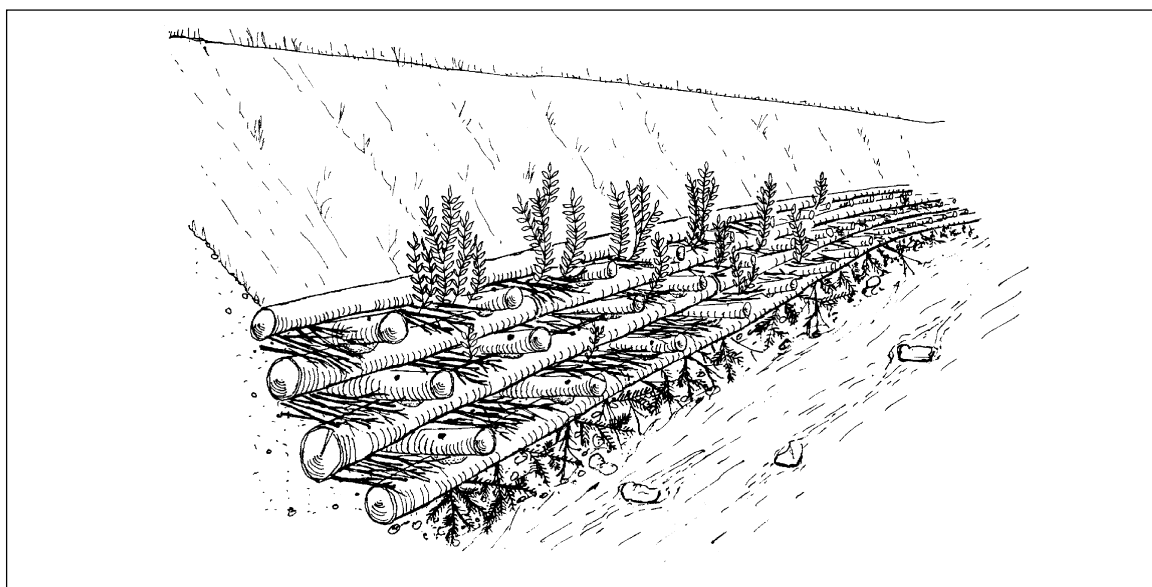
- qualora la palificata funga da difesa spondale, al piede della stessa verrà collocata una fila di massi legati con fune di acciaio Ø 16 mm e pilotis metallici L = 2 m, infissi per i 3/4 della lunghezza;
- le talee dovranno avere una lunghezza tale da passare l'opera fino a toccare il terreno retrostante e in tal modo radicare, mentre nella parte frontale dovranno sporgere per più di 10 cm;
- il fronte della palificata dovrà avere una pendenza inferiore a 60° per consentire la crescita delle piante;
- i tronchi trasversi andranno disposti alternati per garantire una maggiore elasticità e resistenza della palificata stessa;
- sul fronte della palificata è possibile inserire geotessili per il contenimento del materiale più fine.

*Limiti di impiego e scelta delle specie vegetali:* è conveniente utilizzare abbondante materiale vegetale vivo (talee, astoni, ramaglia), da

**Fig. 14.42** - Palificata spondale a due pareti



**Fig. 14.43** - Palificata viva con iniziale sviluppo vegetativo



**Fig. 14.44** - Sezione di una palificata spondale livellata

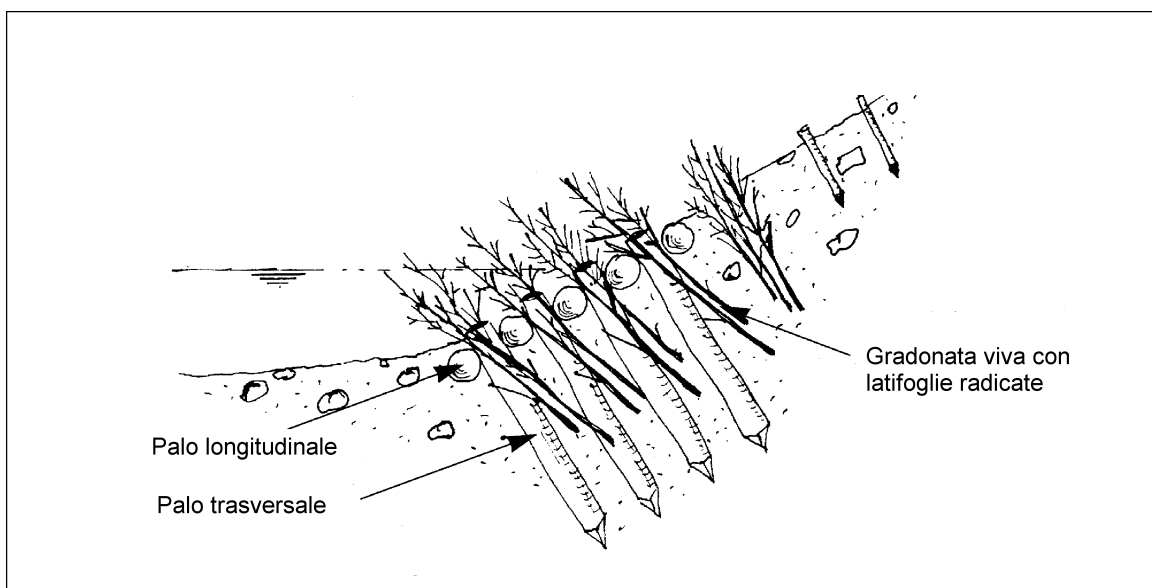
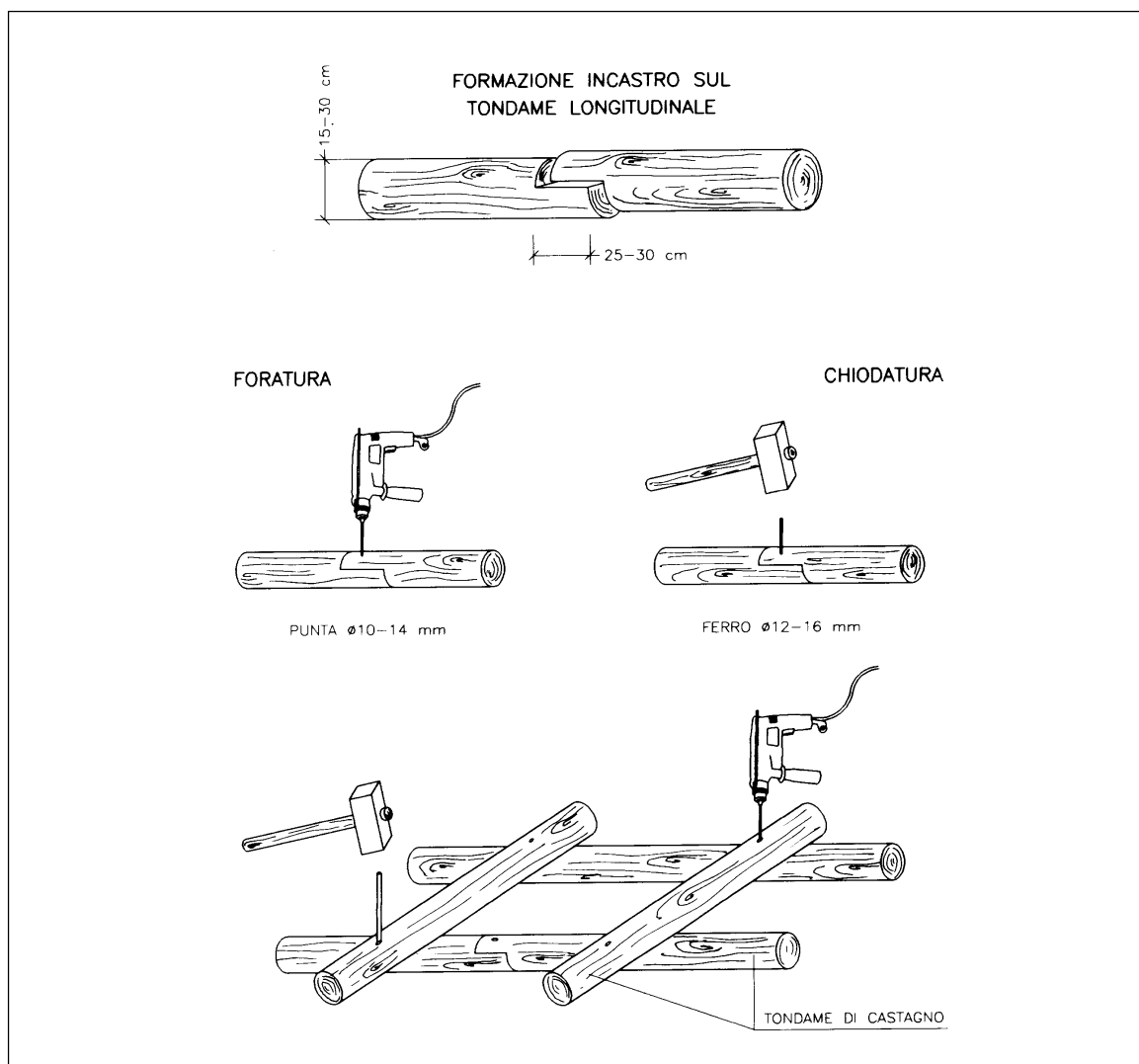


Fig. 14.45 - Palificata viva spondale ad una ed a due pareti: formazione della struttura



Tab. 14.36 - Palificata viva spondale ad una ed a due pareti: analisi prezzi

Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
<b>a) Manodopera:</b>				
Operaio specializzato	Ora	0,00		
Operaio qualificato	Ora	0,50		
Operaio comune	Ora	0,70		
<b>b) Noli:</b>				
Autocarro	Ora	0,10		
Escavatore	Ora	0,80		
Motosega a catena	Ora	0,30		
Generatore con trapano	Ora	0,06		
<b>c) Materiali:</b>				
Legname scortecciato	m <sup>3</sup>	0,25		
Chiodi	cad	2		
Cambre	Kg	0,40		
Fascine vive di salice	m	1,5		
<b>Prezzo di applicazione</b>			<b>Euro/m<sup>2</sup></b>	<b>123,95 ÷ 139,44</b>
			<b>£/m<sup>2</sup></b>	<b>240.000 ÷ 270.000</b>



reperire prevalentemente in alveo. È quindi opportuno realizzare palificate spondali soprattutto in abbinamento a tagli della vegetazione riparia.

**Vantaggi:** rapido consolidamento della sponda.

**Svantaggi:**

- il legno col tempo marcisce, per cui oltre a buone chiodature, è necessario che le talee e le fascine inserite nella struttura siano vive e radichino in profondità, così da sostituire la funzione di sostegno e consolidamento della scarpata, una volta che il legno ha perso le sue funzioni;
- lunghi tempi di realizzazione.

**Effetto:** il consolidamento della scarpata è immediato. La struttura a camere sovrapposte funge anche da riparo e tane per piccoli animali e pesci.

**Periodo di intervento:** durante il periodo di riposo vegetativo.

**Possibili errori:**

- scelta errata del periodo per la posa di materiale vegetale vivo;
- diametro dei tronchi sottodimensionato;
- inserimento di un numero insufficiente di talee;
- inserimento di fascine con scarsità di materiale vegetale vivo idoneo;
- impiego di specie prive di capacità propagativa;
- insufficiente chiodatura dei tronchi.

**Note:** la scortecciatura dei pali aumenta la durabilità del legname.

Da curare il posizionamento della palificata ad almeno 0,5 ÷ 1 m al di sotto del fondo ovvero realizzare la struttura appoggiata al di sopra di una base in massi.

La gestione di un lavoro con tondame di diametro 30 ÷ 40 cm, preferibile dal punto di vista costruttivo, presenta la necessità di disporre di un escavatore per la movimentazione dei tronchi.

La costruzione con tondame di diametro massimo 20 cm può presupporre la realizzazione di un cantiere con mezzi manuali.

A mente delle attuali normative sulla sicurezza del lavoro la movimentazione manuale deve essere limitata a tondame, gestito da due operatori, di peso unitario non superiore a 40 kg (donne) o 60 kg (uomini).

Un accorgimento della palificata viva a doppia parete è quello di conficcare i pali ortogonali rispetto alla corrente (montanti) dopo averli predisposti con punta nella sponda, per contrastare la "spinta di Archimede". Eventualmente si può appesantire la struttura riempiendola, nei primi strati con sassi.

**Analisi prezzi:** si veda la **tabella 14.36**.

#### 14.3.4 Palificata viva di sostegno

**Descrizione sintetica:** manufatto in legname costituito da una struttura a celle, formate da pali di legno disposti perpendicolarmente, con posa di piante o talee. In pochi anni lo sviluppo dell'apparato radicale della vegetazione crea un'armatura nel terreno, con effetto stabilizzante. Si realizzano palificate a parete semplice, a parete doppia e spondali (**figg. 14.46-14.49**).

**Descrizione da voce di capitolato:**

- a parete semplice;
- a parete doppia;
- spondale.

Consolidamento di pendii franosi con palificata in tondami di larice o castagno  $\varnothing 20 \div 30$  cm posti alternativamente in senso longitudinale ed in senso trasversale ( $l = 1,50 \div 2,00$  m) a formare un castello in legname e fissati tra di loro con chiodi in ferro o tondini  $\varnothing 14$  mm; la palificata andrà interrata con una pendenza del  $10 \div 15\%$  verso monte ed il fronte avrà anche una pendenza del  $30\% \div 50\%$  per garantire la miglior crescita delle piante; una fila di piloti potrà ulteriormente consolidare la palificata alla base; l'intera struttura verrà riempita con l'inerte ricavato dallo scavo e negli interstizi tra i tondami orizzontali verranno collocate talee legnose di salici, tamerici od altre specie adatte alla riproduzione vegetativa nonché piante radicate di specie arbustive pioniere. Rami e piante dovranno sporgere per  $0,10 \div 0,25$  m dalla palificata ed arrivare nella parte posteriore sino al terreno naturale. Gli interstizi tra i tondami vengono riempiti con massi sino al livello di magra dell'argine:

- **a parete semplice:** una sola fila orizzontale esterna di tronchi e gli elementi più corti perpendicolari al pendio sono appuntiti ed inseriti nel pendio stesso;
- **a parete doppia:** fila di tronchi longitudinali sia all'esterno che all'interno. La palificata potrà essere realizzata per singoli tratti non più alti di  $1,5 \div 2$  m;
- **di difesa spondale:** una fila di massi posti al piede della palificata, a contatto con l'acqua, legati con una fune di acciaio di  $\varnothing 16$  mm e ulteriormente fissati con piloti in legno o in profilato metallico di lunghezza di 2 m, infissi nel fondo per almeno  $3/4$  della lunghezza.

**Campi di applicazione:** stabilizzazione di parti di versante, piede di pendio e difesa spondale. Si tratta di opere deformabili e permeabili, che si adattano bene ad interventi su pendii instabili.

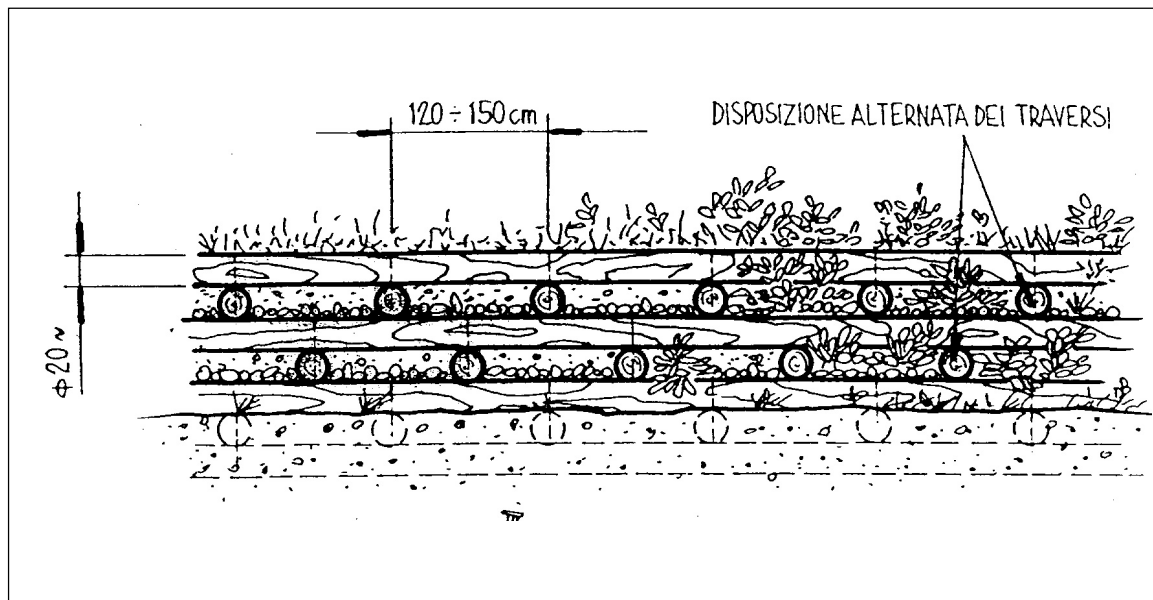
**Fattibilità:** semplice realizzazione e rapido consolidamento dell'area interessata. L'effetto stabilizzante della struttura in legno, una volta marcita, sarà sostituito dallo sviluppo dell'apparato radicale. L'altezza di una palificata a parete, semplice è in genere modesta ( $1 \div 1,5$  m); per altezze maggiori si usano palificate a parete doppia. Queste ultime, se costituiscono ope-

re con funzione permanente non devono superare i 2 ÷ 2,5 m di altezza, poiché la capacità consolidante delle piante si limita a 2 ÷ 3 m di profondità. Nei calcoli di stabilità la palificata deve essere considerata come manufatto a gravità, costituito per il 15 ÷ 20% del volume da legname.

**Materiali impiegati:**

- tondame scortecciato (larice o castagno), avente  $\varnothing = 20 \div 30$  cm e lunghezza  $> 1,5 \div 2$  m;
- chiodi in ferro o tondini in ferro con  $\varnothing 10 \div 14$  mm;
- filo di ferro zincato:  $\varnothing = 3$  mm;

**Fig. 14.46 - Palificata viva di sostegno**



**Fig. 14.47 - Palificata viva di sostegno**

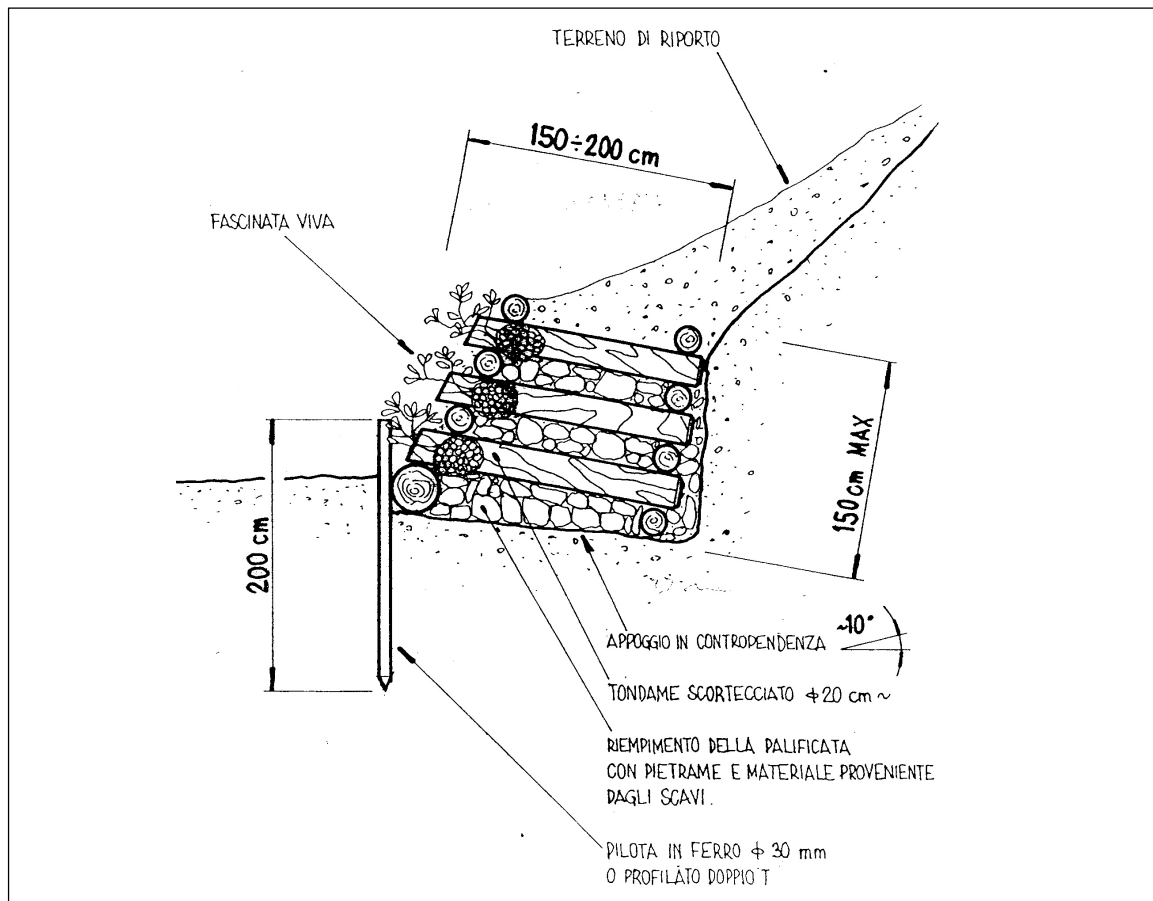


Fig. 14.48 - Palificata viva di sostegno: dettaglio

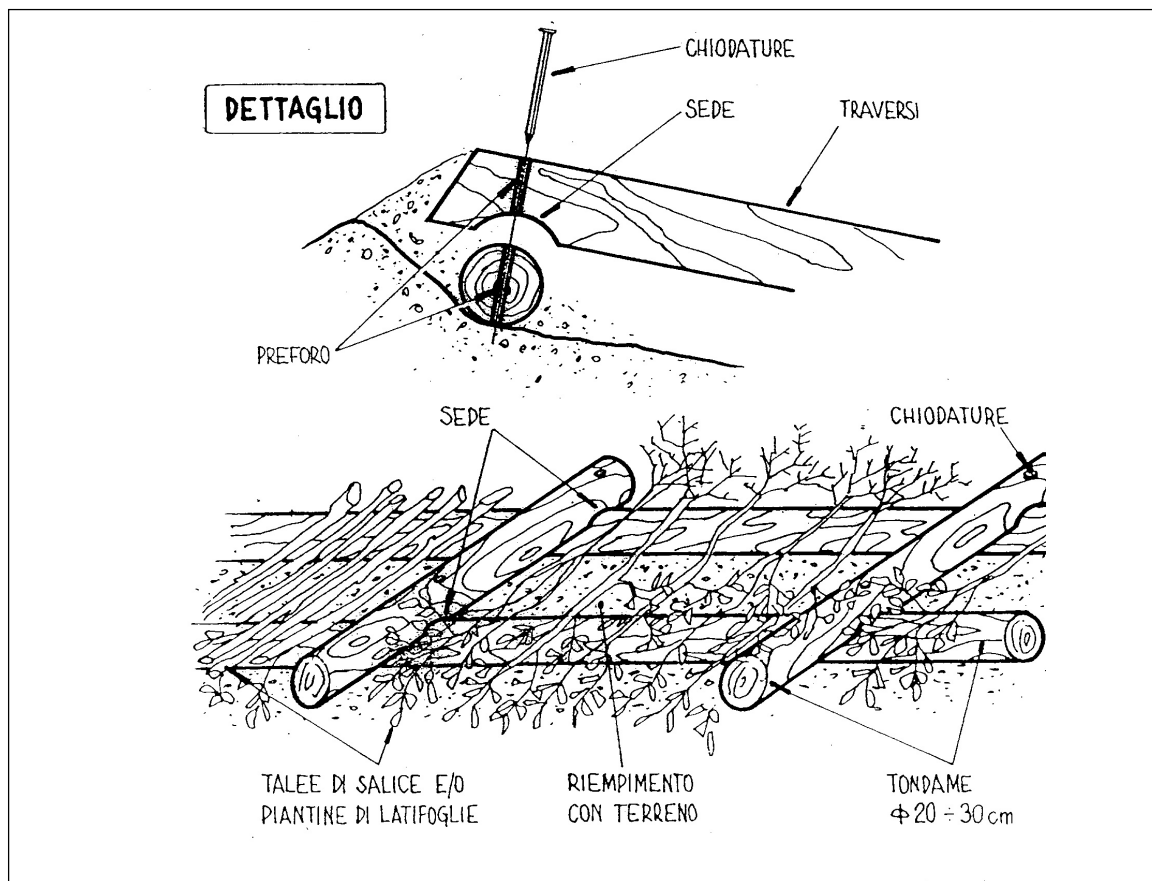
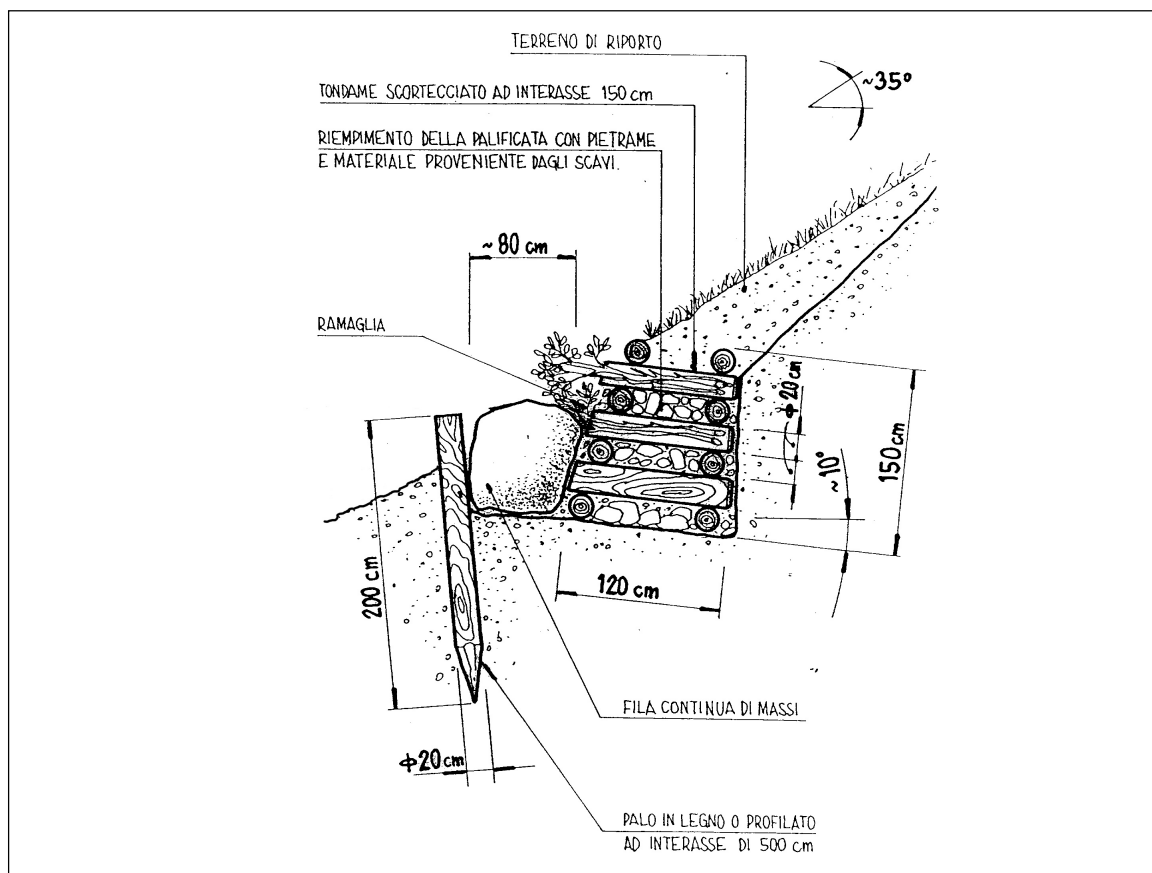


Fig. 14.49 - Palificata viva di sostegno



Tab. 14.37 - Palificata viva di sostegno: analisi prezzi

Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
<i>a) Manodopera:</i>				
Operaio specializzato	Ora	0,00		
Operaio qualificato	Ora	0,40		
Operaio comune	Ora	0,60		
<i>b) Noli:</i>				
Autocarro	Ora	0,10		
Ragno meccanico	Ora	0,70		
Motosega a catena	Ora	0,30		
Generatore con trapano	Ora	0,06		
<i>c) Materiali:</i>				
Legname scortecciato	m <sup>3</sup>	0,4		
Chiodi	cad	2		
Cambre	Kg	0,40		
Talee di salice	cad	20		
<b>Prezzo di applicazione</b>			<b>Euro/m<sup>2</sup></b>	<b>113,62 ÷ 129,11</b>
			<b>£/m<sup>2</sup></b>	<b>220.000 ÷ 250.000</b>

- talee o piantine di specie legnose, dotate di buona capacità vegetativa, con lunghezza di 25 cm maggiore rispetto alla profondità della palificata fino ad arrivare al terreno naturale;
- ramaglie di salice: lunghezza 30 ÷ 40 cm > della profondità dell'opera;
- stuoie e georeti in materiale biodegradabile (paglia-legno, juta, fibra di cocco, ecc.).

*Modalità di esecuzione:*

- si realizza dapprima il piano di posa, a reggipoggio con inclinazione di circa 10° ÷ 15° verso monte;
- si posa quindi la prima fila di legname parallelamente al pendio (corrente), controllandone il posizionamento in bolla e realizzando gli appoggi e i fissaggi con tondini in ferro tra legni successivi;
- si posa in seguito la seconda fila di tondame in senso ortogonale alla prima (trasverso), fissandola alla sottostante tramite tondini in ferro. Nel caso della palificata a parete semplice si mette in opera una sola fila orizzontale esterna di "correnti" ed i "traversi" sono appuntiti ed infissi nel pendio; nel caso della palificata a parete doppia si posano due file di "correnti", all'interno ed all'esterno dello scavo, mentre i "traversi" sono privi di punta;
- va sottolineato che per operare un fissaggio corretto con i tondini in ferro bisogna perforare completamente i due tronchi da fissare; la foratura parziale può, infatti, provocare rotture o fessurazioni del legno stesso;
- gli strati successivi di legname vengono messi in posto ripetendo lo schema su descritto, posizionando però i diversi ordini di correnti in posizione più arretrata rispetto al sottostante, in modo da conferire al fronte un'inclinazione di 20° ÷ 30° per garantire la migliore crescita delle piante;
- i diversi ordini di legname trasverso devono essere collocati in posizione sfalsata tra di loro. Il posizionamento sfalsato dei traversi è a favore della stabilità. Una volta messi in opera 2 o 4 ordini di legname si procede al riempimento della struttura con inerti, provenienti dallo scavo e terreno vegetale, opportunamente compattato;
- le talee vengono messe in posto negli interstizi tra i tondami orizzontali, generalmente in posizione coricata; esse devono sporgere di circa 25 cm dal fronte della palificata e raggiungere il terreno naturale nella parte posteriore della struttura. Nel caso in cui quest'opera venga utilizzata come difesa spondale, è opportuno porre una fila di massi al piede della palificata, al contatto con l'acqua ed ulteriormente fissati con piloti in legno o in profilato metallico di lunghezza di 2 m, infissi nel fondo per almeno 3/4, della lunghezza;
- gli interstizi tra i tondami vengono riempiti con sassi e terreno vegetale;
- drenaggio: poiché il piano di posa viene fatto a reggipoggio, in alcuni casi è opportuno evitare che le acque si accumulino lungo di esso, appesantendo il terreno sottostante. In tal caso si consigliano elementi drenanti longitudinali, posti alla quota più bassa sul retro del piano di posa, collegati con elementi ortogonali con pendenza verso valle. Generalmente non si usano filtri in geotessile; qualora fosse strettamente necessario bisogna perforarli infiggendo le talee nel terreno retrostante al fine di consentire lo sviluppo dell'apparato radicale;

- posa di stuoie o georeti sul paramento esterno (eventuale): prevengono l'asportazione parziale del terreno di riempimento da parte delle acque di ruscellamento superficiale nel primo periodo; possono essere messe in opera contemporaneamente alle operazioni di riempimento realizzando sul fronte a vista delle sacche terrose, ricoperte dalle stuoie o georeti, oppure successivamente, coprendo tutto il paramento esterno ad eccezione della parte terminale dei traversi.

*Interventi collegati:* altre opere di stabilizzazione dei versanti. Può servire d'appoggio per grate vive.

*Periodo di intervento:* durante il periodo di riposo vegetativo delle piante. In condizioni climatiche favorevoli le piante radicate possono essere trapiantate anche durante l'estate, purché non vengano danneggiate durante la costruzione.

*Vantaggi:*

- immediato consolidamento del versante;
- materiale vivo facilmente reperibile in zona;
- costi di manutenzione contenuti;
- flessibilità strutturale.

*Svantaggi:*

- limitato sviluppo in altezza dell'opera;
- necessità di mezzi meccanici per compiere gli scavi.

*Manutenzione e durata dell'opera:* nel corso del primo anno si consiglia una sorveglianza costante per evitare lo scalzamento dell'opera. Se si verifica una forte crescita è utile eseguire il taglio delle piante a livello del terreno, in modo da favorire la formazione delle radici. La durata dell'opera dipende dal tipo di legname utilizzato per realizzare la struttura: se si usa il legname di larice la durata è di 20 ÷ 40 anni, mentre è maggiore per legname di castagno.

*Analisi prezzi:* si veda la **tabella 14.37**.

#### 14.3.5 Palificata tipo Roma

*Descrizione sintetica:* struttura in legname tondo costituita da un'incastellatura di tronchi a formare camere nelle quali vengono inserite fascine e talee di salici. L'opera, posta alla base della scarpata, è completata dal riempimento con materiale terroso inerte misto a pietrame nella parte sotto il livello medio (**figg. 14.50-14.52**).

*Voce di capitolato:*

- su versante;
- spondale.

Consolidamento di pendii franosi o sponde in erosione con palificata in tondami di castagno o larice Ø 20 ÷ 25 cm posti a formare una struttura triangolare in legname, con i montanti, i

tiranti ed i traversi di  $L = 2,5 \div 3$  m e fissati tra di loro con tondini e barre filettate in acciaio con dadi e rondelle Ø 14 mm; la palificata andrà interrata con una pendenza del 10 ÷ 15 % verso monte ed il fronte avrà una pendenza di circa 65° per garantire la miglior crescita delle piante; una fila di piloti potrà ulteriormente consolidare la palificata alla base; sui trasversi di base sarà posata una rete in acciaio zincata e plastificata di maglia 6 x 8 cm, per la ripartizione del carico del terreno di riempimento sulla fondazione. Sarà effettuato l'inserimento di pietrame di pezzatura superiore al diametro del trasverso nelle camere al di sotto del livello medio dell'acqua sul fronte esterno (in ambito idraulico) ed un riempimento con inerte nella zona retrostante; analogamente sarà effettuato l'inserimento di fascine vive (di diametro superiore allo spazio tra i tronchi correnti) e talee di salici, tamerici od altre specie con capacità di propagazione vegetativa nonché di piante radicate di specie arbustive pioniere nelle camere al di sopra del livello medio dell'acqua e riempimento con inerte nella zona retrostante fino a completa copertura dell'opera e riprofilatura di raccordo con la scarpata di sponda.

Rami e piante dovranno sporgere per 10 ÷ 20 cm dalla palificata ed arrivare nella parte posteriore sino al terreno naturale. La palificata potrà essere realizzata per singoli tratti non più alti di 1,8 ÷ 2 m. Nel caso della difesa spondale sarà posta una fila di massi al piede della palificata, a contatto con l'acqua, legati con una fune d'acciaio di Ø 16 mm e ulteriormente fissati con piloti in legno o in profilato metallici di lunghezza di 2 m, infissi nel fondo per almeno 3/4 della lunghezza.

*Campi di applicazione:* versanti instabili, sponde fluviali soggette ad erosione.

*Applicabilità della tecnica in funzione statica, idraulica, naturalistica:* piede di versanti, corsi d'acqua ad alta energia con trasporto solido anche di grosse dimensioni.

*Materiali impiegati:*

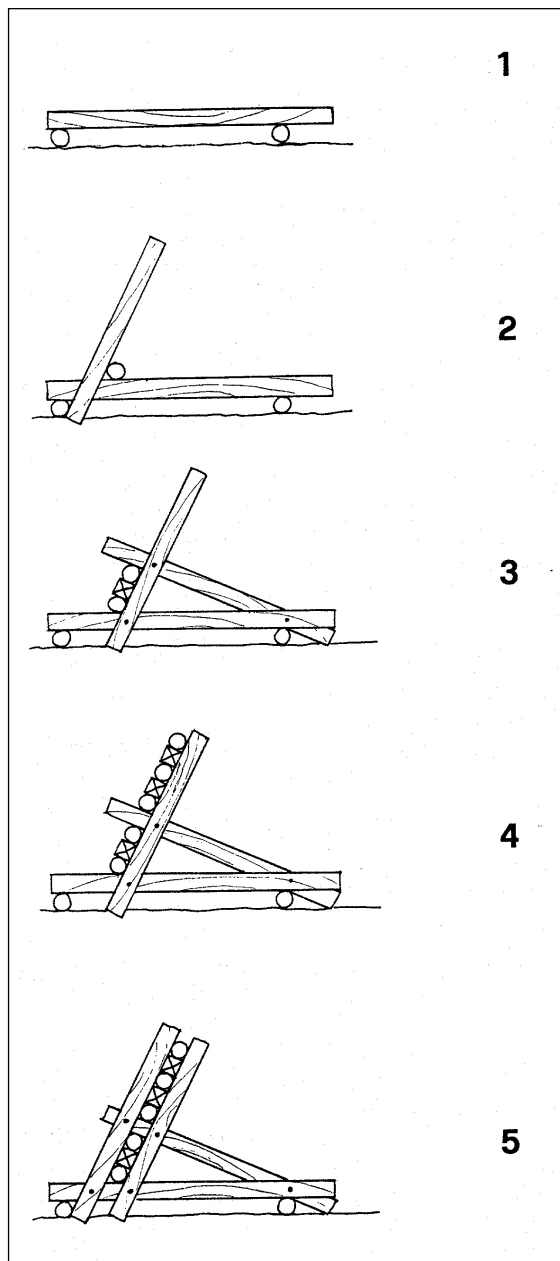
- tronchi di castagno o resinosa scortecciati Ø 20 ÷ 25 cm;
- chiodature acciaio a.m. Ø 12 ÷ 14 mm e barre acciaio filettato con dadi e rondelle Ø 12 ÷ 14 mm;
- rete metallica a doppia torsione zincata e plastificata 6 x 8 cm;
- talee  $l = 2 \div 3$  m. Ø 2 ÷ 5 cm e fascine vive di salice Ø 25 ÷ 30 cm;
- arbusti radicati autoctoni;
- pietrame D 25 ÷ 30 cm;
- inerte terroso.

*Modalità di esecuzione:*

- scavo di fondazione in contropendenza (10° ÷ 15°);
- fondazione in massi ciclopici o in gabbioni (solo ambito idraulico);

- posa della prima serie di tronchi correnti, paralleli alla sponda;
- posa della prima serie di tronchi trasversali al di sopra dei correnti e chiodati ad essi, con interasse 1,5 m; successivamente, dopo un riempimento con terreno o pietrame di pezzatura superiore al diametro dei tronchi (in ambito idraulico), si posa sui trasversi una rete in acciaio zincata e plastificata di maglia 6 x 8 cm, per la ripartizione del carico del terreno di riempimento sulla fondazione;
- al trasverso di base, dopo realizzazione di idonei fori nella rete zincata, verranno incernierati, il montante posteriore con una pendenza intorno ai 65° e, ad idonea distanza, il tirante di collegamento con la base, forman-

Fig. 14.50 - Fasi realizzative della palificata viva tipo Roma



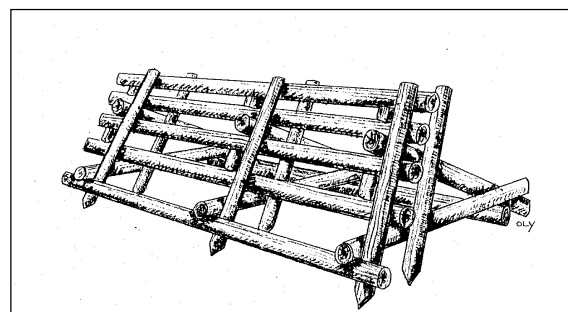
Fonte: "Acer", n.1, 2001.

- do un triangolo con il lato prolungato oltre la cerniera superiore di collegamento. Tale disposizione consentirà il posizionamento dei correnti orizzontali successivi (il primo chiodato sul trasverso, il secondo semplicemente appoggiato su un elemento distanziatore in legno di circa 20 cm, il terzo chiodato sul tirante e gli altri appoggiati sui distanziatori in legno senza chiodature;
- successivamente sarà posizionato il montante anteriore, in aderenza al corrente di fondazione, con una pendenza intorno ai 65°, incernierato al trasverso di base ed al tirante di collegamento e fissato ulteriormente, per una migliore stabilizzazione della struttura, con barre filettate di acciaio al montante posteriore attraverso i correnti non ancora chiodati. Per tale operazione, si richiede l'uso di punte di trapano e barre filettate della lunghezza di almeno 60 cm;
- inserimento di pietrame di pezzatura superiore al diametro del trasverso nelle camere al di sotto del livello medio dell'acqua sul fronte esterno e riempimento con inerte nella zona retrostante (in ambito idraulico);
- inserimento delle fascine vive di salici e talee di specie con capacità di propagazione vegetativa nelle camere al di sopra del livello medio dell'acqua e riempimento con inerte (in ambito idraulico);
- riempimento con inerte e inserimento delle talee di specie con capacità di propagazione vegetativa e degli arbusti radicati autoctoni;
- riempimento con il materiale inerte proveniente dallo scavo fino a completa copertura dell'opera e riprofilatura di raccordo con la scarpa.

**Prescrizioni:**

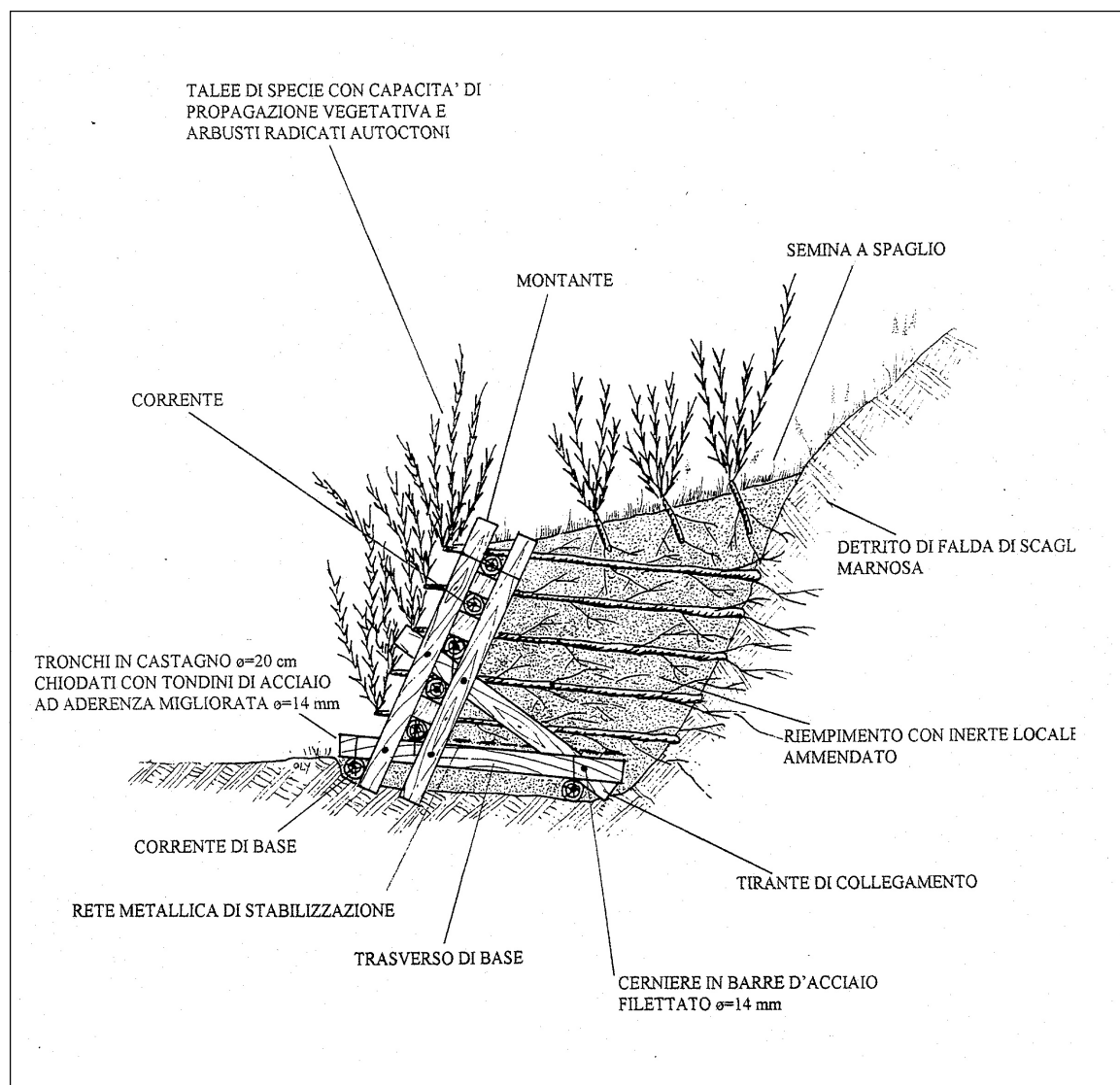
- qualora la palificata funga da difesa spondale, al piede della stessa verrà collocata una fila di massi legati con fune di acciaio  $\varnothing 16$  mm e piloti metallici  $L = 2$  m, infissi per i 3/4 della lunghezza;
- le talee dovranno avere una lunghezza superiore allo spessore dell'opera fino a toccare il terreno retrostante e in tal modo radicare, mentre nella parte frontale dovranno sporgere per più di 10 cm;

Fig. 14.51 - Prospettiva di insieme della struttura della palificata viva tipo Roma



Fonte: "Acer", n.1, 2001.

Fig. 14.52 - Sezione tipo riferita al prototipo della palificata "viva" tipo Roma



Fonte: "Acer", n.1, 2001.

- il fronte della palificata dovrà avere una pendenza massima di 65° per consentire la crescita delle piante;
- sul fronte della palificata è possibile inserire geotessili per il contenimento del materiale più fine.

*Limiti di applicazione:* data la particolarità costruttiva la palificata Roma ha un campo ottimale di realizzazione per altezze da 1,8 a 2,2 m.

*Vantaggi:* rapido consolidamento della scarpata. Rispetto alla tradizionale palificata doppia presenta un risparmio di legname e chiodature.

*Svantaggi:*

- il legno col tempo marcisce, per cui oltre a buone chiodature, è necessario che le talee e le fascine inserite nella struttura siano vive e radichino in profondità, così da sostituire la funzione di sostegno e consolidamento della

- scarpata, una volta che il legno ha perso le sue funzioni;
- lunghi tempi di realizzazione.

*Effetto:* il consolidamento della scarpata è immediato. La struttura funge anche da riparo e tane per piccoli animali e pesci.

*Periodo di intervento:* durante il periodo di riposo vegetativo.

*Possibili errori:*

- scelta errata del periodo per la posa di materiale vegetale vivo;
- diametro dei tronchi sottodimensionato;
- inserimento di un numero insufficiente di talee;
- inserimento di fascine con scarsità di materiale vegetale vivo idoneo;
- impiego di specie prive di capacità vegetativa;
- insufficiente chiodatura dei tronchi.

*Analisi prezzi:* si veda la **tabella 14.38**.

Tab. 14.38 - Palificata viva tipo Roma: analisi prezzi

Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
<i>a) Manodopera:</i>				
Operaio qualificato	Ora	0,60		
Operaio comune	Ora	1,20		
<i>b) Noli:</i>				
Autocarro con gru	Ora	0,10		
Terna meccanica	Ora	0,50		
<i>c) Materiali:</i>				
Barre filettate in acciaio (Ø 14mm)	cad	1		
Chiodi in acciaio a.m. (Ø 14mm)	Kg	1		
Rete in acciaio a doppia torsione 6x8cm	m <sup>2</sup>	0,4		
Tronchi (Ø 20-25cm)	m <sup>3</sup>	0,15		
Arbusti radicati autoctoni	cad	2		
Talee vive di salice	cad	8		
<b>Prezzo di applicazione</b>			<b>Euro/m<sup>2</sup></b>	<b>96,72</b>
			<b>£/m<sup>2</sup></b>	<b>187.279</b>

## 14.3.6 Palizzata viva filtrante

*Funzioni:* stabilizzazione e regimazione idraulica in impluvi.

*Descrizione:* consiste nella sistemazione di solchi a "V" profondi a portate intermittenti, in terreni soffici a granulometria fine (fig. 14.53).

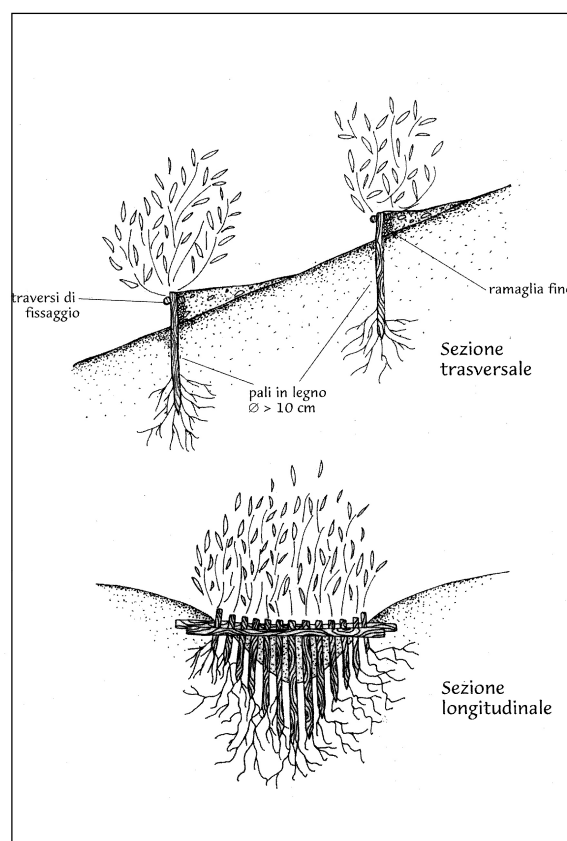
*Descrizione da voce di capitolato:* sistemazione a gradinata di solchi a "V" profondi e ripidi che normalmente non portano acqua, in terreni soffici ed a granulometria fine (limo, argilla, sabbia) mediante infissione nel terreno uno accanto all'altro, per 1/3 della loro lunghezza, di pali vivi di specie legnose dotate di capacità vegetativa, di Ø minimo 5 cm, appuntiti in basso e tagliati dritti in alto, rispettando il verso di crescita. I pali vivi verranno legati con filo di ferro Ø minimo di 2 mm ad un tronco trasversale, bene ammorsato nelle pareti laterali del fosso. Sono possibili luci non superiori ai 5 ÷ 6 m ed altezze sino a 2 ÷ 4 m.

*Effetto:* riduzione della pendenza di fondo con conseguente diminuzione della velocità della corrente e rallentamento dell'erosione del fondo.

*Campi di applicazione:* impluvi, fossi e corsi d'acqua ripidi con sezione a "V", portate intermittenti e trasporto solido prevalentemente in sospensione.

*Modalità di dimensionamento e limiti di applicabilità:* si prevedono le seguenti verifiche principali, basate sulla quantificazione delle grandezze necessarie:

Fig. 14.53 - Palizzata viva filtrante



- stabilità strutturale e globale dell'opera;
- verifica idraulica (per i valori di portata significativa in condizioni di moto uniforme o permanente o vario, valutazione di livelli idrici, tensione tangenziale, velocità, ecc.);



- dinamica d'alveo (stabilità plano- altimetrica, capacità di trasporto e apporto solido).

La tecnica è applicabile per sezioni del fosso non superiori ai 5 ÷ 6 m ed altezze sino a 4 m. Non è molto efficiente in corsi d'acqua con portate costanti e/o con trasporto solido grossolano.

*Materiali impiegati:*

- astoni vivi, quanto più possibile diritti, di specie scelte in base alle caratteristiche stazionali, con capacità di propagazione vegetativa;
- pali di castagno o altro legname a lunga durata,  $\varnothing > 10$  cm;
- filo di ferro per legature:  $\varnothing 2 \div 3$  mm oppure rami elastici di salice.

*Modalità di esecuzione:* riprofilatura a mano delle pareti del solco di erosione esistente. Infissione nel terreno di pali vivi di  $\varnothing_{\min}$  5 cm per circa 1/3 della loro lunghezza, disposti uno accanto all'altro, lungo la sezione del solco. I pali devono essere appuntiti in basso e segati diritti in alto. I pali vengono poi legati con filo di ferro ad uno o due tronchi trasversali, ben ammorsati alle pareti laterali del fosso.

*Accorgimenti:* i pali devono essere infissi oltre che all'interno del solco, anche sui fianchi, per uno sviluppo valutato sulla base delle portate massime raggiungibili e dalle caratteristiche di erodibilità dei litotipi che costituiscono i fianchi del solco. Le pendenze del fosso non devono essere inoltre elevate.

*Vantaggi:* molto rapida da costruire, la palizzata svolge la funzione di trattenimento subito dopo la sua realizzazione. I costi sono molto limitati.

*Svantaggi:* è necessaria una grande quantità di materiale vivo e selezionato. I pali vivi, considerate le modalità di posa in opera, hanno bisogno di condizioni di crescita favorevoli per l'attecchimento.

*Periodo di intervento:* durante il periodo di riposo vegetativo.

*Manutenzione:* taglio frequente e selettivo della vegetazione che si sviluppa dai pali, in modo da poter controllare l'azione filtrante della palizzata.

#### 14.3.7 Rivestimento vegetale di fossi e solchi di erosione

*Funzioni:* stabilizzazione, copertura, regolazione idraulica su versante.

*Descrizione:* consiste nel rivestire con materiale vivo i solchi di erosione che si possono formare nei pendii per ruscellamento delle acque superficiali (fig. 14.54).

*Effetto:* forte azione di protezione "meccanica" dall'erosione immediatamente dopo la posa in opera della ramaglia; successivamente, con lo sviluppo della vegetazione, la radicazione e l'azione di traspirazione delle piante, rallentano fortemente l'azione erosiva, e trattengono il materiale solido facendolo depositare fra i rami. I salici sopportano bene l'inghiamento e crescono consolidando prima il fondo del fosso e poi l'intero corpo terroso. Occorre tuttavia che non restino sepolti più di 2/3 dei getti nuovi. Occasionalmente nel fosso può esserci dell'acqua.

*Campi di applicazione:* l'intervento si presta per il controllo dell'erosione lineare in aree argillose o comunque caratterizzate dall'affioramento di litotipi a granulometria fine. Può essere impiegato anche, per gli stessi scopi, in corsi d'acqua di piccole dimensioni (profondità massima di 3 m; cfr. Schiechl, 1992), con portate intermittenti e con trasporto solido prevalentemente in sospensione. Tecnica usata in combinazione con pietrame, gabbioni, fascine e viminate.

*Modalità di dimensionamento e limiti di applicabilità:* si prevedono le seguenti verifiche principali, basate sulla quantificazione delle grandezze necessarie:

- stabilità strutturale e globale dell'opera;
- verifica idraulica (per i valori di portata significativa in condizioni di moto uniforme o permanente o vario, valutazione di livelli idrici, tensione tangenziale, velocità, ecc.);
- dinamica d'alveo (stabilità plano-altimetrica, capacità di trasporto e apporto solido);
- stabilità del pendio (in diverse condizioni di carico e di drenaggio);
- protezione dall'erosione diffusa e/o incanalata.

La distanza minima tra i pali che devono "fermare" la ramaglia ed il terreno sovrastante deve essere di 2 m, ma può arrivare anche a 50 cm in caso di pendenze notevoli del versante ( $> 45^\circ$ ). L'opera non è idonea nel caso di solchi di erosione in terreni a granulometria grossolana e di corsi d'acqua con portate costanti e/o con trasporto solido grossolano.

*Materiali impiegati:*

- ramaglia viva di specie arbustive scelte in base alle caratteristiche stazionali, con capacità di propagazione vegetativa;
- paletti in legname con  $\varnothing$  medio di 6 ÷ 8 cm e lunghezza leggermente superiore alla larghezza del fosso;
- picchetti in legname (anche materiale vivo).
- filo di ferro per legature:  $\varnothing 2 \div 3$  mm.

*Modalità di esecuzione:* riprofilatura a mano delle pareti del solco o del fosso di erosione esistente.

Posa della ramaglia viva (si può aggiungere anche una modesta percentuale di ramaglia morta) che viene disposta, in grande quantità

(fino ad uno spessore di 50 cm), "a spina di pesce", con la punta dei rametti rivolta verso l'esterno.

Lo strato di ramaglia deve aderire quanto più possibile alle pareti ed al fondo del solco, in modo da aumentare la possibilità di radicazione.

La ramaglia viene fermata con paletti di legno disposti trasversalmente (ogni 1÷2 metri) sul fondo del fosso e tenuti fermi da uno o due picchetti in legno, legati ad essi con filo di ferro. Il numero dei paletti trasversali è proporzionale alla pendenza del fosso da rivestire (l'intervallo medio tra un paletto e l'altro in genere è di circa 150 cm).

Lo strato di ramaglia viene successivamente ricoperto da un sottile strato di terreno.

**Vantaggi:** materiali facilmente reperibili in zona.

In un intervento complessivo che prevede la re-

alizzazione di altre opere con tecniche dell'Ingegneria Naturalistica, può essere utilizzato il materiale che deriva dagli scarti della preparazione di talee. Impiego limitato di manodopera.

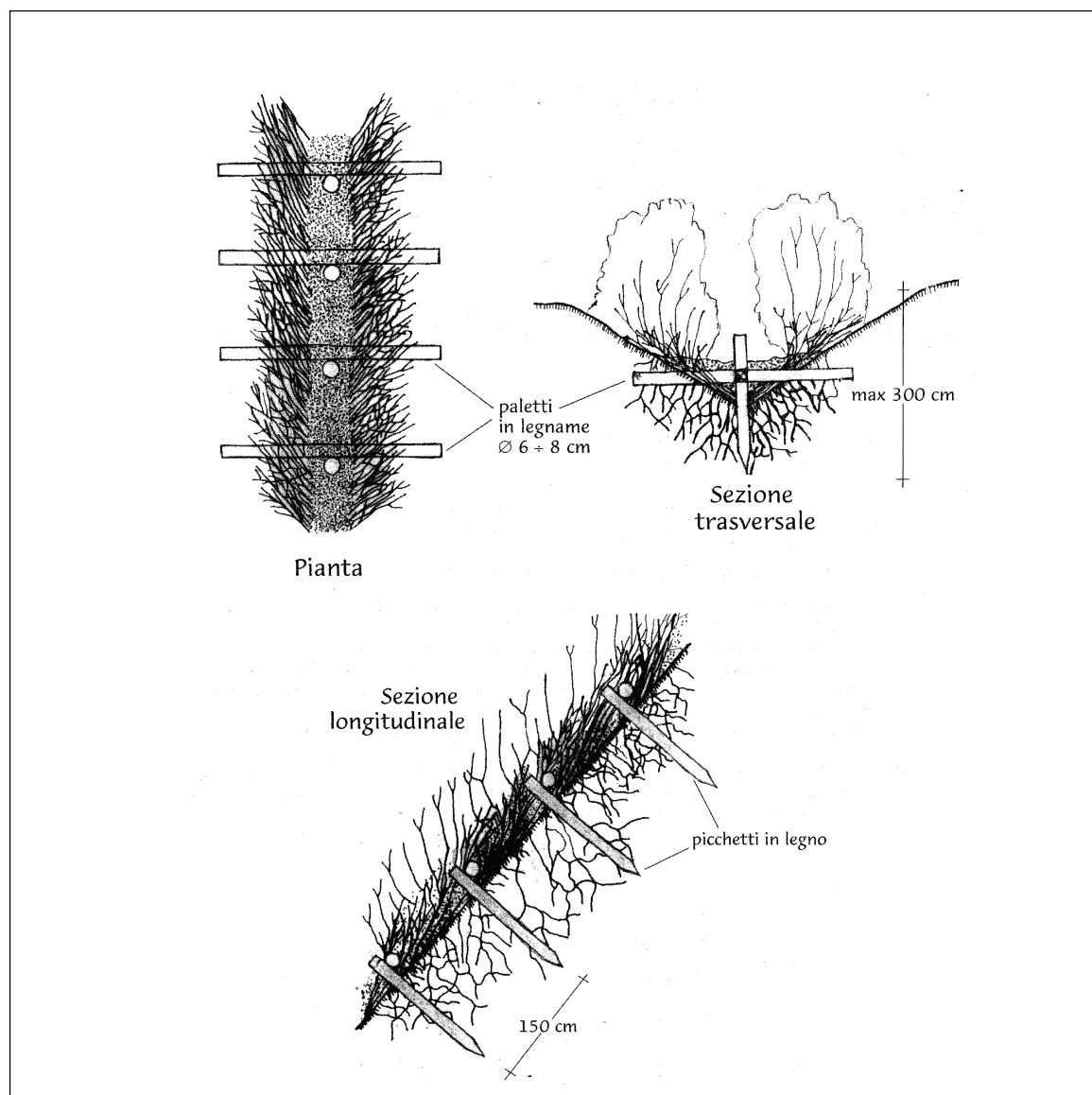
**Svantaggi:** è necessaria una grande quantità di materiale vivo.

Tecnica non adatta in caso di deposizioni di materiale superiori a 50 cm per ogni singolo evento.

**Periodo di intervento:** durante il periodo di riposo vegetativo.

**Manutenzione:** tagli frequenti della vegetazione arbustiva che si sviluppa dalla ramaglia al fine di mantenerla elastica, in modo da permettere il passaggio dell'acqua in superficie (il flusso deve essere rallentato, non ostacolato completamente).

Fig. 14.54 - Rivestimento vegetale di fossi e solchi in erosione



### 14.3.8 Pennelli e repellenti vivi

**Descrizione sintetica:** i pennelli ed i repellenti vivi sono opere trasversali rispetto alla direzione di flusso della corrente. Sono costruzioni che partono dalle sponde ed hanno una posizione ad angolo retto, o con inclinazione verso valle o verso monte rispetto alla direzione di flusso. Possono essere realizzati su una sola sponda o su entrambe le sponde, in questo caso si troveranno contrapposti. Si realizzano mediante l'utilizzo di pali in legno infissi nell'alveo e ramaglia viva o morta intrecciata, con pietrame, talee o altro. Vengono utilizzati per delimitare il letto di deflusso delle portate medie, verso il centro del corso d'acqua, ed a protezione delle sponde soggette ad erosione. Se si vuole meandrire il corso d'acqua i pennelli dovranno essere disposti in modo alternato (figg. 14.55-14.57).

**Descrizione da voce di capitolato:** formazione di pennelli a partire dalla riva e posizionati ad angolo retto, con inclinazione verso valle o verso monte rispetto alla direzione del flusso, costituiti da pali di lunghezza variabile (in genere 100 ÷ 150 cm e Ø 5 ÷ 10 cm) disposti a file singole o multiple, sui quali vengono intrecciati rami o verghe di salice. La struttura verrà posizionata in modo da determinare una riduzione della forza erosiva dell'acqua, dell'erosione e al contempo un deposito del trasporto solido.

**Campi di applicazione:** trovano applicazione in corsi d'acqua con larghezza minima di circa 10 m, dove è necessario allontanare la corrente dalle sponde e arrestare l'erosione. Si creano così delle aree nelle quali l'acqua deposita il materiale solido e nelle quali viene impedita l'asportazione per la riduzione della velocità della corrente. Hanno un particolare significato ecologico, in quanto, costituiscono un buon rifugio per la fauna ittica.

**Effetto:** svolgono efficacemente funzione antierosiva; inducono la formazione di barre falciformi sulle sponde e di buche, raschi, barre in alveo.

**Fattibilità:** i pennelli possono essere realizzati sia su corsi d'acqua di ampie dimensioni, in prossimità di sezioni in cui si vuole diminuire la velocità di erosione della corrente o in corsi d'acqua di dimensioni più ridotte in prossimità di tratti con elevata erosione di sponda che potrebbe innescare dissesti sul versante per scalzamento al piede. Esistono diverse tipologie di pennelli, quali: pennello in pietrame con talee, pennello vivo ad intreccio, repellente di ramaglia a strati, pennelli di fascine, in gabbioni metallici, in rulli cilindrici, in pali di legno).

**Materiali impiegati:**

- pali in legno con L = 150 ÷ 200 cm e Ø = 10 ÷ 15 cm;
- ramaglia morta;
- ramaglia viva per intreccio;

- talee di salice;
- eventuale materiale di riempimento, ghiaia e sassi;
- barre di ferro.

**Modalità di esecuzione:**

- formazione di uno scavo di fondazione come base di appoggio dei materiali costituenti i pennelli con profondità pari a circa 30 ÷ 50 cm e larghezza 50 ÷ 70 cm;
- infissione delle file di pali in legname, che possono essere 2 o 3 a seconda delle dimensioni che si vogliono realizzare. I pali vengono collegati tra loro mediante traverse intercalate a strati di ramaglia morta;
- ricoprimento dell'opera con ghiaia e pietrame da reperirsi preferibilmente in loco. Appoggiate ai pali, quindi in senso longitudinale, vengono disposte fascine vive di salici, che, sviluppandosi, possono rendere il pennello un buon rifugio per la fauna;
- realizzazione di una protezione a monte e a valle del pennello, in pietrame, di pezzatura e altezza dettate dalle caratteristiche idrodinamiche del corso d'acqua.

**Interventi collegati:** sistemazioni idrauliche.

**Prescrizioni:**

- la distanza tra i repellenti deve essere circa uguale alla larghezza del corso d'acqua o 1,5 fino a 2,5 volte la lunghezza del repellente stesso;
- per il restringimento di sezione i repellenti andranno posizionati contrapposti sulle due sponde;
- per l'effetto meandreggiante i repellenti andranno posizionati sfalsati, con una distanza che rispetta la cadenza naturale del meandreggio (8 ÷ 12 volte la larghezza dell'alveo).

**Vantaggi:**

- i pennelli vivi diventano parte integrante della sponda, in continuità anche con la vegetazione della sponda stessa;
- la presenza di ramaglia rallenta la velocità dell'acqua e la rimescola, creando zone di acqua bassa tranquilla, indicata per la riproduzione di specie ittiche;
- sono strutture che permettono di bloccare il materiale galleggiante ingombrante, come tronchi, rifiuti, ecc. che causerebbero l'eventuale inquinamento a valle o in mare;
- creazione di superfici umide fresche, che consentono di limitare la temperatura durante il periodo estivo, quindi il proliferare dei batteri.

**Svantaggi:**

- a causa delle turbolenze e delle correnti trasversali che si vengono a generare, si possono avere erosioni in testa e al piede dei repellenti, nonché sulla sponda opposta se non correttamente dimensionati e posizionati;
- impiego di grandi quantità di materiale vivo.

**Effetto:** vi è una riduzione della velocità dell'ac-

qua e un rimescolamento dell'acqua con riduzione della velocità di flusso che consente la deposizione di materiale solido. I pennelli costituiscono inoltre punti di rifugio per la fauna.

*Periodo di intervento:* i pennelli realizzati con materiale vegetale vivo devono essere messi in opera durante il periodo di riposo vegetativo.

*Manutenzione e durata dell'opera:* nei primi due anni dovrà essere posta attenzione allo svilup-

po delle talee, con sostituzione delle fallanze. Dopo ogni evento di piena sarà opportuno verificare le condizioni della protezione in massi ed eventualmente riposizionare il pietrame asportato dalla corrente.

*Possibili errori:* scelta errata del periodo per la posa in opera di materiale vegetale vivo. Sottodimensionamento rispetto ai parametri idraulici.

*Analisi prezzi:* si veda la **tabella 14.39**.

**Tab. 14.39** - Pennelli e repellenti vivi: analisi prezzi

Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
<i>a) Manodopera:</i>				
Operaio specializzato	Ora			
Operaio qualificato	Ora	0,5		
Operaio comune	Ora	0,5		
<i>b) Noli:</i>				
Autocarro con gru	Ora	0,1		
<i>c) Materiali:</i>				
Verghe vive	cad	10		
Fascine vive	m	1		
Picchetti in acciaio	Kg	1,4		
Filo di ferro	Kg	0,18		
Paletti in legno	cad	2		
<b>Prezzo di applicazione</b>			<b>Euro/m<sup>2</sup></b>	<b>44,58</b>
			<b>£/m<sup>2</sup></b>	<b>86.313</b>

**Fig. 14.55** - Pennelli e repellenti vivi

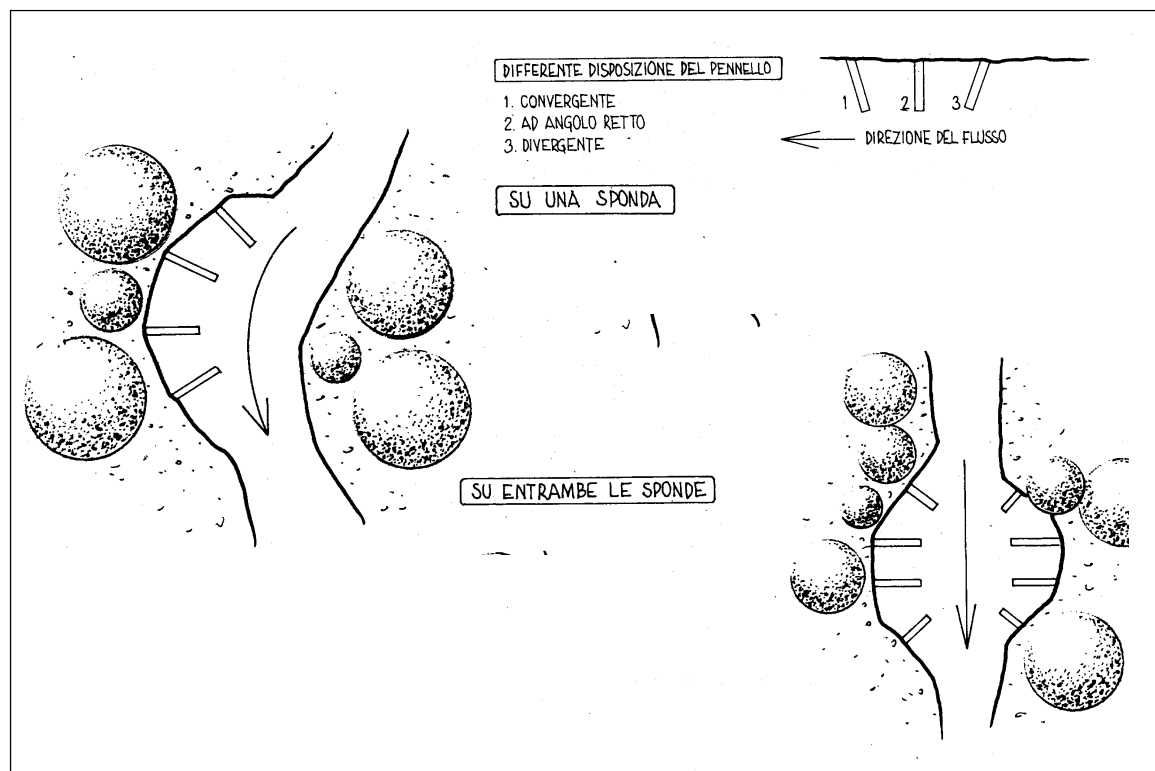


Fig. 14.56 - Pennelli a due e tre file di pali

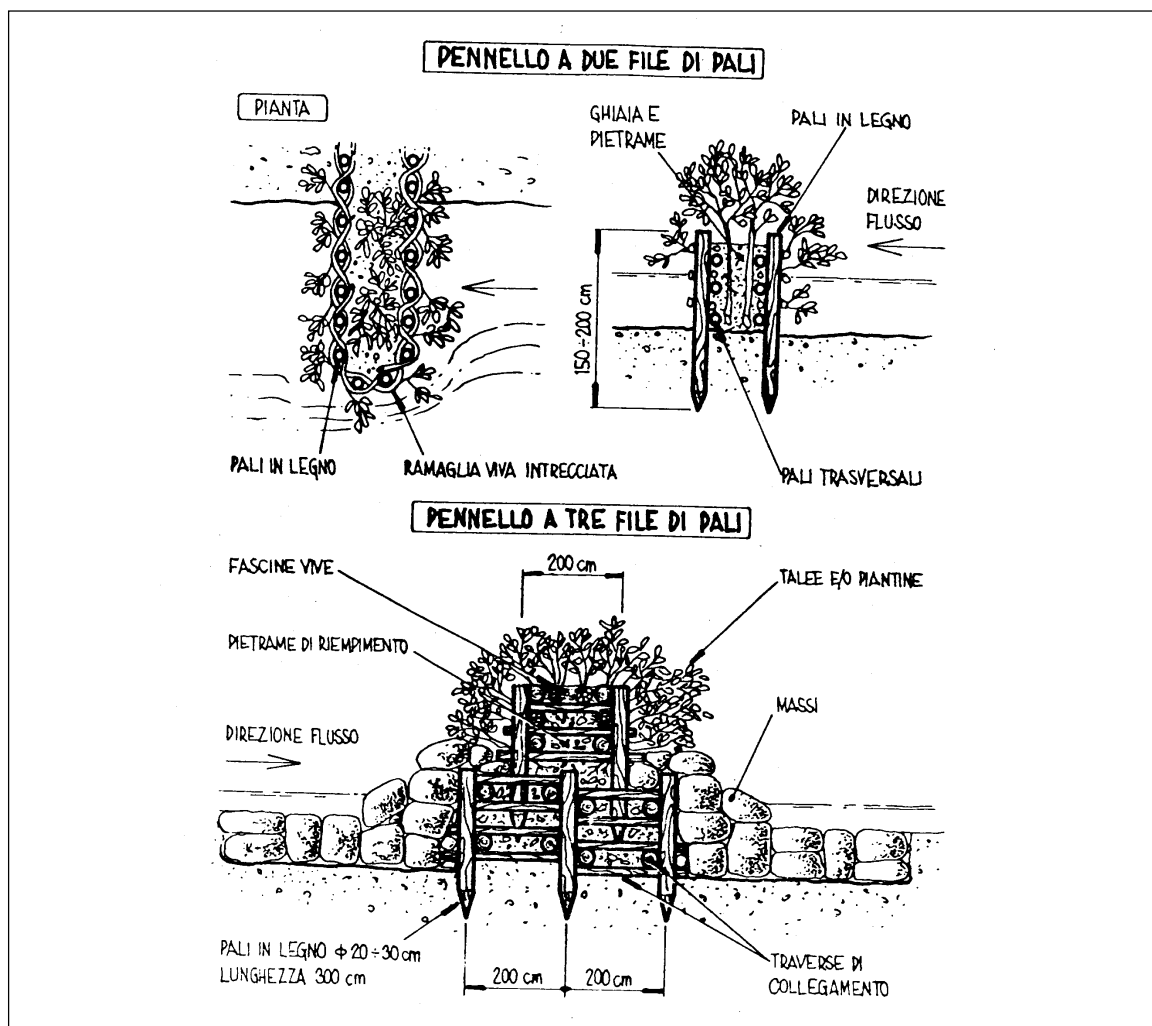
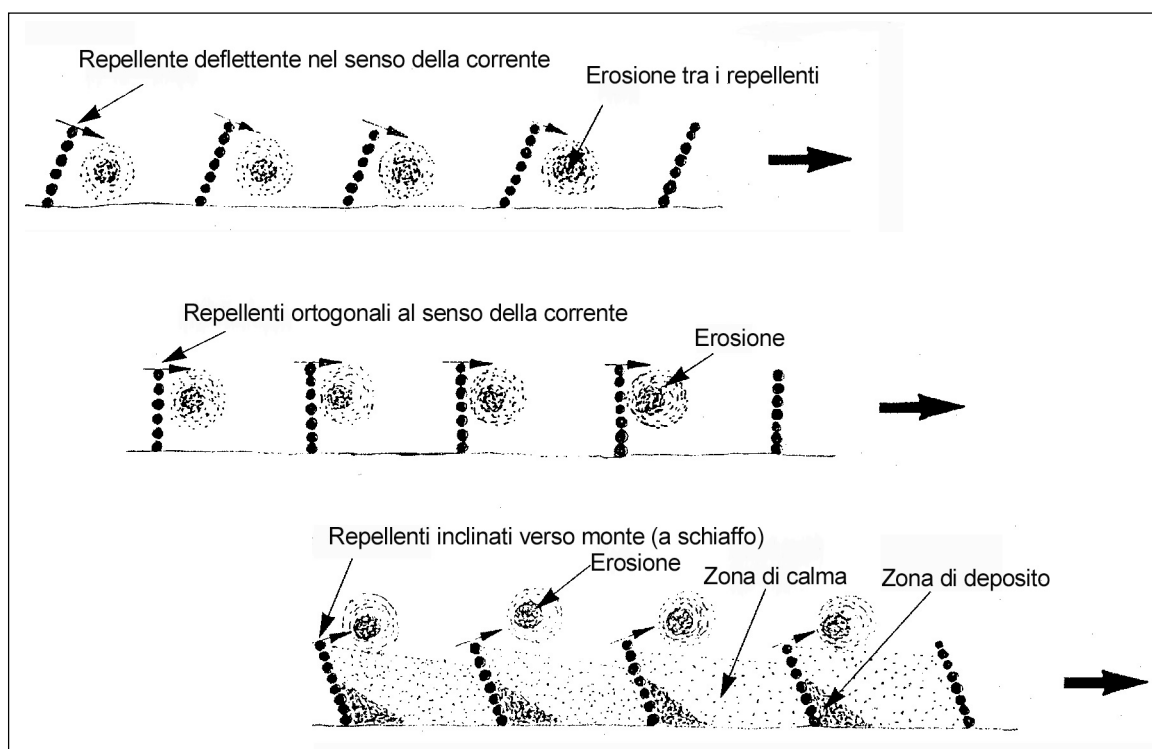


Fig. 14.57 - Repellenti vivi



### 14.3.9 Gabbionata in rete metallica zincata rinverditata

**Descrizione sintetica:** parallelepipedi in rete metallica zincata a maglia esagonale, riempite in loco con pietrisco di pezzatura minima 15 cm, disposti a file parallele sovrapposte. Talee di salice vengono inserite nella prima maglia del gabbione superiore e non tra un gabbione e l'altro. In commercio si possono trovare anche gabbioni a sacco, cilindrici, a rullo.

**Descrizione da voce di capitolato:**

- *variante a:* con talee;
- *variante b:* con cuneo verde interno;
- *variante c:* con cuneo verde esterno.

Formazione di gabbionata verde mediante impiego di normali gabbionate in rete metallica a doppia torsione di maglia esagonale minima 8 x 10 cm tessuta con trafilato in ferro di diametro minimo 2,7 mm zincato a caldo (UNI 8018) se del caso ricoperto di rivestimento plastico in PVC di spessore minimo di 0,4 ÷ 0,5 mm e diametro complessivo minimo del filo 3,7 mm, confezionato a parallelepipedo di varie dimensioni (in genere 0,5 ÷ 1 m x 1 m x 2 m).

Tali elementi, riempiti con pietrame grossolano sono tradizionalmente usati nelle costruzioni idrauliche, stradali, consolidamento di versanti, ecc. Nel loro impiego combinato con piante vive si prestano a varie applicazioni dell'ingegneria naturalistica che sono suscettibili di ulteriori evoluzioni data l'adattabilità dei materiali.

Già il loro uso tradizionale presenta notevole plasticità dando adito nel tempo a processi di rinaturazione spontanea.

Sulle tipologie di abbinamento sinora operate valgono le seguenti indicazioni:

- inserimento di talee, ramaglia viva, piante all'interno del gabbione o tra un gabbione e quello soprastante in fase di costruzione (*variante a*), le talee dovranno attraversare completamente il gabbione ed essere inserite nel terreno dietro il gabbione stesso per una profondità che dia garanzia di crescita. Tale operazione potrà avvenire solo durante il periodo di riposo vegetativo;
- realizzazione di un cuneo frontale interno costituito da un non tessuto verticale di separazione interna verso il pietrame e una georete tridimensionale plastica o in fibra vegetale verso l'esterno, il tutto riempito di terra vegetale, seminato e piantato (*variante b*);
- formazione di un cuneo, come al punto precedente, ma esterno realizzato sul gradoncino tra un gabbione e quello soprastante in genere arretrato di 50 cm. In questo caso il non tessuto è posto esternamente a rivestire la parte orizzontale, e in parte quella verticale, del gradoncino. Il cuneo potrà essere semplicemente ricaricato di terra vegetale, seminato e piantato oppure richiuso con una rete zincata foderata con georete tridimensionale sintetica o in fibra vegetale.

**Campi di applicazione:** difesa longitudinale e/o trasversale di corsi d'acqua; piedi di pendii umidi; versanti in erosione; palizzate filtranti; briglie in golene allagate occasionalmente.

**Materiali impiegati:**

- ciottoli di fiume Ø 15 ÷ 30 cm o pietrame;
- gabbia in filo di ferro zincato, maglia minima 8 x 10 cm a doppia torsione;
- filo di ferro zincato Ø 2,4 ÷ 3 mm;
- talee di salice.

**Modalità di esecuzione classiche delle gabbionate:**

- preparazione di un avvallamento in cui stendere il parallelepipedo prefabbricato e sua apertura con la chiusura dei lati verticali, utilizzando filo di ferro Ø minimo 2,7 mm, oppure un'apposita macchina pinzatrice;
- riempimento con ciottoli e sistemazione a mano dei ciottoli;
- chiusura della parte sommitale;
- posizionamento della successiva fila di gabbioni, arretrata rispetto a quella sottostante di 0,5 m;
- inserimento di talee e ramaglia di salice nella prima maglia, di lunghezza tale da toccare il terreno retrostante e inserite in corso d'opera. È impossibile inserirle a posteriori;
- qualora si intenda realizzare il cuneo di terreno vegetale, è necessario durante il riempimento sistemare all'interno una stuoia di contenimento sia a contatto con il pietrame sia frontalmente verso la rete;
- per il cuneo tra le file è sufficiente riportare materiale inerte e terreno vegetale.

**Prescrizioni:** affinché il gabbione non subisca deformazioni per eventuali sollecitazioni esterne, è opportuno ancorare il gabbione con tiranti o grossi tondini di ferro al terreno retrostante. Siccome i gabbioni vengono impiegati in ambito fluviale, per evitare erosione al piede di sponda, è necessario predisporre un letto di ramaglia prima della posa dei gabbioni stessi: ramaglia morta al di sotto del livello di magra, ramaglia viva al di sopra.

La gabbionata sarà ancorata al terreno con picchetti in legno (Ø 5 ÷ 10 cm) o tondini in ferro (Ø 12 ÷ 16 mm) infissi per almeno 1 m, qualora il peso della gabbionata non sia sufficiente a mantenere in loco la struttura.

In casi particolari e di riempimento manuale, ramaglie e talee possono essere sistemate all'interno del gabbione, in corso d'opera.

**Limiti di applicabilità:**

- aste torrentizie con velocità della corrente superiore a 6 m/s e diametro di trasporto solido superiore a 20 cm;
- aste terminali su suoli limoso - sabbiosi.

**Vantaggi:**

- tecnica di esecuzione rapida e semplice;
- effetto contenitivo immediato;
- drenaggio delle acque sub-superficiali;

Fig. 14.58 - Gabbionata in rete metallica zincata rinverdata: sezione

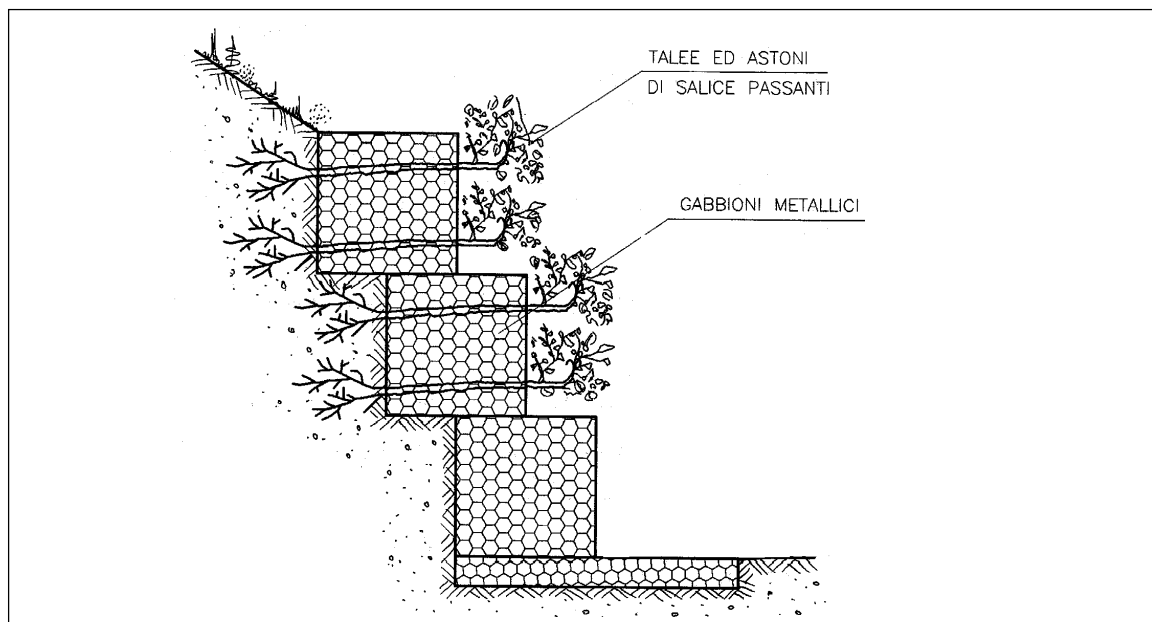
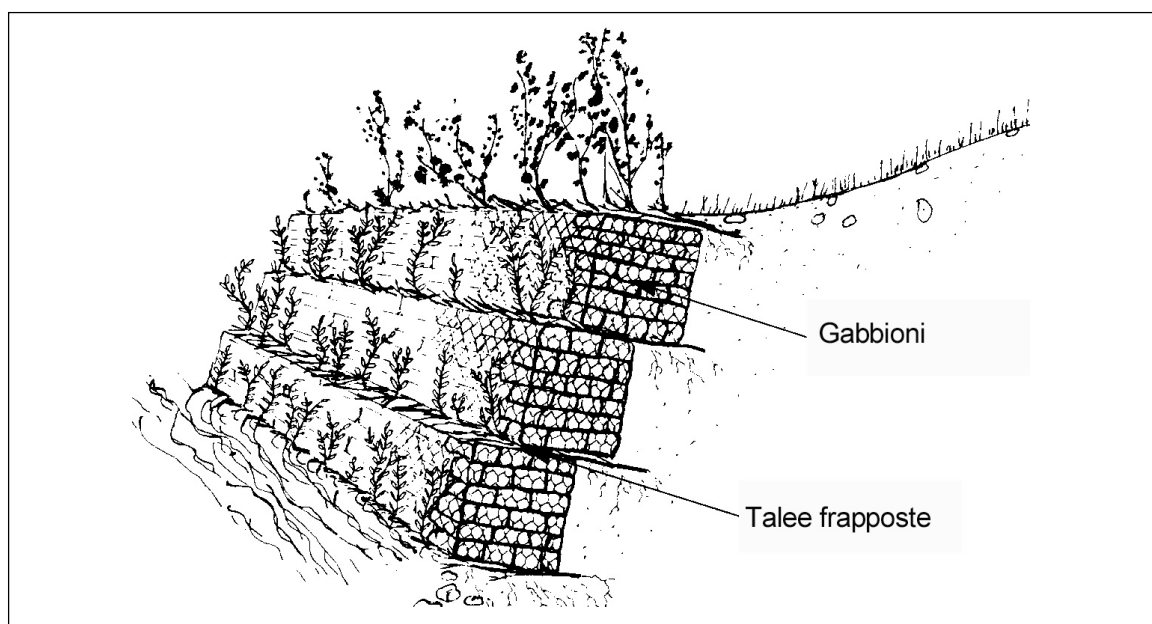


Fig. 14.59 - Gabbionata in rete metallica zincata rinverdata: prospetto



- è una struttura muraria di sostegno permeabile all'acqua;
- struttura elastica con buona risposta alle sollecitazioni.

*Svantaggi:*

- non rinverdibile una volta posto in opera;
- la realizzazione è vincolata dalla disponibilità in loco di idoneo materiale lapideo per i riempimenti;
- rischio di rottura della rete, qualora non sia sufficientemente protetta con opere al piede.

*Effetto:* struttura di sostegno elastica, molto adatta per sistemazioni spondali a forte pendenza in spazi limitati in zone urbanizzate.

*Periodo di intervento:* durante il riposo vegetativo.

*Possibili errori:*

- mancato ancoraggio dei gabbioni al terreno retrostante con pericolo quindi di "spanciamiento";
- mancato inserimento di talee e ramaglie di salice;
- esecuzione fuori stagione con scarse possibilità di attecchimento;
- erosione al piede;
- posa delle sole talee tra le file di gabbioni.

*Note:* in terreni limoso-sabbiosi si può ovviare ai problemi di sprofondamento della struttu-

Tab. 14.40 - Gabbionata in rete metallica zincata rinverditata: analisi prezzi

Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
<i>a) Manodopera:</i>				
Operaio specializzato	Ora	0,00		
Operaio qualificato	Ora	1,1		
Operaio comune	Ora	1,1		
<i>b) Noli:</i>				
Pala articolatrice articolata	Ora	0,25		
<i>c) Materiali:</i>				
Gabbioni h1	Kg	9,15		
Punti metallici	cad	30		
Pietrame	m <sup>3</sup>	1,2		
Verghe	cad	8		
<b>Prezzo di applicazione</b>			<b>Euro/m<sup>2</sup></b>	<b>113,62 ÷ 129,11</b>
			<b>£/m<sup>2</sup></b>	<b>220.000 ÷ 250.000</b>

ra, con stendimento di adeguato tessuto - non tessuto (TNT), come base di appoggio per la distribuzione dei pesi, eventualmente associata alla posa di materassi in rete metallica zincata a doppia torsione.

*Analisi prezzi:* si veda la **tabella 14.40**.

#### 14.3.10 Materasso spondale in rete metallica rinverdito

*Descrizione sintetica:* si tratta di difese spondali flessibili e permeabili alla vegetazione, costituite da materassi a tasche in rete metallica a doppia torsione zincata. I materassi vengono assemblati *in situ* e riempiti di pietrame. Dato lo spessore esiguo (massimo 30 cm) ed il riempimento caratterizzato da forte porosità, queste strutture si prestano molto bene ad essere colonizzate dalla vegetazione. In particolare, è possibile accelerare i processi di rinaturalizzazione ed aumentare l'efficacia di queste protezioni, inserendo talee di salice, intasando il pietrame con terra e rinverdendo successivamente, oppure realizzando delle tasche riempite di terra e foderate mediante un filtro all'interno delle quali mettere a dimora la vegetazione (**figg. 14.60-14.61**).

*Descrizione da voce di capitolato:* formazione di rivestimento in materasso verde in gabbionate di spessore minimo di 0,17 cm, in moduli di larghezza minima di un metro, fabbricati con rete metallica a doppia torsione con maglia esagonale minima 6 x 8 cm, tessuta con trafilato di ferro, di diametro minimo 2,2 mm zincato a caldo (UNI 8018) se del caso ricoperto da un rivestimento plastico di PVC di spessore minimo 0,4 ÷ 0,5 mm e diametro complessivo del filo non inferiore a 3,2 mm., foderati sul fondo in geotessuto sintetico o in fibra vegetale ritentore di fini del peso minimo di 350 g/m<sup>2</sup>,

riempito di un miscuglio di terreno vegetale e/o materiale sciolto con caratteristiche fisico-idrologiche, chimiche ed organiche tali da favorire la germinazione e la crescita delle piante. La copertura esterna sarà realizzata con rete metallica dello stesso tipo abbinata ad una georete tridimensionale o a un biofiltro in fibra vegetale di minimo 800 g/m<sup>2</sup> eventualmente preseminato e preconciato. A chiusura avvenuta il materasso verrà ulteriormente seminato in superficie e piantato con talee, rizomi, cespi ed arbusti radicati di specie autoctone. Le operazioni in verde verranno eseguite nelle stagioni idonee:

a) *spondale:* verrà adottata in condizioni di pressione idraulica significativa su sponde di fiumi e canali con pendenza massima 2/3, operando il rivestimento continuo o finestrato con moduli a diaframmi interni con interasse 1 m. In testa e al piede verrà effettuato un riempimento con pietrame;

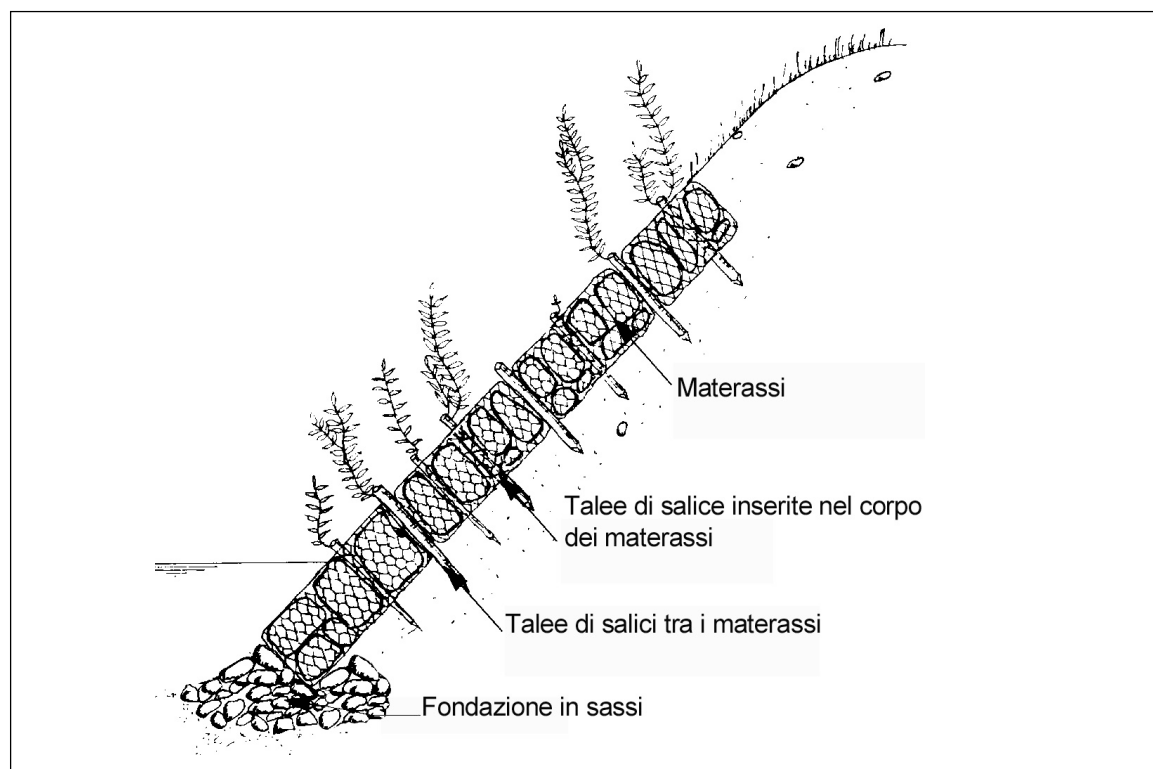
b) *su scarpata:* prevede la collocazione su pendio, in genere in roccia, su pendenze massime di 45° - 50° anche di singoli materassi, in genere di minimo 0,2 m x 1 m x 2 m, fissati mediante barre metalliche di lunghezza e diametro atti a garantire l'aderenza e la stabilità del materasso stesso. L'impiego su scarpata è giustificato in condizioni di pendenza e substrato tali da non consentire altri interventi a verde. Il valore soglia di 45° ÷ 50° è condizionato dall'apporto di acque meteoriche che a valori superiori diventa insufficiente.

La messa a dimora di specie arbustive prevede il taglio di alcune maglie della rete nella parte superficiale.

Va accuratamente effettuata la selezione delle specie pioniere xeroresistenti autoctone e ove necessario (nelle regioni centro meridionali e in esposizione a sud) adottato un impianto di irrigazione di soccorso per i primi due cicli stagionali sino ad affrancamento avvenuto delle piante.



Fig. 14.60 - Materasso spondale in rete metallica rinverdito



**Campi di applicazione:** i rivestimenti con materassi vengono usati nell'ambito di opere idrauliche per realizzare difese in grado di contrastare l'azione erosiva della corrente al fondo e sulle sponde di corsi d'acqua.

**Fattibilità:** i rivestimenti in materassi presentano le seguenti caratteristiche:

- possono essere realizzati in qualsiasi tipo di ambiente, anche in presenza d'acqua, in quanto è possibile costruirli all'asciutto e con un pontone calarli in acqua;
- sono immediatamente attivi dal punto di vista della difesa e consentono alla vegetazione di svilupparsi e di raggiungere la propria efficienza senza rischi di erosione;
- sono compatibili con la vegetazione erbacea (si possono intasare e/o ricoprire di terra) ma possono anche ospitare piante in vaso, a radice nuda o talee di salice;
- sono drenanti e flessibili, quindi non danno luogo all'insorgere di sottopressioni e si adattano ad eventuali movimenti delle sponde o fenomeni di erosione dell'alveo;
- come ogni tipo di difesa idraulica è necessario verificarne la compatibilità con le condizioni idrauliche in termini di tensioni tangenziali ammissibili che, nel caso di questi materiali, varieranno in relazione allo spessore del rivestimento.

**Materiali impiegati:** i materassi hanno spessore variabile (17 cm ÷ 23 cm ÷ 30 cm), sono realizzati con rete metallica a doppia torsione zincata, con maglia esagonale tipo 6 x 8, con filo di diametro 2,2 mm zincato, rispondente alla norma

UNI 8018; nei casi in cui si richieda una durata elevata si adatterà un rivestimento in lega eutettica di zinco-alluminio. Le dimensioni dei singoli materassi andranno scelte opportunamente a seconda delle situazioni ed in base agli standard generalmente disponibili: 2 x 2,3 x 2 m, 4 x 2 m, 5 x 2 m, 6 x 2 m. I materassi arrivano in cantiere ripiegati, vengono aperti, assemblati e pinzati con anelli e riempiti di ciottoli.

Per realizzare il rivestimento sono necessari:

- il materasso;
- pietrame di riempimento di opportune dimensioni;
- filo zincato o punti metallici meccanizzati con rivestimento in lega eutettica di zinco-alluminio;
- terreno vegetale per l'intasamento;
- talee, o piantine per il consolidamento e rinverdimento;
- idrosemina per l'inerbimento;
- un eventuale geotessile filtrante.

**Modalità di esecuzione:** le fasi della realizzazione del rivestimento con materassi flessibili possono essere così schematizzate:

- posa del materasso ed assemblaggio;
- riempimento con pietrame e sistemazione a mano dei ciottoli e posa di talee o piante;
- intasamento e ricopertura con terreno;
- posa dei coperchi e chiusura dei materassi.

La posa dei materassi deve avvenire su scarpe inclinate di non più di 40° sull'orizzontale, per non avere difficoltà nella posa del pietrame; quando la pendenza supera i 40° ÷ 45° è opportuno fissare con picchetti o tondini di ferro acciaiato i materassi, per non correre il ri-

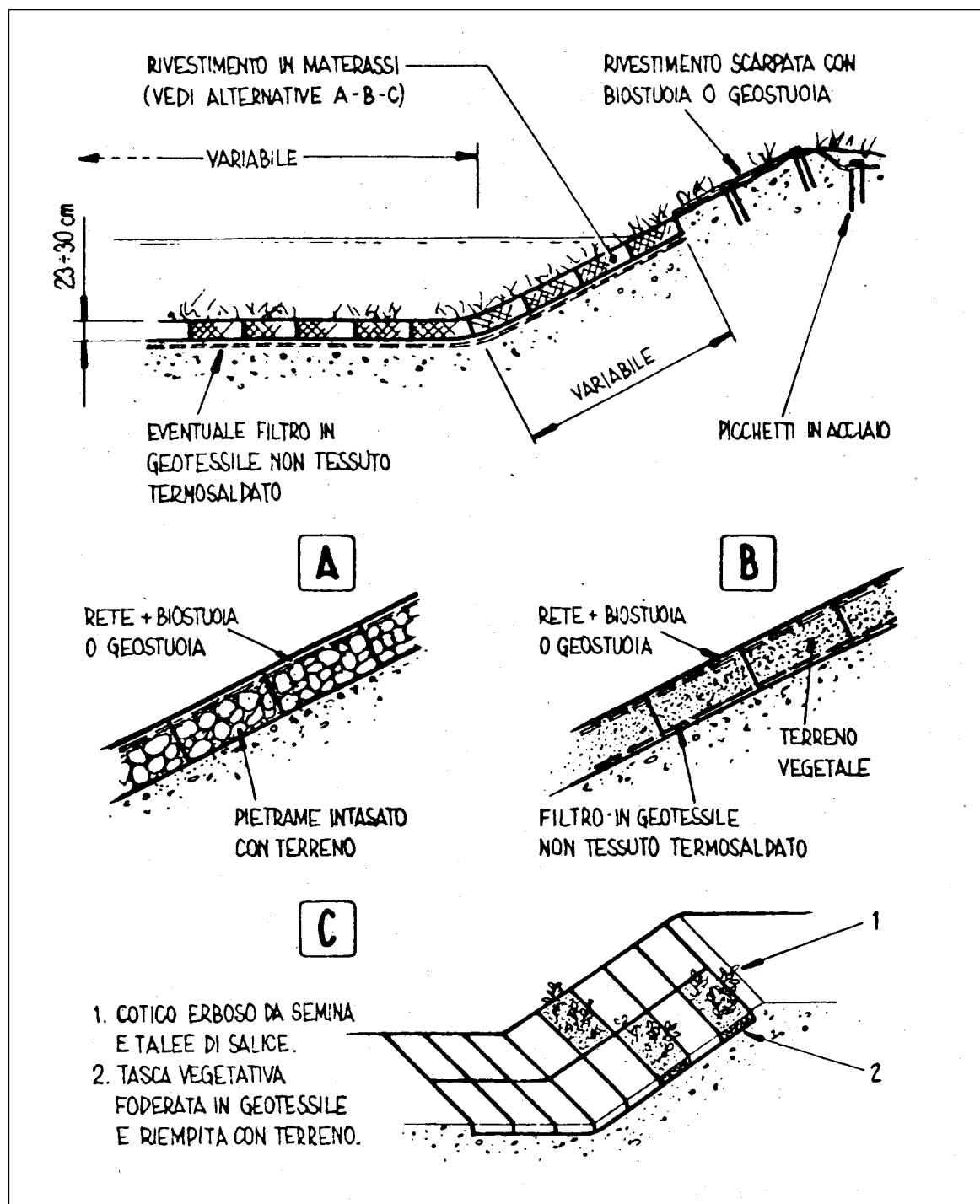
schio di slittamenti. I picchetti o i tondini andranno resi solidali con fune metallica avente diametro di  $16 \div 22$  mm e non sulle maglie, la cui resistenza va eventualmente calcolata. La cucitura dei materassi va effettuata per mezzo di filo metallico zincato, avente le stesse caratteristiche di quello costituente i materassi o con punti metallici meccanizzati messi in opera con una pistola pneumatica o manuale. Il riempimento andrà effettuato assestando con cura il pietrame che dovrà avere dimensioni tali da non passare attraverso le maglie, non dovrà essere né gelivo né

friabile. Le talee o le piante andranno poste in opera durante il riempimento avendo cura di inserire la pianta nel terreno sottostante il materasso. Eventuali tasche vegetative riempite di terreno andranno foderate e protette con una biostuoia antierosiva.

*Interventi collegati:* interventi di sistemazione idraulica.

*Periodo di intervento:* il periodo di esecuzione dipende principalmente dal tipo di materiale vivo che si intende usare. Nel caso in cui

Fig. 14.61 - Materasso spondale in rete metallica rinverdito



Tab. 14.41 - Materasso spondale in rete metallica rinverdito: analisi prezzi

Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
<i>a) Manodopera:</i>				
Operaio specializzato	Ora	0,00		
Operaio qualificato	Ora	0,5		
Operaio comune	Ora	0,5		
<i>b) Noli:</i>				
Pala caricatrice articolata	Ora	0,15		
<i>c) Materiali:</i>				
Materasso	Kg	3,7		
Biofeltro	m <sup>2</sup>	2		
Punti metallici	cad	18		
Pietrame	m <sup>3</sup>	0,1		
Terreno vegetale	m <sup>3</sup>	0,3		
Talee	cad	3		
Idrosemina	m <sup>2</sup>	1		
Prezzo di applicazione			Euro/m <sup>2</sup>	54,23 ÷ 61,97
			£/m <sup>2</sup>	105.000 ÷ 120.000

si operi in un corso d'acqua con regime molto variabile stagionalmente, l'ideale sarebbe intervenire nei periodi di magra.

*Manutenzione e durata dell'opera:* se ben progettate e accuratamente realizzate, queste opere non necessitano di particolari manutenzioni e possono quindi mantenere la loro piena funzionalità per diverse decine di anni.

*Analisi prezzi:* si veda la **tabella 14.41**.

#### 14.3.11 Terra rinforzata rivegetata

*Descrizione sintetica:* le terre rinforzate sono opere di sostegno a gravità che consentono il consolidamento di versanti o sponde instabili o la formazione di rilevati. Si tratta di opere che hanno il pregio di essere deformabili e sufficientemente permeabili, che sfruttano il principio del rinforzo orizzontale delle terre (ottenuto in vari modi abbinando i materiali di rinforzo con paramenti esterni tali da consentire la crescita della vegetazione (**figg. 14.62-14.69**).

*Descrizione da voce di capitolato:* formazione di opere sostegno in terra rinforzata abbinando materiali di rinforzo di varia natura con paramenti sul fronte esterno realizzati in modo da consentire la crescita delle piante.

Ciò si ottiene con varie tecnologie ma secondo le seguenti prescrizioni generali:

- pendenza massima del fronte esterno di 60° ÷ 70° per consentire alle piante di ricevere almeno in parte l'apporto delle acque meteoriche;
- presenza di uno strato di terreno vegetale verso l'esterno a contatto con il paramento;

- idrosemina con miscele adatte alle condizioni di intervento con quantità minima di seme di 60 g/m<sup>2</sup>, collanti, ammendanti, concimanti e fibre organiche (*mulch*) in quantità tali da garantire la crescita e l'autonomia del cotico erboso. A miglior garanzia di riuscita del cotico erboso le stuoie frontali dovranno, ove tecnicamente possibile, essere preseminate e preconcimate;
- messa a dimora di specie arbustive pioniere locali per talee o piante radicate in quantità minima di 1 ogni 5 m<sup>2</sup>, che svolgono nel tempo le seguenti funzioni: consolidamento mediante radicazione dello strato esterno della terra rinforzata; copertura verde della scarpata con effetto combinato di prato-pascolo arbustato che più si avvicina agli stadi vegetazionali delle scarpate naturali in condizioni analoghe; raccolta e invito delle acque meteoriche, sopperendo in tal modo all'eccessivo drenaggio dell'inerte e all'eccessiva verticalità;
- realizzazione di un sistema di drenaggio a tergo della struttura in terra rinforzata che non impedisca però la crescita delle radici.

L'impiego delle specie arbustive sulle terre rinforzate va considerato quindi una condizione indispensabile per dare autonomia naturalistica, stabilità superficiale e collaudabilità a questo tipo di interventi. Per le terre rinforzate a paramento vegetato valgono, e devono essere parte integrante della progettazione, i principi statici e costruttivi delle terre rinforzate con particolare riferimento a: verifica di stabilità interna in assenza di pressioni interstiziali, verifica di stabilità esterna (schiacciamento del terreno di fondazione, ribaltamento, scivolamento lungo il piano di base) e quella globale dell'insieme struttura terreno; dimensionamento

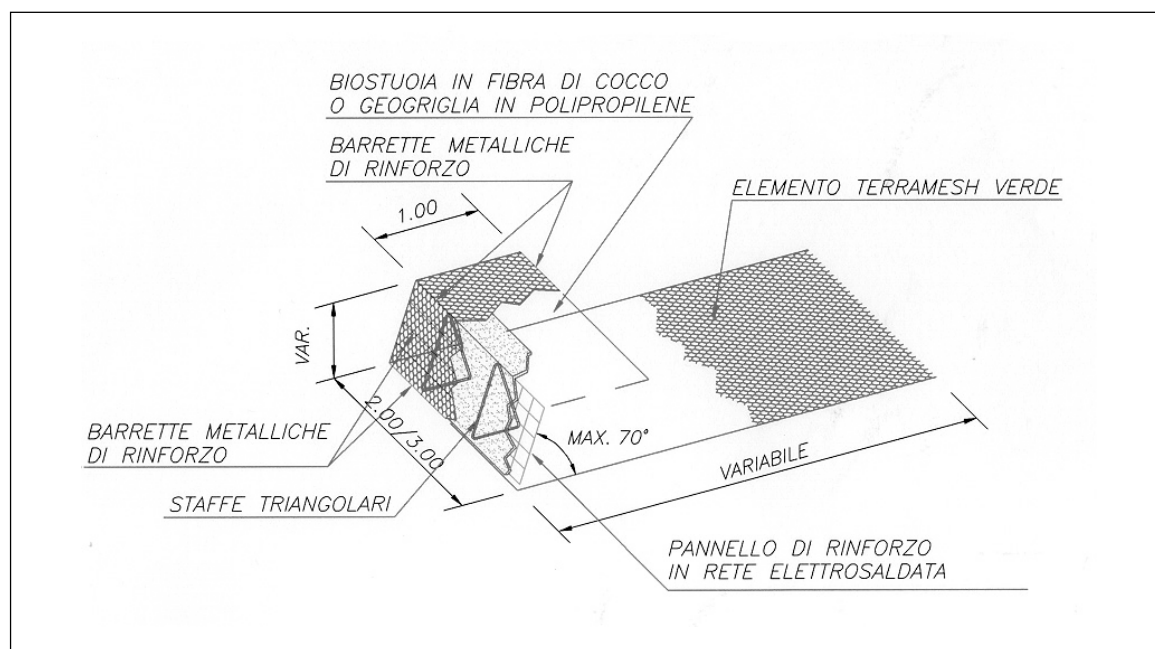
opportuno dei materiali di rinforzo in funzione della tensione ammissibile e di esercizio della struttura in relazione all'altezza e profondità della terra rinforzata, spessore degli strati, pendenza, caratteristiche del rilevato; selezione degli inerti in base alle loro caratteristiche geomeccaniche e di drenaggio; compattazione degli stessi a strati di spessore massimo 0,4 m mediante bagnatura e rullatura con rullo vibrante con raggiungimento del fattore di compattazione almeno pari al 95% dello standard Proctor.

- con geosintetici: per il rinforzo delle terre vengono utilizzati geosintetici costituiti da fibre di varia natura (poliestere, polietilene, polipropilene). Nella specifica del materiale di rinforzo da impiegare oltre alle caratteristiche fisiche quali resistenza a trazione (superiore a 20 KN/m) ed allungamento a rottura compatibile con le deformazioni della struttura rinforzata, dovrà essere indicato il valore di tensione ammissibile del materiale che tenga in considerazione la natura del polimero, la qualità delle fibre impiegate, il comportamento al creep del materiale, il danneggiamento meccanico, chimico ed ai raggi UV e la durata di esercizio dell'opera: tali caratteristiche dovranno essere documentate con certificazioni di qualità in conformità alla normativa vigente. In tal caso il geosintetico, oltre a fungere da rinforzo orizzontale, viene ripiegato a sacco a chiudere frontalmente il materiale di riempimento. Il contenimento durante la rullatura è garantito da casseri mobili, il cui posizionamento a scalare verso l'alto determinerà la pendenza finale del fronte. L'impiego di geosintetici a maglia aperta è migliorativo in funzione della crescita delle piante e del cotico erboso. Per problemi di

trattenimento dello strato di terreno vegetale fronte esterno vengono abbinati al geosintetico georeti tridimensionali sintetiche o biofeltri e biostuoie in fibra vegetale;

- con griglia metallica e geosintetici: l'armatura del rilevato è costituita da un geosintetico con resistenza a trazione non inferiore a 25 KN/m; sul fronte esterno viene posizionata una rete metallica elettrosaldata che funge da cassero con maglie differenziate di  $\varnothing$  da 6 mm a 9 mm; la rete metallica è rivestita da un geotessile composito per il trattenimento del terreno e base d'appoggio della vegetazione che dovrà consentire la trasparenza alla radicazione delle piante erbacee; lo spessore degli strati non potrà superare i 65 cm. Le specifiche del geosintetico di rinforzo devono presentare caratteristiche conformi al punto a);
- con griglia e armatura metallica: le armature vengono realizzate con lamine metalliche di lunghezza variabile, ad aderenza migliorata mediante rilievi trasversali in numero non inferiore a 24/m su entrambe le facce, in acciaio zincato a caldo di sezione minima di 5 x 45 mm vincolate a griglie frontali in rete metallica elettrosaldata inclinata di circa 63°, che funge da cassero, in acciaio zincato a caldo con maglia minima di 10x10 cm di diametri differenziati da 6 mm a 14 mm, rivestite all'interno da una biostuoia o da un biofello e/o da una geostuoia tridimensionale in materiale sintetico con elevate caratteristiche di resistenza agli agenti chimici e atmosferici.
- con pannello in calcestruzzo e armatura metallica: le armature sono come al punto precedente e sono collegate con un sistema di pannelli in cls formati da piastre inclinate e contrafforti d'appoggio verticali ad incastro.

Fig. 14.62 - Terra rinforzata rivegetata



Fonte: Maccaferri Spa, modificata da Palmeri, 2001.

Fig. 14.63 - Terra rinforzata rivegetata

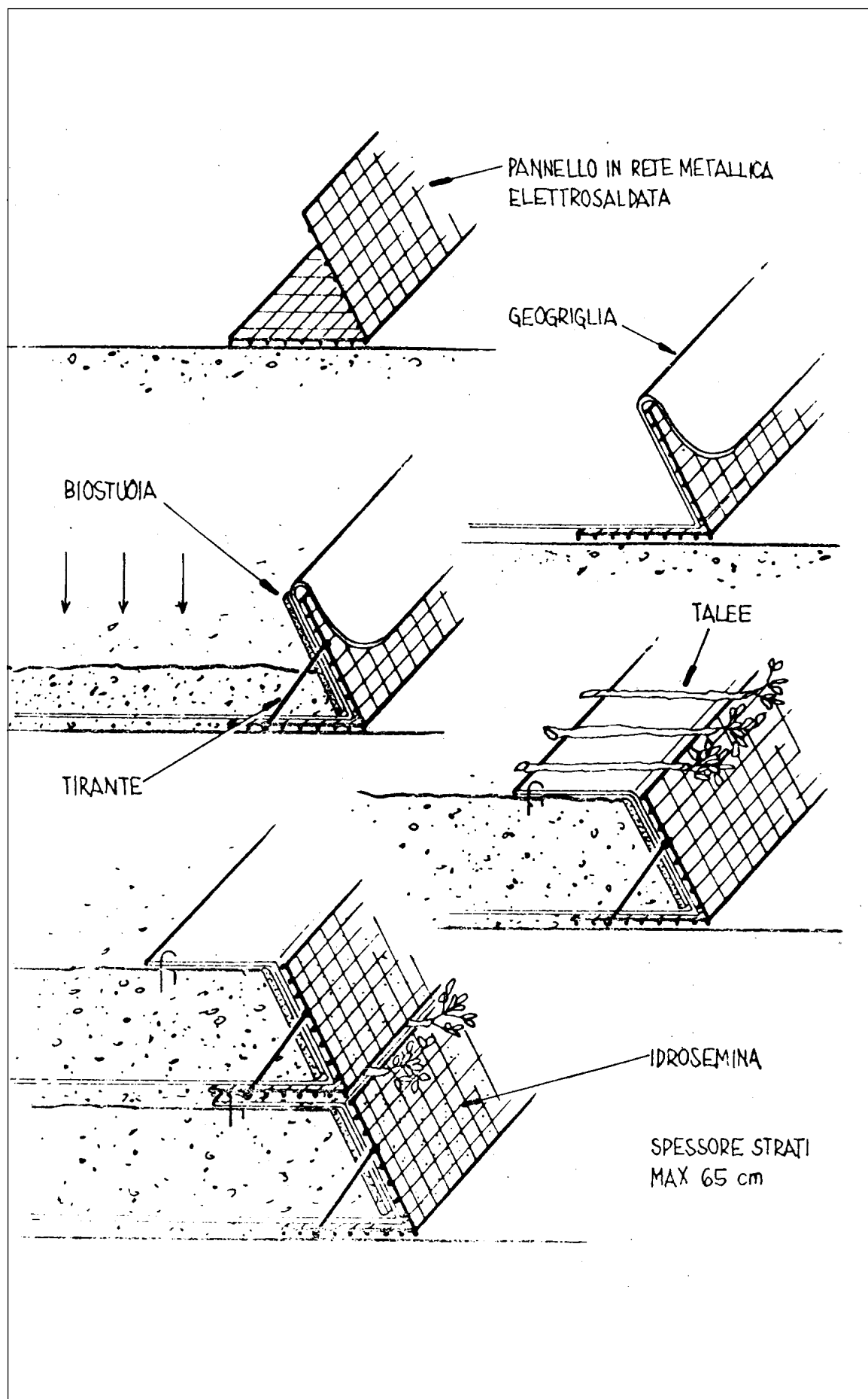


Fig. 14.64 - Terra rinforzata rivegetata

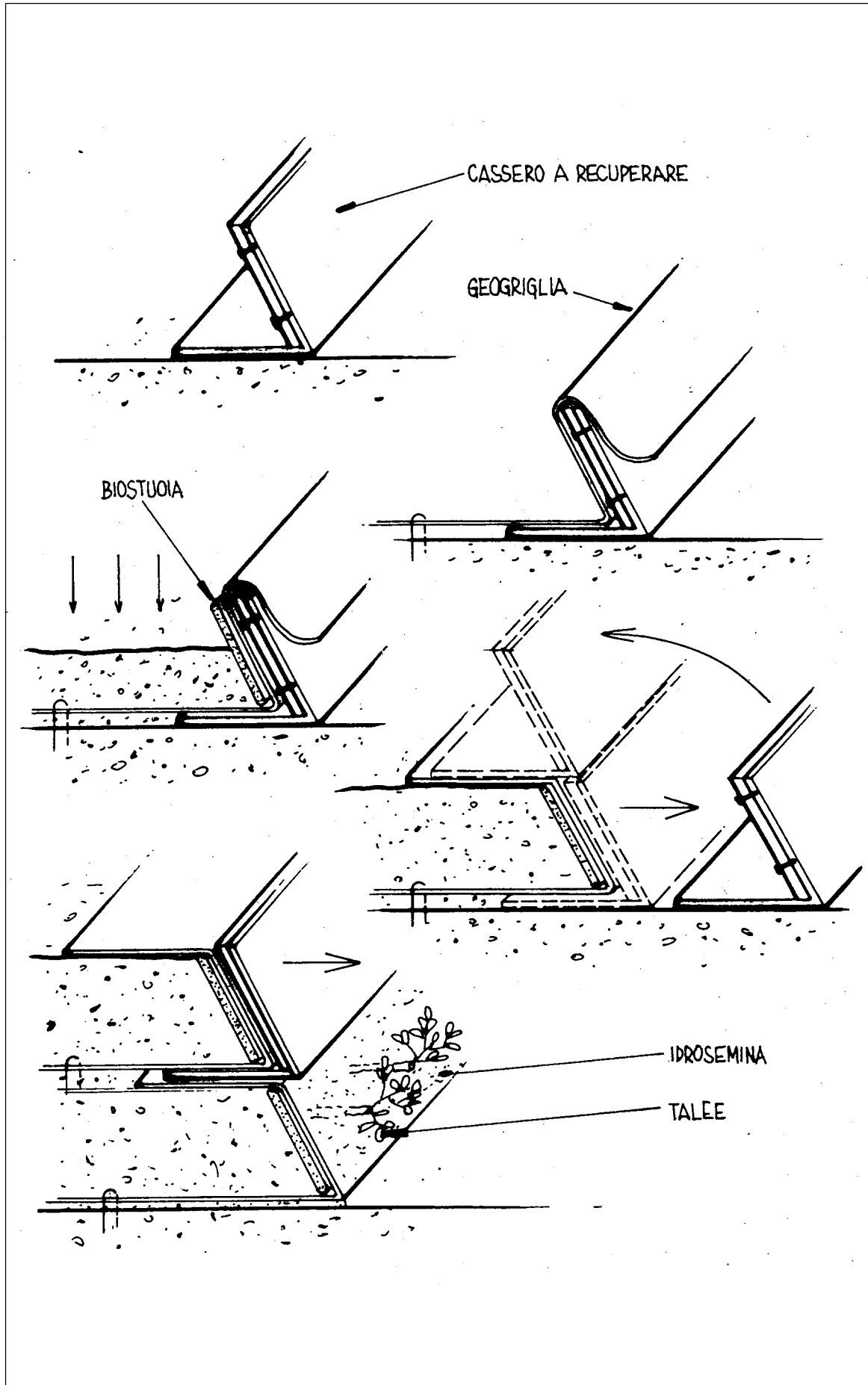


Fig. 14.65 - Terra rinforzata rivegetata

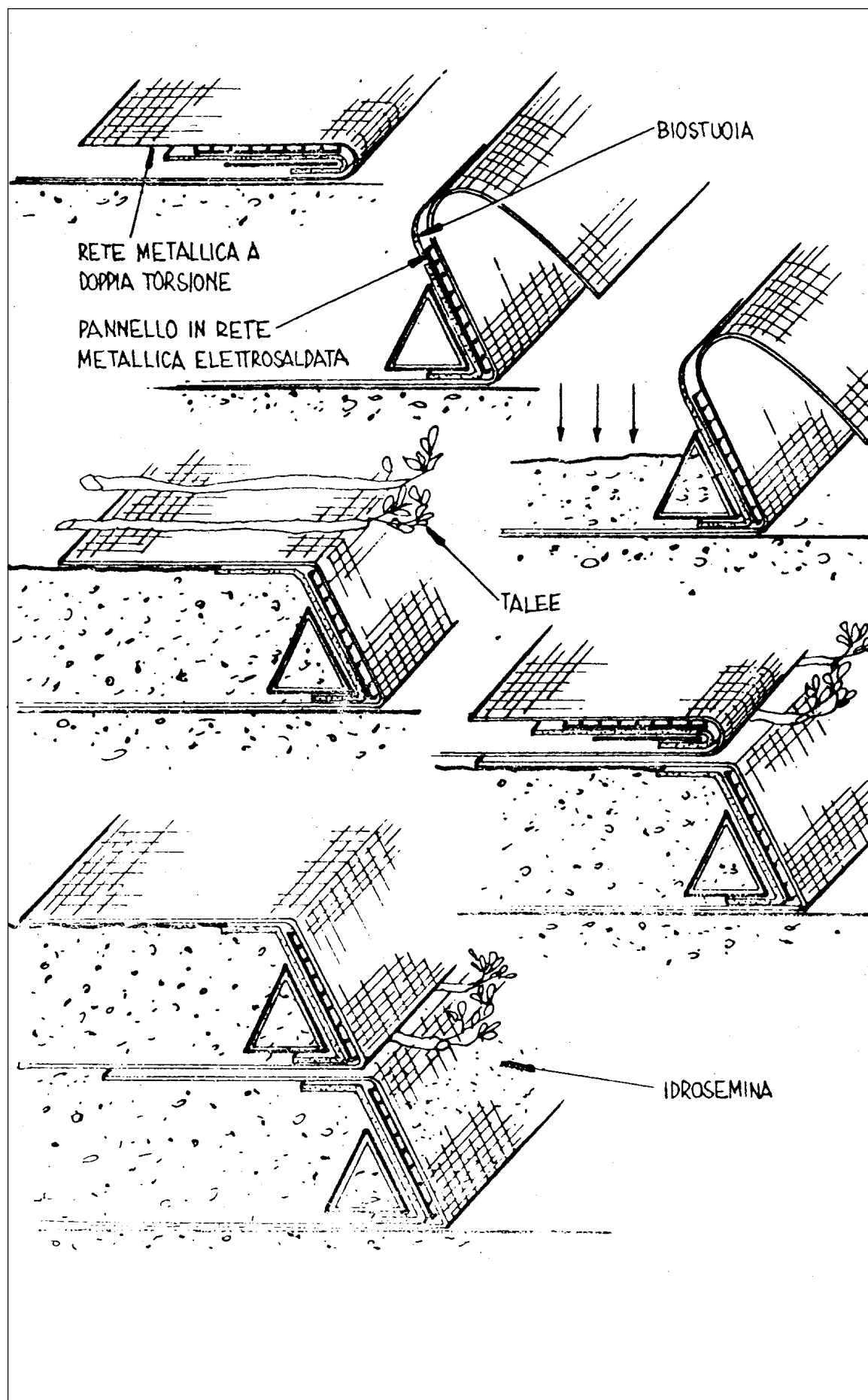
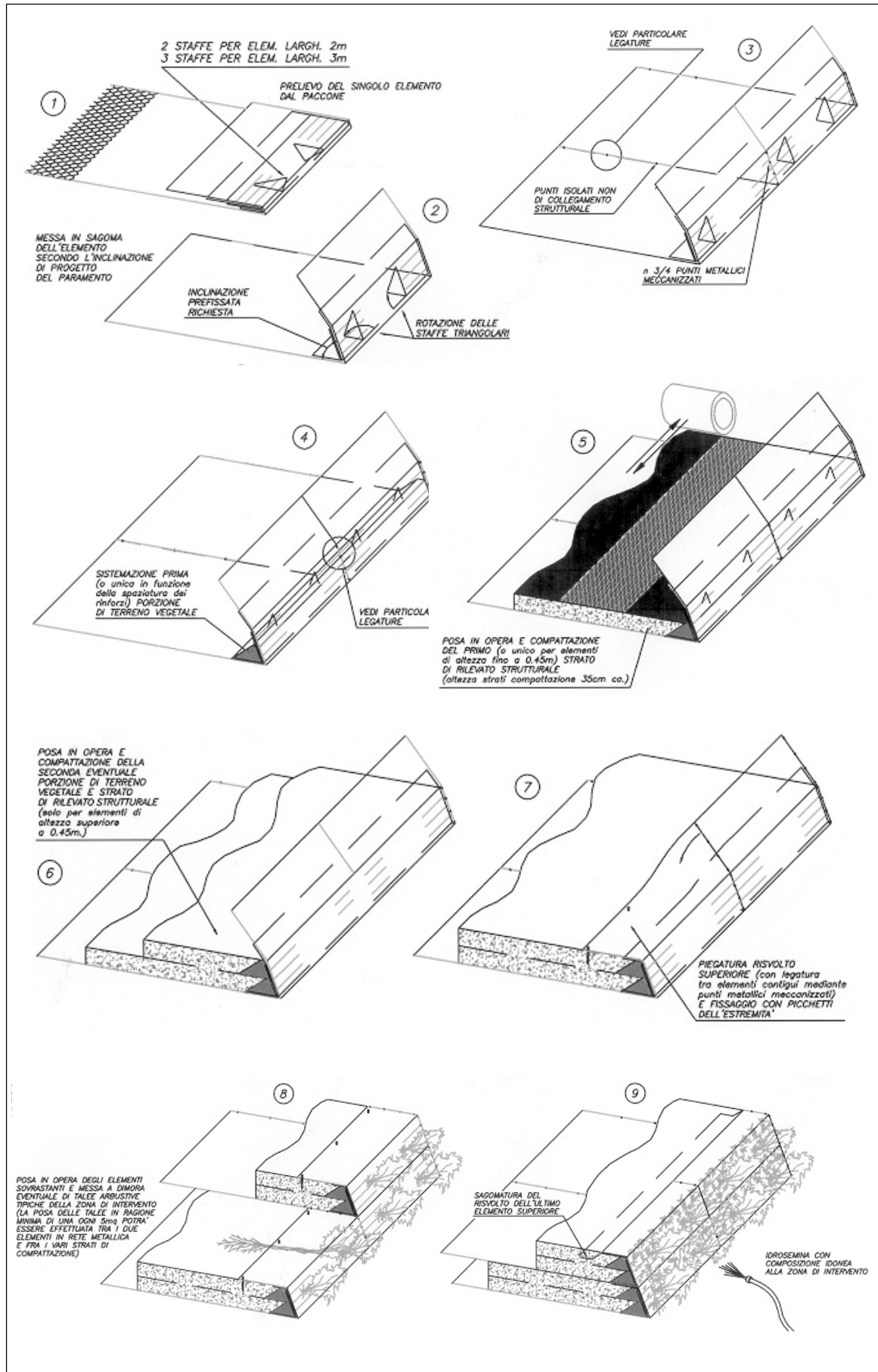


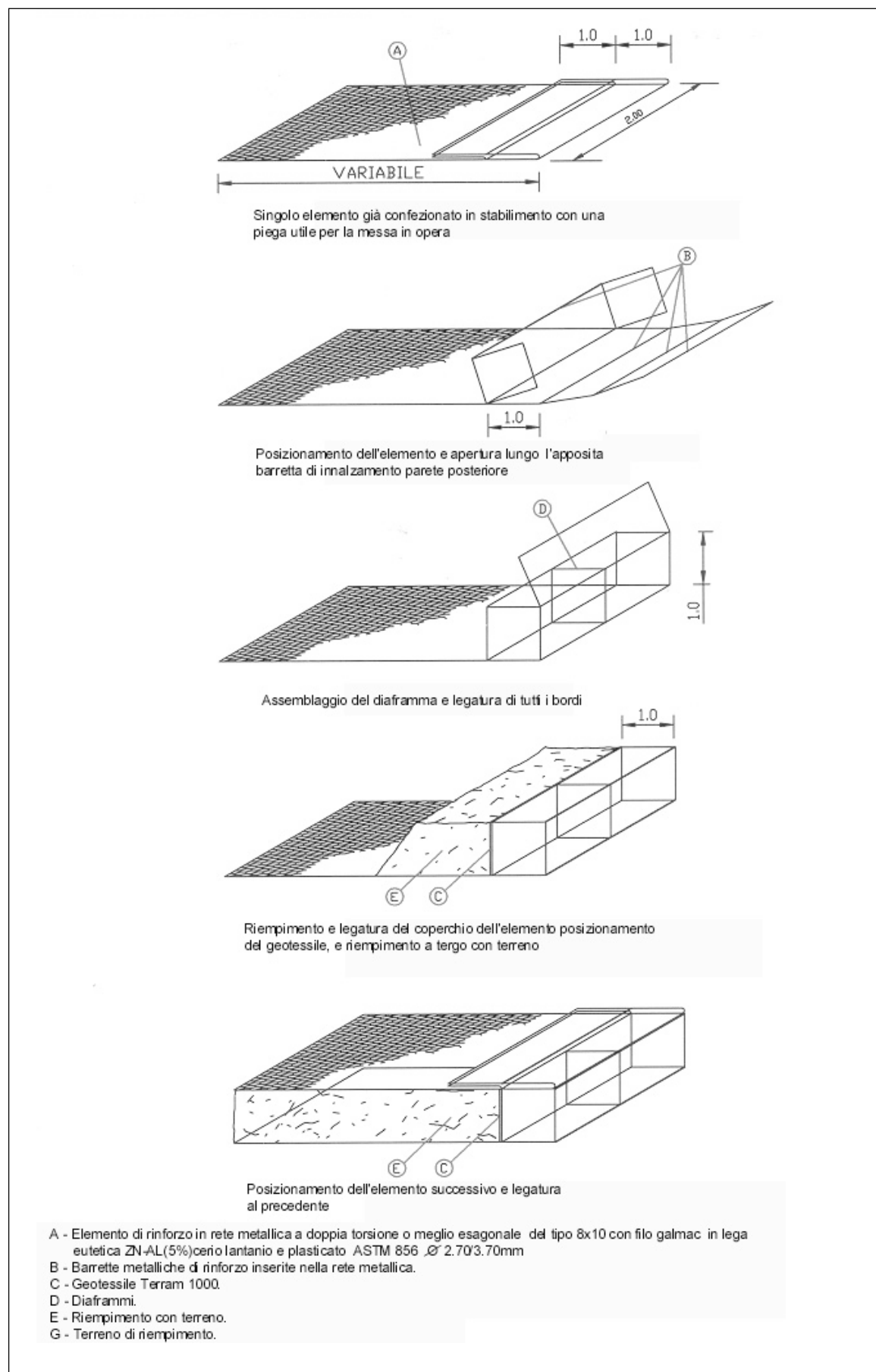
Fig. 14.66 - Terra rinforzata rivegetata



Fonte: Maccaferri Spa, modificata da Palmeri, 2001.

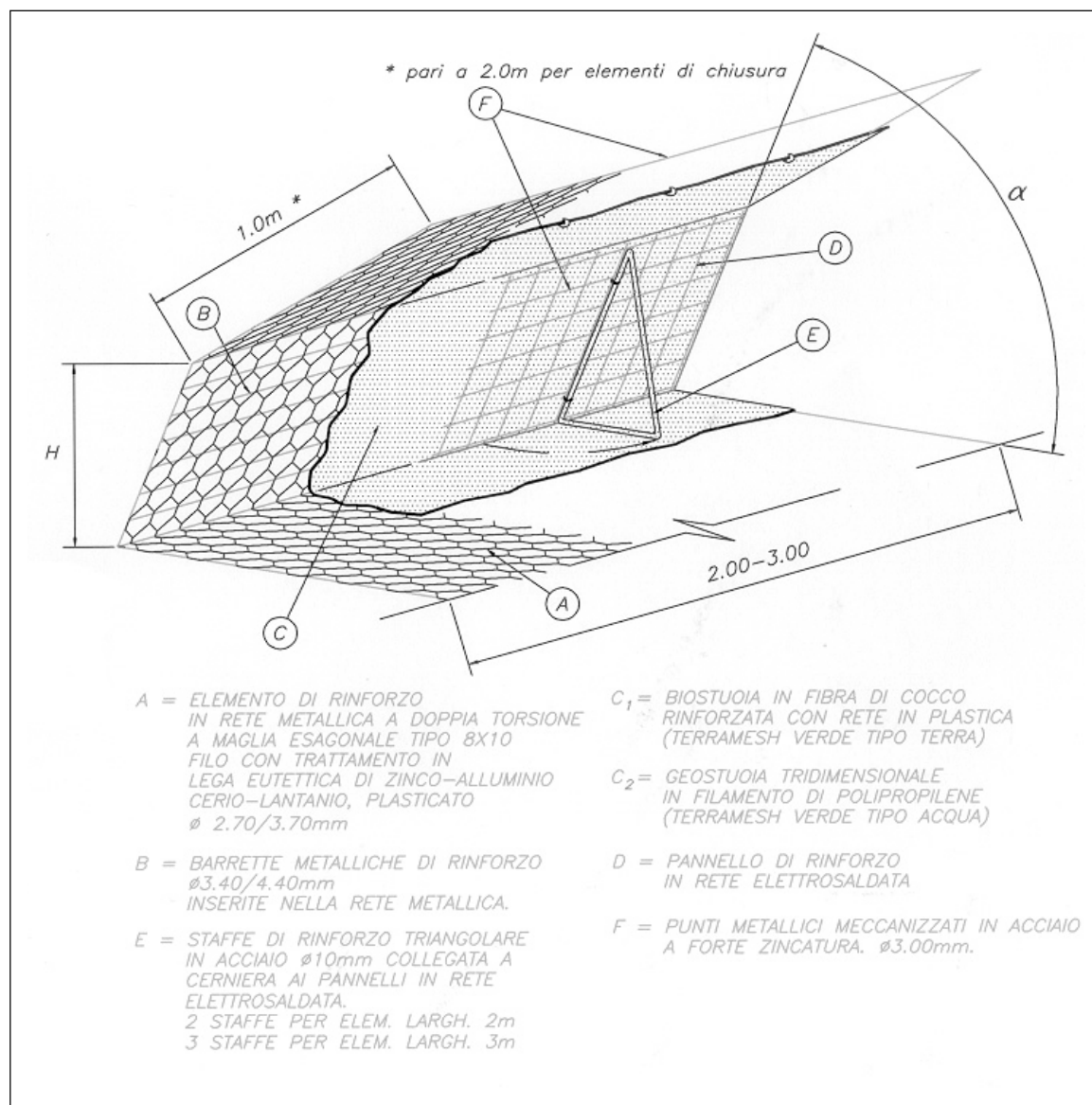


Fig. 14.67 - Terra rinforzata rivegetata



Fonte: Maccaferri Spa, modificata da Palmeri, 2001.

Fig. 14.68 - Terra rinforzata rivegetata: particolare costruttivo



Fonte: Maccaferri Spa, modificata da Palmeri, 2001.

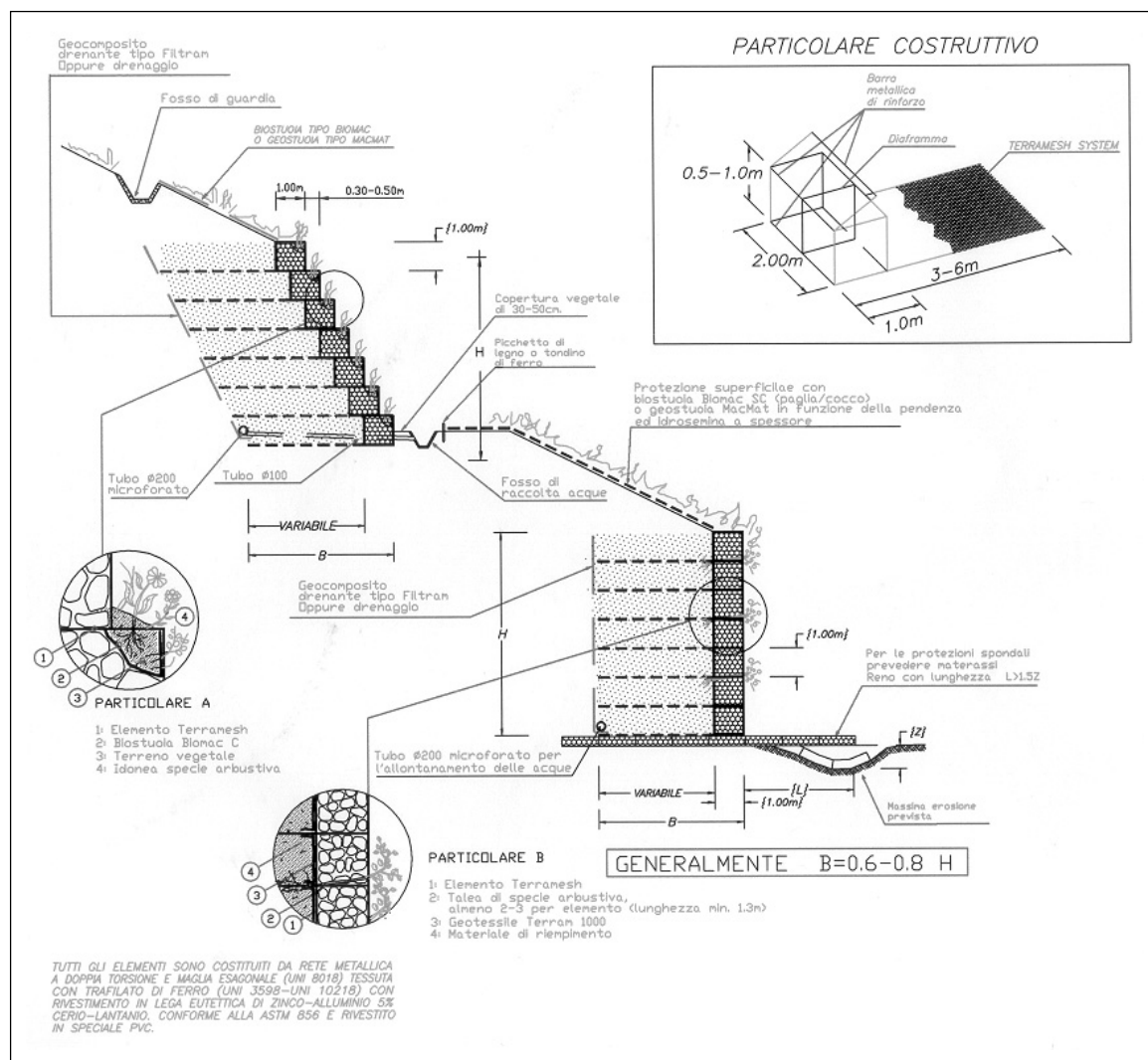
Le piastre sono inclinate di circa 70° rispetto all'orizzontale a formare, mediante la loro sovrapposizione a quinconce, dei contenitori che vengono riempiti di terra vegetale. Il metodo presenta rispetto ai muri cellulari i seguenti vantaggi:

- un'inclinazione complessiva massima del muro (circa 70°) e posizionamento ad invito dei pannelli tali da ricevere e convogliare l'acqua meteorica;
- un facile apporto dall'esterno di terra vegetale ad opera realizzata, che va a contatto con l'inerte costituente il rilevato in terra armata.
- con rete metallica a doppia torsione: il paramento esterno (max 70°) e l'armatura orizzontale sono realizzati con elementi in rete metallica a doppia torsione con maglia esagonale minima 8 x 10 cm, tessuta con trafilato di ferro di diametro minimo 2,7 mm zincato a caldo (UNI 8018), con rivestimento

in PVC o XLPE con resistenza agli UV, alte temperature ed agli altri agenti atmosferici certificati, di spessore minimo 0,4 - 0,5 mm e diametro complessivo del filo 3,7 mm circa avente resistenza nominale non inferiore a 40 kN/m; gli elementi sono di lunghezza variabile e costituiscono senza soluzione di continuità anche il paramento esterno verticale, a gradoni o inclinato, che è rinforzato da barrette metalliche inserite nella rete e da un ulteriore pannello in rete metallica a doppia torsione abbinato a un geosintetico o a un biostuoia-biofeltro che garantisce il trattenimento del materiale terroso e la crescita del cotico erboso e delle piante.

*Campi di applicazione:* le terre rinforzate, oltre ad essere impiegate per il consolidamento in caso di fenomeni di dilavamento e di franamento superficiale, possono essere utilizzate anche per la costruzione di terrapieni consoli-

Fig. 14.69 - Terra rinforzata rivegetata



Fonte: Maccaferri Spa, modificata da Palmeri, 2001.

dati e vegetati per rilevati stradali, autostradali e ferroviari, spalle di ponti, sponde per erigere rilevati paramassi con vallo a tergo, terrapieni a forte pendenza antirumore e antiesplorazione.

**Fattibilità:** la fattibilità è vincolata ad alcuni principi statici e costruttivi, quali la verifica geomeccanica del piano di fondazione, il dimensionamento dei materiali da impiegare in relazione all'altezza ed alla profondità dell'opera, pendenza e caratteristiche del rilevato, selezione granulometrica degli inerti in base alle loro caratteristiche geomeccaniche e di drenaggio, loro compattazione mediante bagnatura e rullatura con rullo vibrante. I rinforzi devono avere una durata pari o superiore alla vita dell'opera ed una resistenza tale da garantire la stabilità interna. Per consentire alla vegetazione di ricevere l'apporto delle acque meteoriche, la pendenza massima del fronte esterno non dovrà superare i  $60^\circ \div 70^\circ$  e la struttura dovrà presentare uno strato vegetale a contatto con il paramento esterno.

#### Materiali impiegati:

- terreno di riempimento (materiali inerti);
- terreno organico;
- armature in rete metallica zincata o elettrosaldata;
- georete, biostuoia;
- geosintetici antierosivi;
- talee, piantine a radice nuda e/o fitocella.

#### Modalità di esecuzione:

- formazione di uno scavo di fondazione e inserimento del primo elemento prefabbricato;
- l'elemento scatolare viene realizzato mediante risvolto frontale della rete metallica a doppia torsione solidale con l'elemento di rinforzo orizzontale; nella parte frontale la rete è rivestita da stuoia organica o sintetica;
- inserimento delle talee di salice nella maglia inferiore e passanti la struttura;
- riempimento con materiale inerte di diametro superiore a quello della maglia della rete, compattazione, per strati di circa 30 cm, del

Tab. 14.42 - Terra rinforzata rivegetata: analisi prezzi

Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
<i>a) Manodopera:</i>				
Operaio specializzato	Ora	0,00		
Operaio qualificato	Ora	0,3		
Operaio comune	Ora	0,3		
<i>b) Noli:</i>				
Pala caricatrice articolata	Ora	0,2		
Autocarro				
Piastra vibrante	Ora	0,2		
Rullo compressore	Ora	0,005		
<i>c) Materiali:</i>				
Terra rinforzata	m <sup>2</sup>	1,28		
Punti metallici	cad	20		
Pietrame	m <sup>3</sup>	1,6		
Terreno vegetale	m <sup>3</sup>	0,6		
Verghe	cad	5		
Idrosemina	m <sup>2</sup>	1		
<b>Prezzo di applicazione</b>			<b>Euro/m<sup>2</sup></b>	<b>191,09 ÷ 206,58</b>
			<b>£/m<sup>2</sup></b>	<b>370.000 ÷ 400.000</b>

terreno per la formazione del rilevato strutturale. Il materiale di riempimento viene lavorato a strati successivi e ogni strato viene ben compattato con un mezzo meccanico e manualmente;

- l'inserimento di una stuoia a tergo del cassero in rete metallica garantisce il trattenimento del materiale più fino, pur con il mantenimento dell'effetto drenante della struttura. Per terre rinforzate spondali la biostuoia verrà sostituita con una stuoia sintetica tridimensionale;
- riempimento nella parte frontale con terreno vegetale;
- messa a dimora di arbusti radicati previo taglio di alcune maglie;
- i moduli superiori e laterali vengono assicurati tra loro con punti metallici adeguati;
- al termine della realizzazione della struttura viene eseguita una idrosemina, possibilmente arricchita in fibra vegetale (idrosemina a spessore).

*Descrizione di alcune tipologie più frequentemente impiegate:*

- *terra rinforzata con geosintetico e cassero a perdere in griglia metallica:* l'armatura utilizzata per la realizzazione del rilevato è costituita da un geosintetico (resistenza alla trazione uguale o superiore a 25 KN/m), posizionato alla base di ogni strato sovrapposto da una rete metallica elettrosaldata (0 = 6 ÷ 9 mm) con funzione di cassero a perdere. La rete metallica viene rivestita con una biostuoia che fungerà da supporto per l'idrosemina. Lo spessore degli strati non dovrà superare i 65 cm;

- *terra rinforzata con geosintetico e cassero mobile:* si utilizza un tessuto geosintetico (poliestere, polipropilene, ecc.) con alta resistenza alla trazione (tra 20 e 1.000 KN/m). Il geotessuto svolge la funzione di rinforzo orizzontale e, una volta ripiegato a sacco, anche di contenimento frontale dell'inerte al momento del recupero del cassero per la formazione dello strato successivo. Tra il geosintetico ed il terreno compattato viene posta sul paramento esterno una biostuoia che fungerà da supporto per l'idrosemina;
- *terra rinforzata con rete metallica a doppia torsione:* la cassetatura e l'armatura orizzontale sono realizzati con elementi in rete metallica a doppia torsione con maglia esagonale (tipo 8 x 10, come da norma UNI 8018). Il cassero è costituito da un elemento preconfezionato di lunghezza variabile che contiene una biostuoia e viene montato in cantiere. Una volta aperto sul piano di posa il pannello ed irrigidito con gli appositi tiranti, si procede al riporto del terreno ed alla sua compattazione. La biostuoia posizionata sul paramento esterno fungerà da supporto all'idrosemina.

*Prescrizioni:*

- per un miglior risultato la raccolta e l'inserimento di materiale vegetale vivo deve avvenire durante il periodo di riposo vegetativo.
- le talee devono al meglio avere una lunghezza tale da passare attraverso l'intera struttura e toccare il terreno retrostante, e comunque lunghezza non inferiori a 1,5 ÷ 2 m;
- per una buona riuscita della vegetazione le talee devono essere inserite in fase di costru-

zione e poste nella prima maglia inferiore di ogni modulo;

- nel caso di forzata messa a dimora a posteriori delle talee, esse devono comunque essere inserite nella stagione adatta successiva alla costruzione. L'inserimento dovrà avvenire rispettando il verso di crescita e per almeno 50 cm di profondità. La parte fuori terra dovrà essere potata a circa  $10 \div 15$  cm.

**Limiti di applicabilità:** per garantire l'attecchimento e la crescita delle piante e del cotico erboso, i fronti dovranno avere pendenze al massimo di  $60^\circ$ , per consentire l'apporto di acque meteoriche. Il solo cotico erboso deperisce nel tempo e non garantisce la funzione antierosiva del cuneo di terra vegetale, che tende a dilavarsi quando le stuoie perdono la loro funzione, risulta pertanto indispensabile l'inserimento di talee e arbusti radicati.

**Vantaggi:**

- i manufatti risultano avere un'elevata durata temporale;
- possibilità di ricostruire pendenze di versanti superiori agli angoli di riposo del materiale impiegato;
- la costruzione per moduli consente di ottenere illimitate forme, adattate alle condizioni locali del terreno.

**Svantaggi:**

- costi elevati;
- volumi di sbancamento notevoli;
- i materiali di rinforzo non sono biodegradabili;
- sono impiegate qualora vi sia un buon terreno di fondazione.

**Effetto:** struttura di sostegno elastica, molto adatta per sistemazioni spondali a forte pendenza in spazi limitati in zone urbanizzate.

**Periodo di intervento:** il materiale vivo dovrà essere inserito nel periodo di riposo vegetativo. La struttura delle terre rinforzate può essere realizzata in qualsiasi momento dell'anno anche se è raccomandabile l'inserimento delle talee e la piantagione di arbusti in fase di costruzione.

**Possibili errori:**

- scelta errata del periodo per la posa di materiale vegetale vivo;
- mancato inserimento di talee di salice;
- insufficiente portanza del terreno di base.

**Analisi prezzi:** si veda la **tabella 14.42**.

### 14.3.12 Rampe a blocchi

**Descrizione sintetica:** consolidamento del fondo dell'alveo di un fiume in pietrame di grosse dimensioni in sostituzione delle briglie e dei tratti di salto. Tale struttura risulta più funzionale anche alla risalita dei pesci. Può essere re-

alizzata sia come *by-pass* laterale a una briglia, sia come fondazione alla base della briglia, sia lungo l'alveo del corso d'acqua (**figg. 14.70a-14.75**).

**Descrizione da voce di capitolato:** consolidamento di fondo di corso d'acqua in tratti di salto mediante pietrame o massi di diametro variabile a seconda dei parametri idraulici da 0,4 a 1 (2) m, disposto a rampa su  $1 \div 2$  file di massi fissati ulteriormente da file di piloti in acciaio o in legno di dimensioni tali da garantire la funzione di bloccaggio e la durata. La rampa è sostitutiva delle briglie e dei salti di fondo in calcestruzzo e garantisce gli spostamenti di risalita dei pesci e di altra fauna acquatica.

La rampa a blocchi può essere realizzata:

- lungo la sezione principale di deflusso e in tal caso verrà creato un allargamento consolidato con pietrame nel punto di inserzione tra la rampa e la sponda;
- quale *by-pass* laterale al corso principale in presenza di una preesistente briglia in calcestruzzo o altro sbarramento trasversale. In tal caso si collocano i massi al fine di creare diversi piccoli bacini a vari livelli in modo da consentire a tutta la fauna ittica di risalire l'ostacolo. La pendenza non dovrà superare il rapporto 1:10 e il dislivello tra due bacini contigui i  $20 \div 25$  cm. I massi principali vanno collocati in piedi e fissati con putrelle o tondini in acciaio (va evitato il calcestruzzo) le vasche vanno riempite di pietrisco e ghiaia di  $\varnothing 20 \div 30$  cm.

**Campi di applicazione:** alvei di corsi d'acqua a bassa pendenza e con fondo ghiaioso e sabbioso. Alla base o a lato di briglie.

**Materiali impiegati:**

- massi  $\varnothing 0,4 \div 1$  m;
- pali in legno  $\varnothing 25$  cm, L = 2,5 m;
- tondini in acciaio  $\varnothing 24$  mm di dimensioni tali da garantire il bloccaggio dei massi.

**Modalità di esecuzione:**

- posizionamento dei massi nell'alveo del corso d'acqua, profondamente interrati nel fondo. La collocazione dei massi dovrà avvenire a vari livelli per consentire alla fauna ittica di risalire l'ostacolo;
- nel posizionamento dei massi si dovrà seguire la pendenza naturale dell'alveo e il dislivello tra la base e l'apice non dovrà essere superiore a  $20 \div 25$  cm;
- nel caso di dislivelli eccessivi si provvederà alla realizzazione di una serie di rampe poste a una distanza di  $1,5 \div 2,5$  m l'una dall'altra;
- se necessario il pietrame viene consolidato con tondini in acciaio infissi nel fondo e posto su un letto di ghiaia per favorirne l'assestamento.

**Vantaggi:**

- consolidamento immediato del fondo alveo;
- rappresenta una via funzionale alla risalita del corso d'acqua da parte della fauna ittica;

Tab. 14.43 - Rampe a blocchi: analisi prezzi

Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
<i>a) Manodopera:</i>				
Operaio specializzato	Ora	0,00		
Operaio qualificato	Ora	0,00		
Operaio comune	Ora	0,5		
<i>b) Noli:</i>				
Pala caricatrice articolata	Ora	0,4		
Autocarro	Ora	0,1		
<i>c) Materiali:</i>				
Pietrame	Kg	2.600		
Piloni	cad	1		
Prezzo di applicazione			Euro/m <sup>2</sup>	74,89 ÷ 77,47
			£/m <sup>2</sup>	145.000 ÷ 150.000

Fig. 14.70a - Rampe a blocchi: pianta

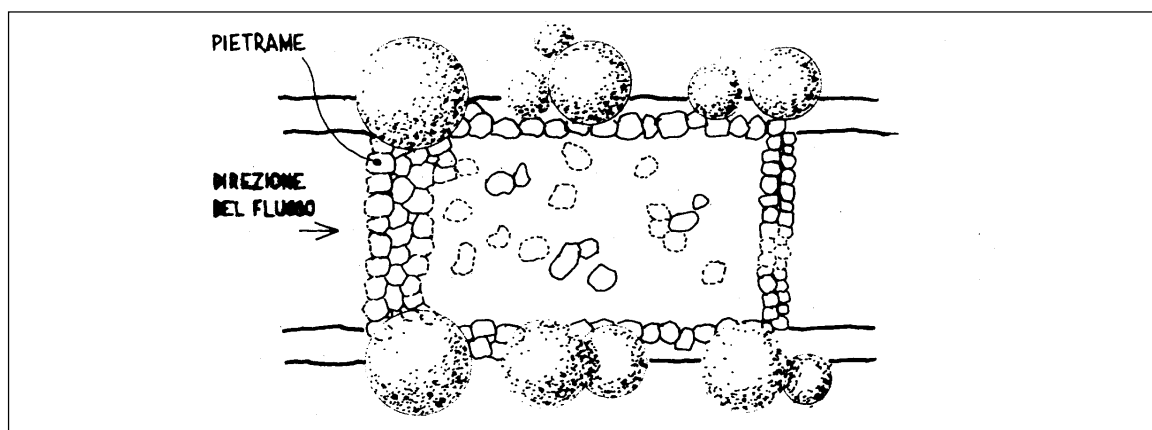


Fig. 14.70b - Rampe a blocchi: sezioni

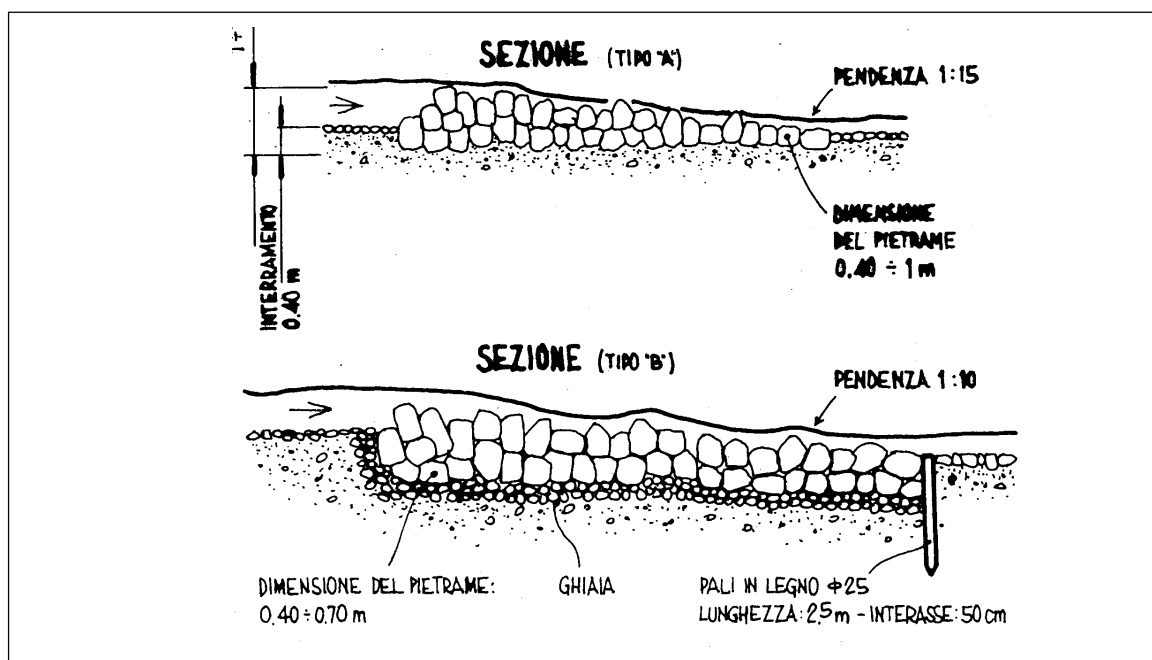
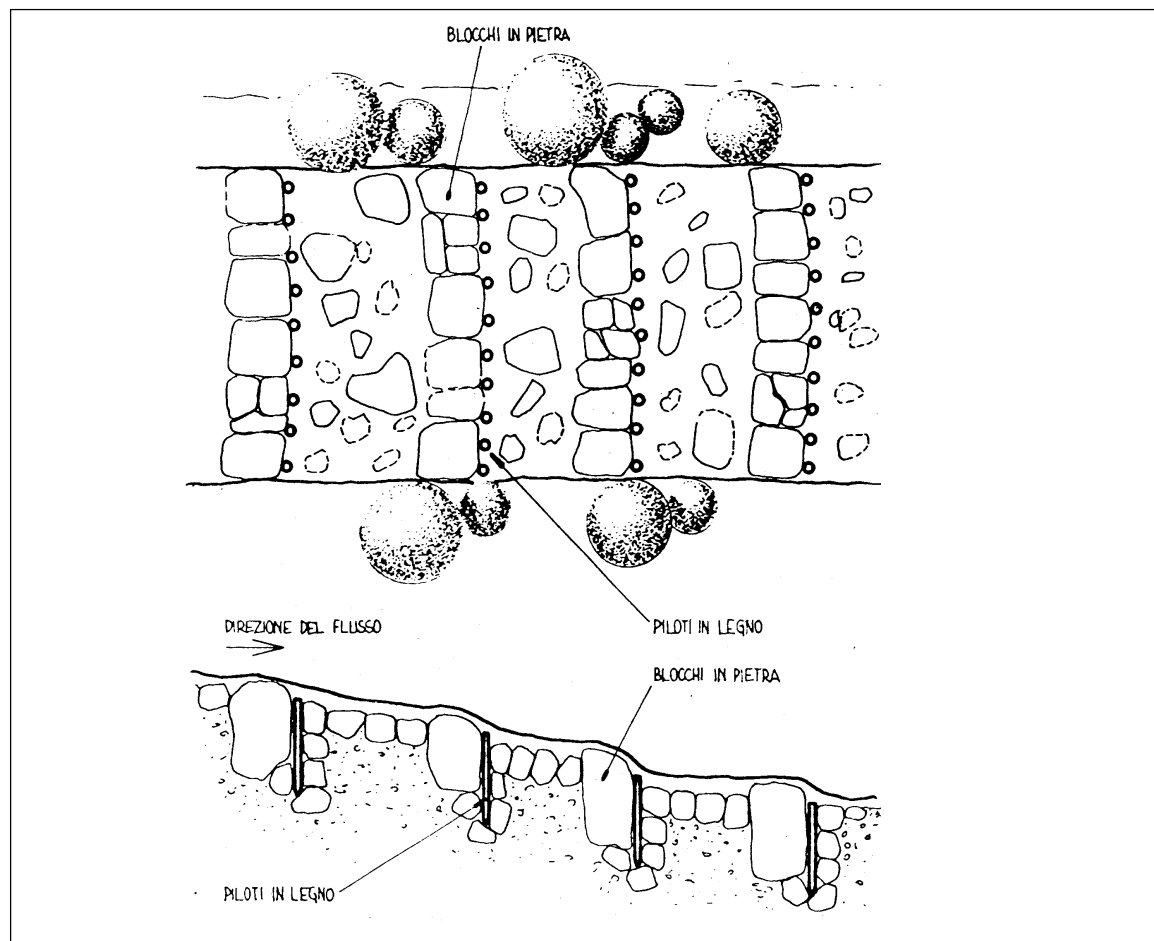


Fig. 14.71 - Rampe a blocchi: sezioni



- associa le esigenze di carattere ecologico a quelle di messa in sicurezza idraulica di un corso d'acqua.

#### *Svantaggi:*

- non possono avere pendenza >15% e non possono essere molto lunghe (limite di applicabilità);
- il pietrame utilizzato è di grandi dimensioni (fino ad un metro di diametro).

#### *Effetti:*

- eliminazione del salto della briglia (continuità biologica);
- funzione idraulica a volte migliorata.

*Periodo di intervento:* in qualsiasi periodo dell'anno escluso quello di riproduzione della fauna ittica.

*Manutenzione e durata dell'opera:* è un'opera in grado di autosostenersi e autopulirsi, ma in situazioni idrologiche particolari potrà essere necessaria una manutenzione al fine di ripulire la rampa dal materiale grossolano depositato e controllare la stabilità dei massi. Particolare attenzione dovrà essere posta al pietrame ubicato a monte e a valle, nonché a quello di raccordo con le sponde fluviali.

*Analisi prezzi:* si veda la **tabella 14.43**.

*Scheda di approfondimento per le rampe:* nella **tabella 14.44** le rampe vengono ordinate secondo il punto di vista funzionale ed ecologico senza prendere in considerazione le condizioni stazionali, che possono limitare l'impiego delle singole tecniche (**figg. 14.79-14.84**).

#### 14.3.13 Briglia in legname e pietrame

*Funzioni:* consolidamento, regimazione e difesa idraulica in alveo.

*Descrizione:* la briglia viene costruita secondo gli schemi classici, ma si utilizzano legname e pietrame come materiali alternativi in sostituzione di briglie in gabbioni e in cls (**fig. 14.85**).

*Descrizione da voce di capitolato:* briglia viva in legname e pietrame di consolidamento, di modeste dimensioni trasversali, a struttura piena, realizzata mediante:

- incastellatura di legname a parete doppia (struttura a cassone o reticolare) in tondame scortecciato, unito da chiodi e graffe metalliche zincate. la soglia sarà realizzata da travi di diametro pari a 15 ÷ 20 cm, opportunamente incastrate nelle spalle, ancorate ai pali di

Fig. 14.72 - Rampe a blocchi

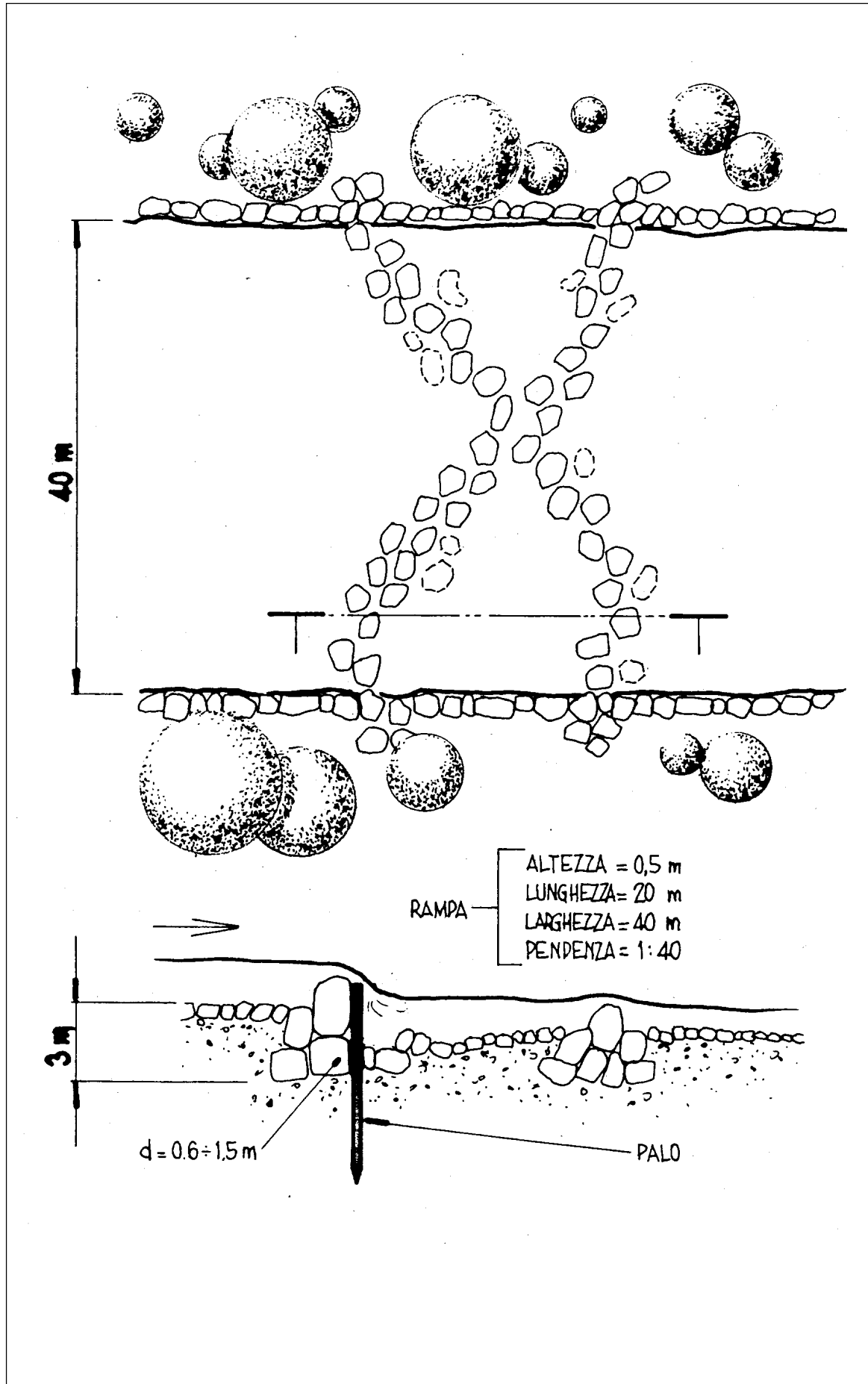




Fig. 14.73 - Rampe a blocchi

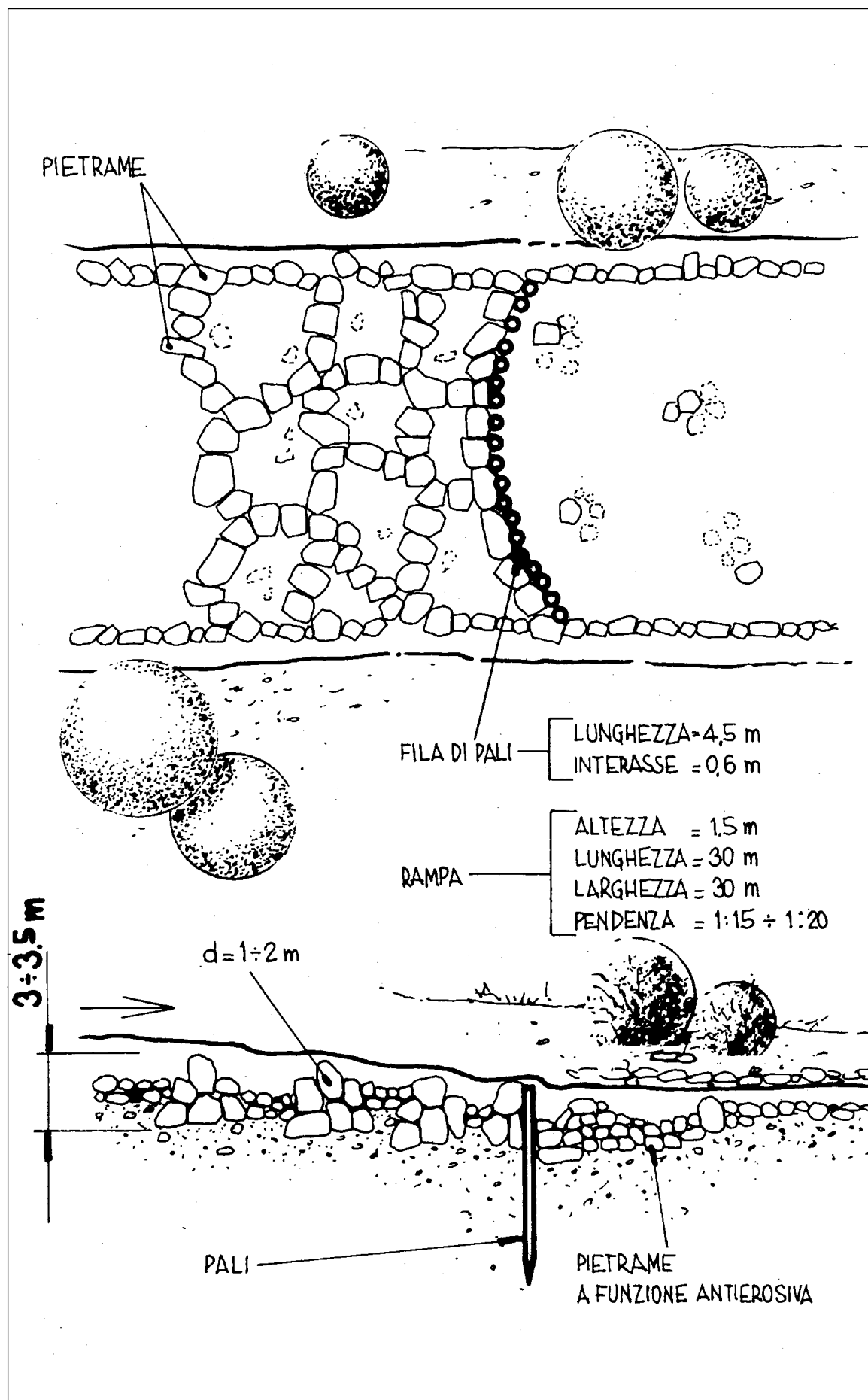


Fig. 14.74 - Rampe a blocchi

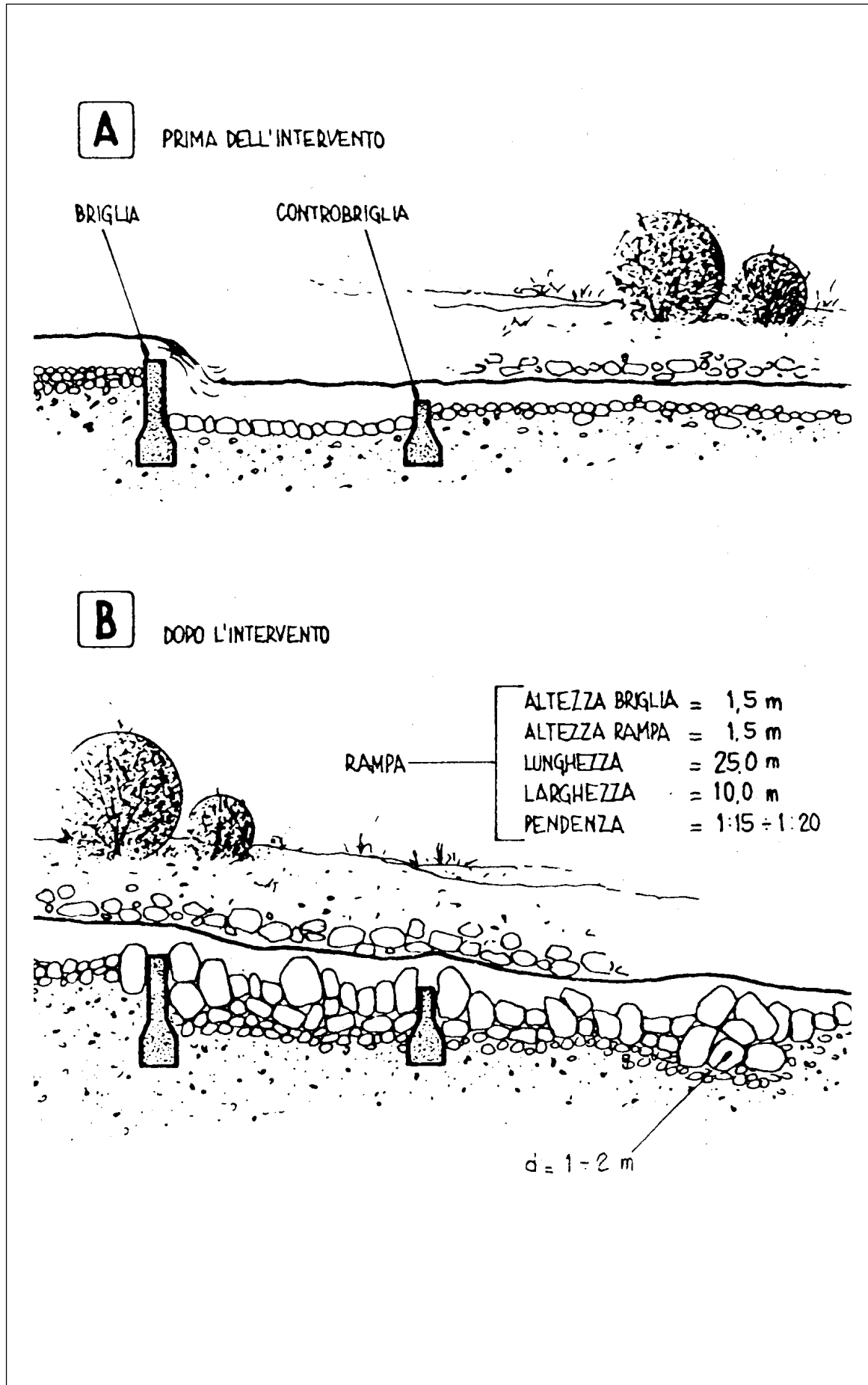
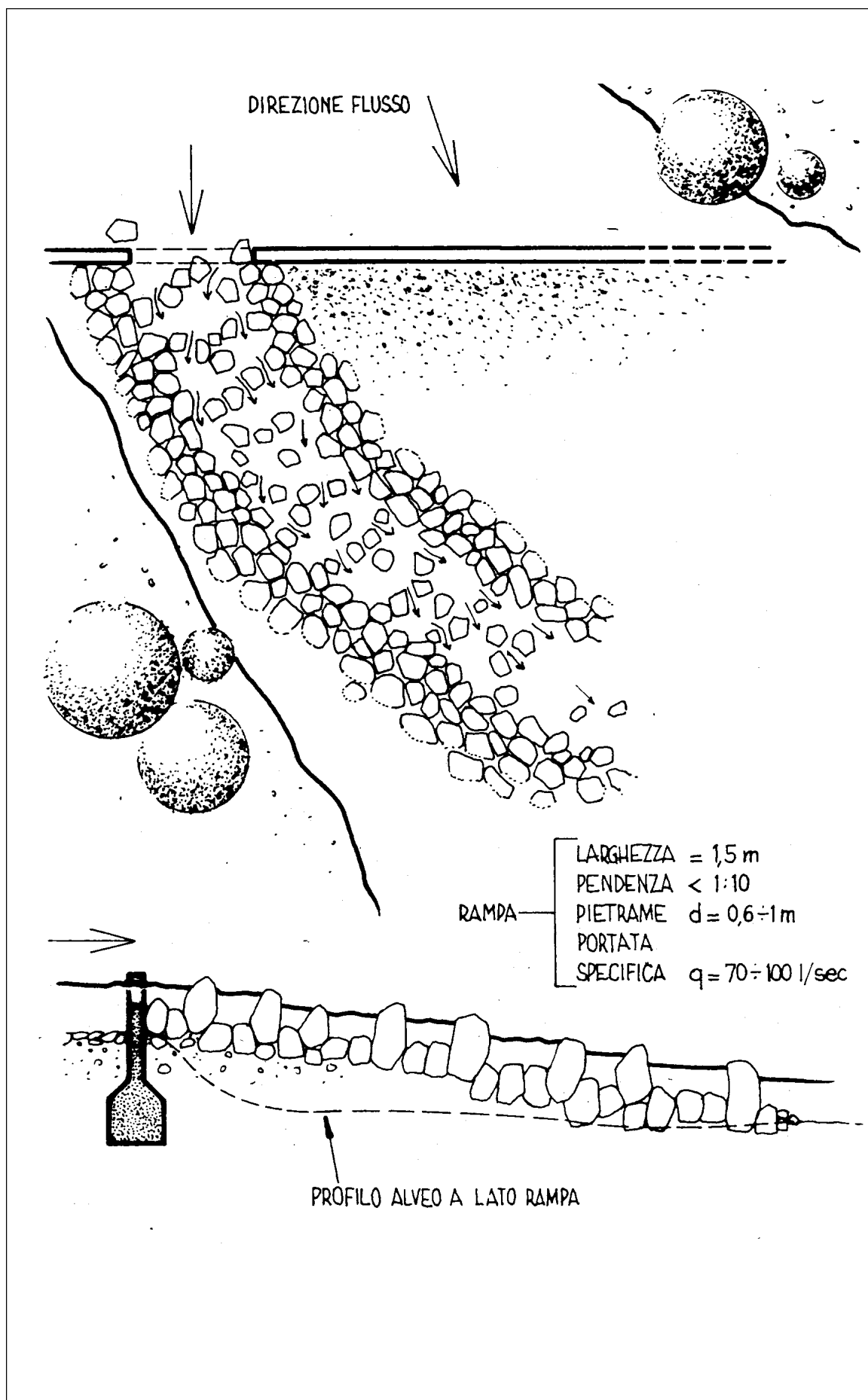


Fig. 14.75 - Rampe a blocchi

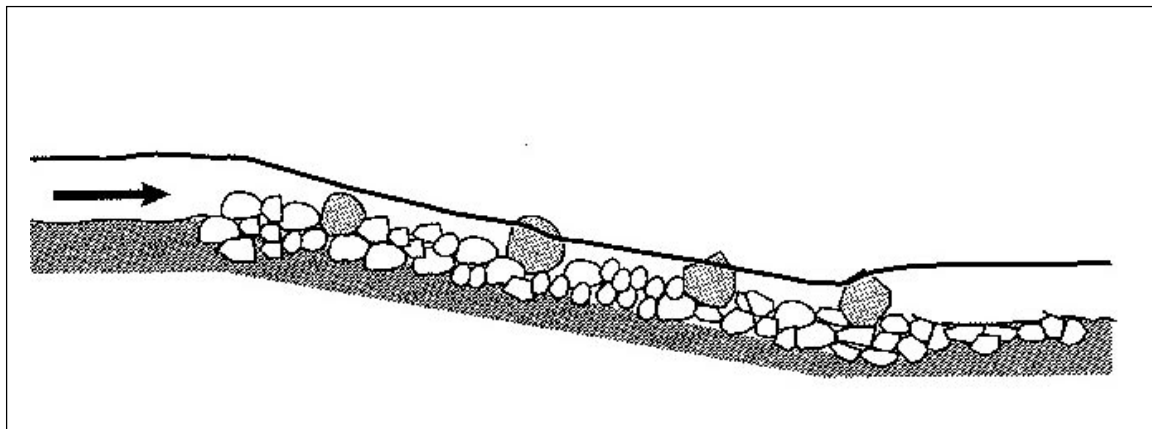


Tab. 14.44 - Scheda di approfondimento per le rampe: tipologie naturaliformi

Tipologia	Principi base	Misure* e deflussi	Campo d'impiego	Vantaggi e svantaggi	Efficacia
Rampa in pietrame	Realizzate su tutta la larghezza del corso d'acqua con caratteristiche di forte scabrezza; sono da preferire tipologie a scarsa densità di massi o intasate di ghiaia	b = larghezza dell'alveo  Pendenza < 1:15 (nel caso di pendenze maggiori realizzare l'opera con pendenze minori almeno nelle zone marginali  h > 0,2 m  q <sub>min</sub> 100 l/sec/m  Realizzazione multistrati  Necessita armatura prima della buca dopo rampa finale	Nel caso di dismissione di prese d'acqua o di sbarramenti trasversali in genere, quando è possibile rinunciare alla regolazione del livello dell'acqua  Nel caso di dismissione di salti di fondo troppo pendenti  Come armatura del fondo (soglia di fondo) per il controllo dell'erosione	Pericolo di disseccamento del tratto d'alveo durante il periodo di magra (in questo caso potrebbe rendersi necessaria la fugatura dei massi con cemento)  Tipologia economica, buon inserimento paesaggistico, costruzione naturaliforme.  Necessità manutentive minime  Nessun problema di reperimento del materiale e non necessità di deviazione d'alveo durante la realizzazione	Superabile in entrambe le direzioni da parte di tutta l'idrofauna  L'effetto di rigurgito a monte e di "buca" a valle permette il ripristino di velocità di deflusso tipiche del corso d'acqua e dei rapporti tipici con il substrato di fondo (deposizione e granulometrie)
Corsi d'acqua con tratto diversivo	Aggiramento dell'opera trasversale di trattenimento con la realizzazione di un corso d'acqua naturaliforme parallelo al deflusso in zona limitrofa	B = 1,2 m  H > 0,2 m  I < 1:20  Lunghezza possibilmente fino alla radice dell'opera trasversale di trattenimento  q <sub>min</sub> 100 l/sec/m	Adatta al superamento di tutte le tipologie di sbarramento e di altezza delle stesse, se è disponibile lo spazio.  Adatta anche nel caso di miglioramento di opere esistenti ed in esercizio  Non adatta nel caso di obiettivi multipli e diversi di trattenimento delle acque; in questo caso necessita un'opera di convogliamento delle acque	Costi contenuti, ma richiede spazio  Possono richiedere forti incisioni nei versanti e quindi combinazioni con altre tipologie d'opera; spesso sono necessari ponti o passaggi	Superabile da tutta l'idrofauna, habitat per specie di rheofili  Unica tipologia che permette anche il completo aggiramento dell'opera e della zona di trattenuta dell'acqua  Buon inserimento paesaggistico
Rampe di risalita per pesci	Realizzata nell'opera già esistente con la costruzione di una rampa scabra ed a minore inclinazione  La rampa può essere realizzata con gettata di massi con presenza di massi di disturbo o con rampe di fondo per la riduzione delle velocità di deflusso	B > 2,0 m  H > 0,3 fino 0,4 m  I = 1:20 o minore  q <sub>min</sub> 100 l/sec/m	Adatte per piccole differenze di quota fino a circa 3,0 m da realizzare su briglie rigide (in calcestruzzo) esistenti  Nel caso di molte briglie come sostituto nella forma di rampa appunto  Non impiegabile nel caso di obiettivi di livello d'acqua diversificati	Tipologie a volte costose, forti esigenze di sicurezza idraulica locale  Pericolo di disseccamento nei periodi di magra (in questo caso è necessaria la fugatura dei massi con cemento)  Buone capacità autopulenti nel caso di piena  Buona capacità di deflusso e convogliamento	Superabile in entrambe le direzioni da parte di tutta l'idrofauna

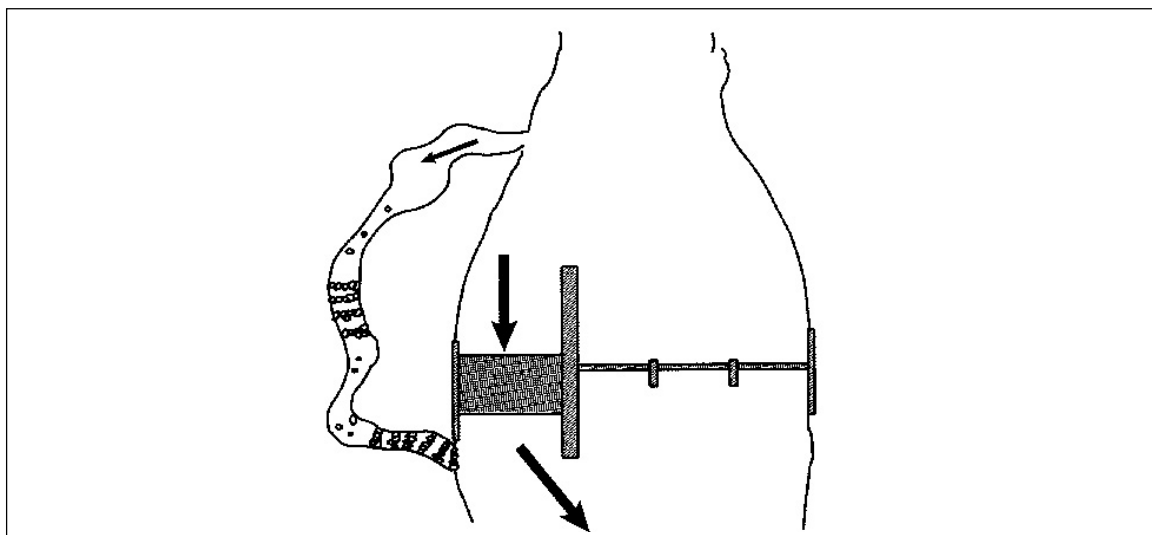
(\*) Le dimensioni indicate sono quelle minime.

**Fig. 14.76** - Tipologia 1: rampe in pietrame



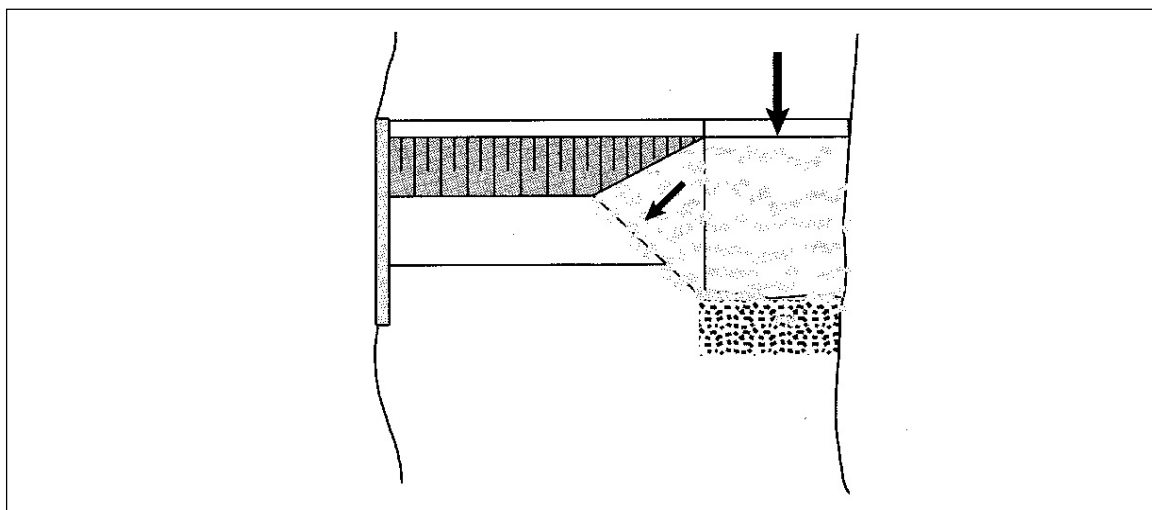
Fonte: *Fischaufstiegsanlagen – Bemessung, Gestaltung, Funktionskontrolle. Merkblätter zur Wasserwirtschaft*, 232/1996, DVWK, Bonn.

**Fig. 14.77** - Tipologia 2: corsi d'acqua con tratto diversivo



Fonte: *Fischaufstiegsanlagen – Bemessung, Gestaltung, Funktionskontrolle. Merkblätter zur Wasserwirtschaft*, 232/1996, DVWK, Bonn.

**Fig. 14.78** - Tipologia 3: rampe di risalita per i pesci



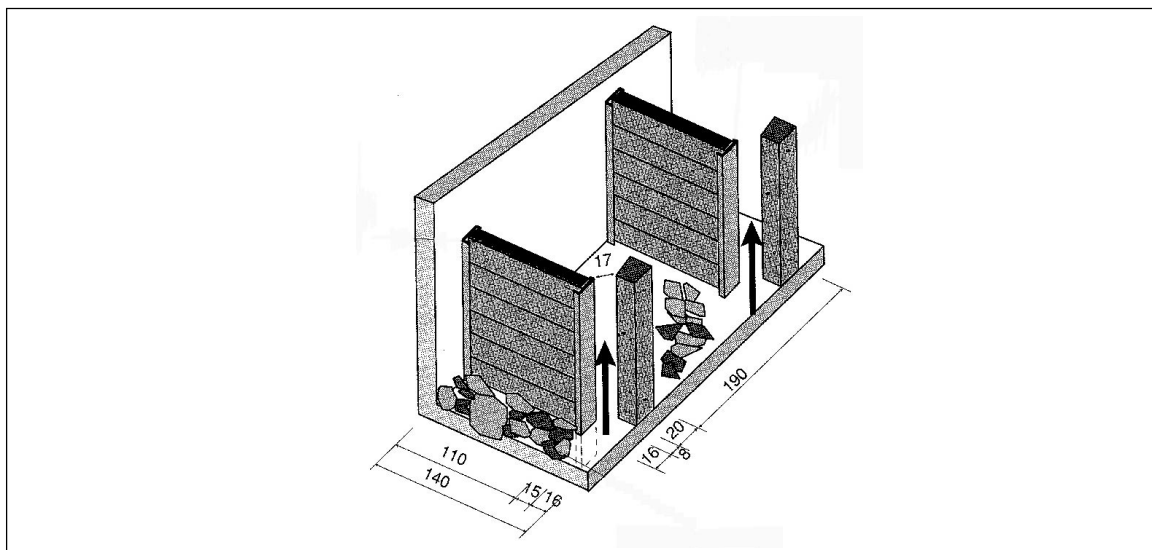
Fonte: *Fischaufstiegsanlagen – Bemessung, Gestaltung, Funktionskontrolle. Merkblätter zur Wasserwirtschaft*, 232/1996, DVWK, Bonn.

Tab. 14.45 - Scheda di approfondimento per le rampe: tipologie tecniche

Tipologia	Principi base	Misure* e deflussi	Campo d'impiego	Vantaggi e svantaggi	Efficacia
Scala di risalita con vasche con passaggi verticali	Sezione di deflusso in calcestruzzo con pareti divisorie (setti) di calcestruzzo o legno con uno o due tagli verticali su tutta l'altezza dei setti posti su uno dei lati alternativamente.	Sezione $l_b > 1,90$ m $b > 1,20$ m $h > 0,5$ m Grandezze delle fessure verticali: $s > 0,17$ m $Q = 140$ l/sec fino a diversi $m^3/sec$	Per piccoli e medi dislivelli; adatto anche nel caso di diversi livelli di portata come anche per piccoli fiumi o grandi corsi d'acqua.  Altezza minima del tirante d'acqua in condizioni di deflusso medio = 0,5 m	Deflussi relativamente alti e di conseguenza sono raggiungibili discreti flussi.  Grazie alla disposizione delle fessure a distanze ridotte si ottiene una maggiore garanzia d'efficacia rispetto ai convenzionali passaggi per pesci.	Allo stato delle conoscenze attuali tale tipologia risulta economica come tipologia tecnica, adatta per tutte le specie di pesci e nel caso di impianto di un sottofondo naturaliforme passante anche per invertebrati.
Scala di risalita a vasche con stramazzi	Sezione di deflusso in calcestruzzo con pareti divisorie (setti) di calcestruzzo o legno con fori e gavete di deflusso poste alternativamente sui due lati dei setti	Sezione: dimensioni dipendenti dalla regione idraulica di riferimento $l_b > 1,40$ m $b > 1,00$ m $h > 0,6$ m Fori: $b_g/h_s > 0,25/0,25$ m $Q = 80$ fino 500 l/sec	Per piccoli e medi dislivelli;  per vasche di ripopolamento e di itticoltura, per impianti idroelettrici	Deflusso contenuto; forti rischi a causa del trasporto di materiale fluitati galleggiante ed a causa del trasporto di limo	Per adeguate grandezze delle vasche e dei fori adatto per tutte le specie di pesci.  Nel caso di insufficiente deflusso pericolo di insufficiente flusso.
Scale di risalita con profili ad "U"	Sezione di deflusso in legno o calcestruzzo, con lamelle a forma di "U" disposte a 45° controcorrente di legno.	Sezione: $B = 0,6$ fino 0,9 m $H > 0,5$ m $l < 1:5$ $Q > 250$ l/sec Lunghezza della scala: 6-8 m Nel caso di dislivelli maggiori di 1,5-2 m è necessario inserire vasca di riposo	Adatta per piccoli dislivelli, in particolare per il risanamento di vecchie prese d'acqua per mulini e nel caso di scarse disponibilità di spazio per l'intervento.	Deflussi relativamente alti, non adatto nel caso di livelli idraulici oscillanti, scarsa necessità di spazio per l'intervento.  Costi contenuti.  Buona formazione di flusso.	Allo stato attuale delle conoscenze adatto per specie a basse prestazioni, per pesci di piccole dimensioni.  Agisce selettivamente.  Non utilizzabile e superabile per organismi del Benthon.

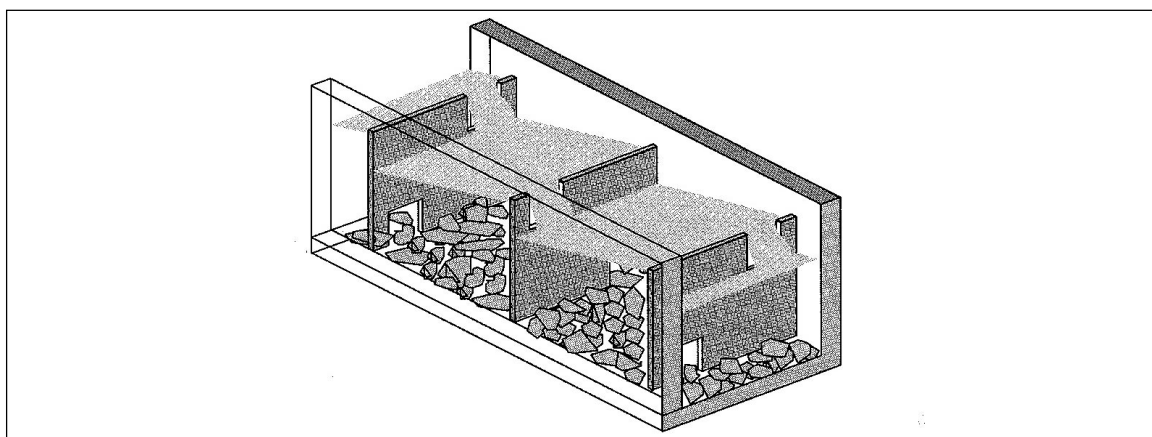
(\*) Le dimensioni indicate sono quelle minime.

**Fig. 14.79** - Tipologia 4: scala di risalita con vasche a passaggi verticali



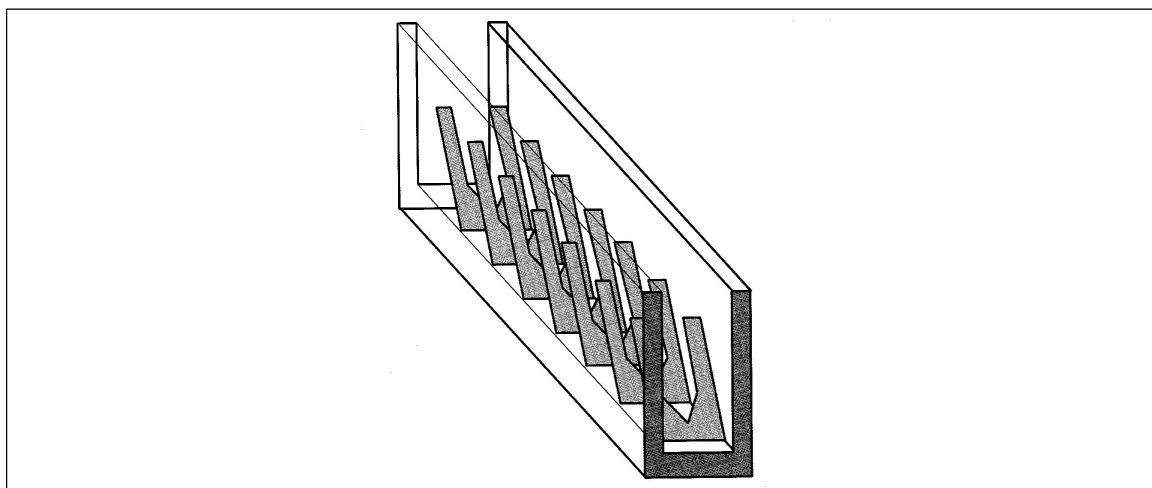
Fonte: *Fischaufstiegsanlagen – Bemessung, Gestaltung, Funktionskontrolle. Merkblätter zur Wasserwirtschaft*, 232/1996, DVWK, Bonn.

**Fig. 14.80** - Tipologia 5: scala di risalita a vasche con stramazzi



Fonte: *Fischaufstiegsanlagen – Bemessung, Gestaltung, Funktionskontrolle. Merkblätter zur Wasserwirtschaft*, 232/1996, DVWK, Bonn.

**Fig. 14.81** - Tipologia 5: scala di risalita con profili a "U"



Fonte: *Fischaufstiegsanlagen – Bemessung, Gestaltung, Funktionskontrolle. Merkblätter zur Wasserwirtschaft*, 232/1996, DVWK, Bonn.

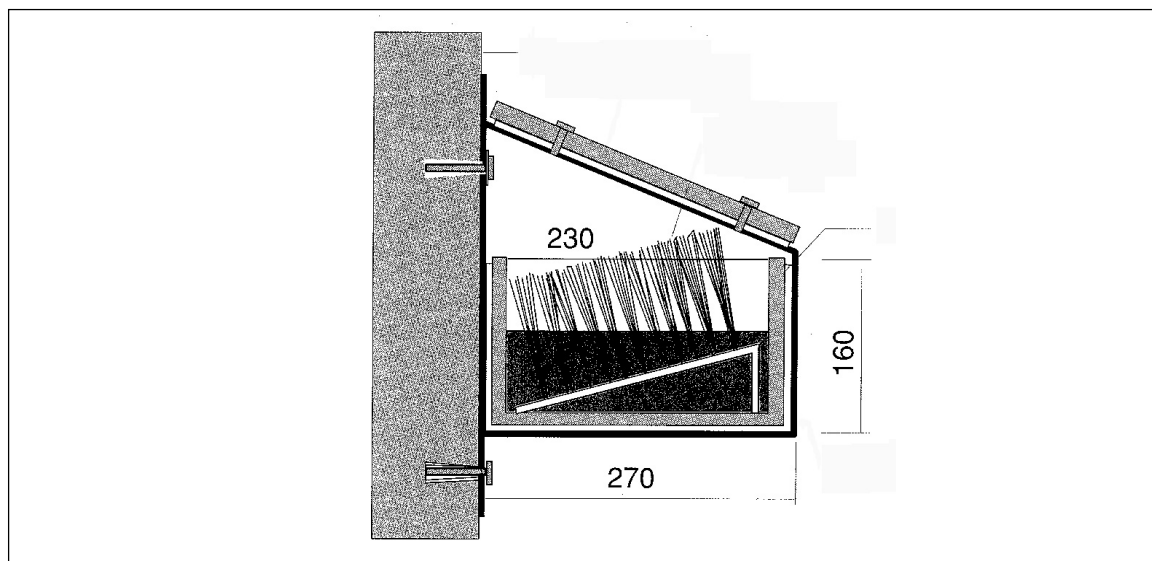
Tab. 14.46 - Scheda di approfondimento per le rampe: tipologie speciali

Tipologia	Principi base	Misure* e deflussi	Campo d'impiego	Vantaggi e svantaggi	Efficacia
Guida per i pesci	Piccole canalette con presenza di elementi verticali scopiformi.  Sottofondo in ghiaia che vengono permeati solo parzialmente.	Sezione B = 30 fino 50 cm  H = 15 fino 25 cm  Pendenza  circa 1:5 fino 1:10; possibili anche pendenze maggiori	Spesso impiegato come <i>by-pass</i> di bacino d'accumulo.	Costi di realizzazione contenuti.  Richiesta di spazio contenuta.  Deflussi minimi.	Adatta principalmente ad anguille.  I tubi non si sono mantenuti a causa degli intasamenti e della cattiva possibilità di manutenzione.  Come singolo elemento sono insufficienti per il mantenimento della continuità biotopica.
Chiuse per pesci	Camera a forma di pozzetto con chiusure laterali per i livelli di minima e massima.  Il flusso viene originato tramite pilotaggio delle chiuse o dei <i>by-pass</i>	Misure variabili  Larghezza minima delle camere e profondità minima analoga al passo del bacino.  Consumo d'acqua dipendente dalla grandezza delle camere, dal funzionamento della chiusa e dalla necessità di flusso.	Adatte per grandi dislivelli, per condizioni di scarso spazio e nel caso di ridotte disponibilità d'acqua.	Grande impiego di tecniche costruttive e di costruzioni.  Intensivi dal punto di vista della manutenzione e delle opere complementari di servizio.  Alti costi di costruzione e gestione.  Scarso consumo d'acqua.  Adatte nel caso siano presenti specie ittiche di grandi dimensioni.	Allo stato attuale delle conoscenze adatto per i salmonidi come anche per specie a basse prestazioni.  Meno adatte per specie di fondo e per specie di piccole dimensioni.
Ascensori per pesci	Vasca di trasporto con meccanismo di sollevamento meccanico per il sollevamento dei pesci dalla parte basale alla parte apicale.  Collegamento alla parte apicale tramite canale.  Il flusso viene originato tramite <i>by-pass</i>	Dimensioni variabili.  Dimensioni della vasca di trasporto da 2 a 4 m <sup>3</sup> .  Necessita di continuo deflusso tramite <i>by-pass</i> per originare un flusso.	Impiegabile nei casi come sopra e dove risulta essere l'unica possibilità d'inserimento di una scala di risalita per pesci.  Nel caso di quote maggiori di 10 m come nel caso di dighe di trattenuta.	Richiesta di spazio contenuta.  Grande impiego di tecniche costruttive e di costruzioni.  Intensivi dal punto di vista della manutenzione e delle opere complementari di servizio.  Alti costi di costruzione e gestione.	Allo stato attuale delle conoscenze adatto per i salmonidi come anche per specie a basse prestazioni.  Meno adatte per specie di fondo e per specie di piccole dimensioni.  Non adatte per macrozoobenthos e per discesa dei pesci.

\* Le dimensioni indicate sono quelle minime.

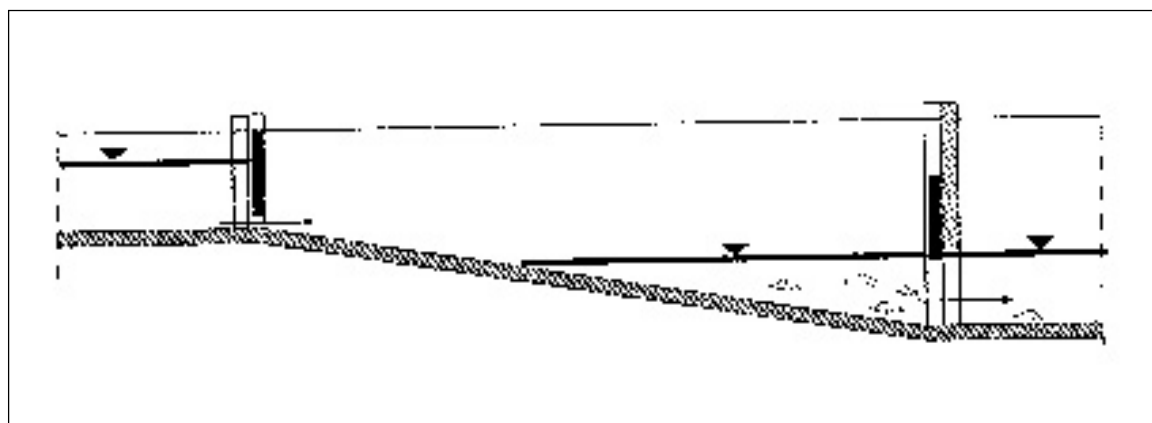


**Fig. 14.82** - Tipologia 7: guida per i pesci



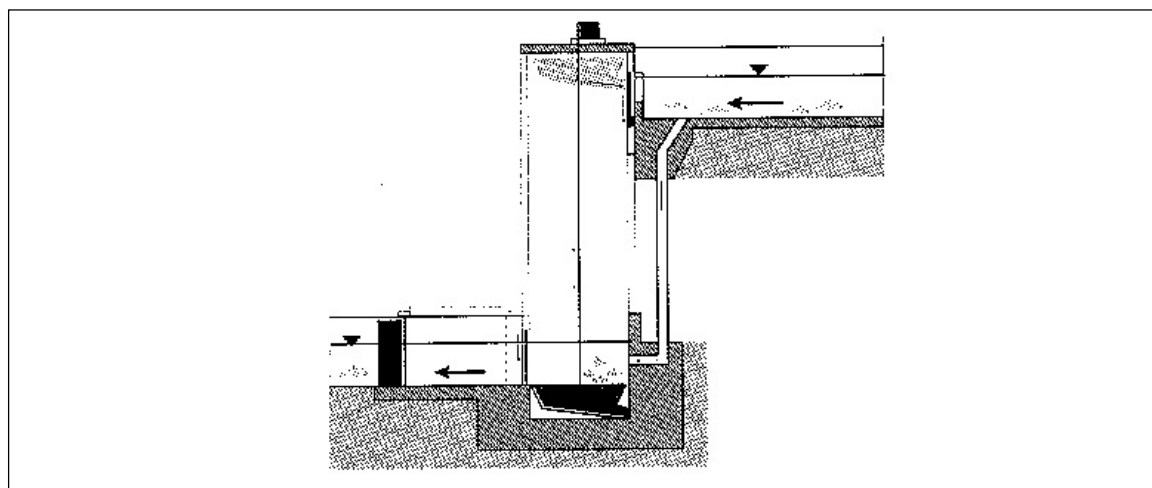
Fonte: *Fischaufstiegsanlagen – Bemessung, Gestaltung, Funktionskontrolle. Merkblätter zur Wasserwirtschaft*, 232/1996, DVWK, Bonn.

**Fig. 14.83** - Tipologia 8: chiuse per i pesci



Fonte: *Fischaufstiegsanlagen – Bemessung, Gestaltung, Funktionskontrolle. Merkblätter zur Wasserwirtschaft*, 232/1996, DVWK, Bonn.

**Fig. 14.84** - Tipologia 9: ascensori per i pesci



Fonte: *Fischaufstiegsanlagen – Bemessung, Gestaltung, Funktionskontrolle. Merkblätter zur Wasserwirtschaft*, 232/1996, DVWK, Bonn.

sostegno mediante tacche di ancoraggio e chiodi di ferro o nastri d'acciaio zincati. Se necessario, la fondazione dovrà essere consolidata da pali. Il rivestimento della vasca tra il corpo briglia e la controbriglia verrà realizzato con pietrame reperito in loco;

- riempimento della briglia con materiale drenante di ciottoli o ghiaia e terreno drenante costipabile, o pareggiato con dei sassi;
- eventuale posizionamento a tergo di geotessile per evitare sifonamenti;
- completamento della soglia durante il riempimento con deposizione fra i correnti di rami lunghi  $1,50 \div 2$  m, con capacità di propagazione vegetativa, e/o con talee di salice ( $1 \div 5$  pezzi/m), e/o con piante di latifoglie radicate. Per briglie di piccole dimensioni, si può alternare alle travi di legno vimate o fascinate vive, ben fissate al terreno di fondazione e ai pali di sostegno mediante picchetti di legno e legature metalliche.

#### *Effetti:*

- riduzione della pendenza di fondo;
- diminuzione della velocità della corrente;
- rallentamento dell'erosione del fondo.

*Campi di applicazione:* corsi d'acqua con deflusso minimo costante, per evitare cicli di disseccamento/imbibizione del legname ed aumentarne quindi la durabilità, caratterizzati da erosione di fondo e laterale con trasporto solido non eccessivo a livello di quantità e di dimensioni del materiale lapideo. Soprattutto in aree prive di viabilità ma con disponibilità di legname e pietrame.

*Modalità di dimensionamento e limiti di applicabilità:* si prevedono le seguenti verifiche principali, basate sulla quantificazione delle grandezze necessarie:

- stabilità strutturale e globale dell'opera;
- verifica idraulica (per i valori di portata significativa in condizioni di moto uniforme o permanente o vario, valutazione di livelli idrici, tensione tangenziale, velocità, ecc.);
- dinamica d'alveo (stabilità plano- altimetrica, capacità di trasporto e apporto solido);

Le dimensioni delle briglie in legname e pietrame devono mantenersi limitate (altezza massima della gaveta  $2,5 \div 3$  m) e sono da evitare in presenza di eventuali distacchi e/o rotolamenti di massi che ne danneggerebbero la struttura in legno.

Questo tipo di intervento non è consigliabile nel caso di corsi d'acqua difficilmente accessibili ai mezzi ed ubicati in aree nelle quali vi è la difficoltà a reperire legname di elevata durabilità (castagno, larice) e/o corsi d'acqua caratterizzati da trasporto solido di materiale di elevate dimensioni.

La briglia deve essere calcolata come manufatto a gravità, tenendo presente che il volume occupato dal legname sia pari a circa il  $15 \div 20$  % del volume totale.

Normalmente, per il dimensionamento, vengo-

no impiegati criteri empirici che fissano il rapporto tra spessore di base ed altezza dell'opera. La regola che stabilisce una misura di base pari a metà dell'altezza della briglia, nel caso in cui il manufatto risulti quasi completamente sommerso e l'ammorsatura laterale venga a mancare per effetto dell'erosione, non consente di ottenere stabilità al ribaltamento ed allo scivolamento. Appare pertanto più corretto ricorrere al criterio che assegna uno spessore di base pari al valore dell'altezza di progetto delle strutture; il rapporto spessore di base/altezza pari a 1 garantisce stabilità per gravità in molte situazioni critiche, anche in assenza, dunque, dell'apporto stabilizzante dell'ammorsatura.

Per ciò che riguarda le opere non drenanti, è bene prendere in esame anche l'eventuale necessità di mettere in opera tubi drenanti per ridurre la pressione idrostatica; al fine di aumentare efficacemente sia la stabilità al ribaltamento sia quella allo scivolamento potranno essere infissi nel terreno pali verticali attraversanti il corpo della briglia oppure piloti di ferro ancorati alla roccia, collegati alla struttura mediante cavi di acciaio serrati da morsetti. Se il terreno in cui è inciso l'alveo risulta poco stabile, occorre valutare, in fase di progetto, anche la possibilità che l'opera possa compiere dei movimenti verso il basso rispetto al terreno che ad essa applica la spinta. Questo fatto comporta effetti rilevanti sulla stabilità, dato che aumentano le sollecitazioni che tendono a far ribaltare l'opera e che l'attrito alla base della stessa diminuisce.

#### *Materiali impiegati:*

- pietrame di pezzatura 25 cm o superiore, reperito in loco o da cava di prestito;
- chiodi in ferro  $\varnothing 12 \div 14$  mm, lunghezza  $\geq 40$  cm;
- piloti in ferro  $\varnothing 24$  mm, lunghezza  $1,5 \div 3$  m;
- cavo in acciaio  $\varnothing 10$  mm;
- pali scortecciati in legname (castagno, larice, abete, pino), lunghezza  $2 \div 4$  m,  $\varnothing 20 \div 40$  cm;
- graffe metalliche lunghezza  $20 \div 30$  cm,  $\varnothing 8 \div 10$  mm.

*Modalità di esecuzione:* si opera uno scavo con mezzo meccanico o manuale, in leggera contropendenza per la parte della struttura da adibire a fondazione, e per le intestature laterali in relazione alle caratteristiche meccaniche dei terreni che costituiscono le sponde.

La costruzione del cassone di contenimento, che, per motivi di stabilità al ribaltamento, ha la parte in fondazione con dimensioni superiori, avviene mediante l'incastellatura dei pali in legname.

Generalmente, per un corretto dimensionamento, la profondità della fondazione e l'altezza del manufatto devono essere uguali. Si realizza la platea di posa (generalmente in pietrame) e, se necessario, la si prolunga verso valle a formare una platea di appoggio per evitare

lo scalzamento dell'opera da parte della lama stramazante.

I pali disposti in senso trasversale rispetto al verso della corrente vengono sormontati, con interasse di 150 cm circa, da quelli disposti in senso longitudinale.

L'unione tra i singoli elementi, al fini di assicurare la stabilità strutturale, avviene mediante chiodatura, con chiodi in ferro infissi in fori già predisposti a mo' di guida, eventualmente rinforzata da graffe metalliche.

La continuità tra due elementi disposti nel medesimo verso è prodotta sovrapponendo le parti terminali dei pali, opportunamente sagomate con tagli in diagonale (circa 45°) e, successivamente, con chiodatura tra gli stessi.

Le ali della struttura, al fine di impedire un eventuale danneggiamento per aggiramento laterale, devono penetrare nelle sponde dell'alveo in maniera accentuata. Nel procedere verso l'alto la struttura viene riempita con pietrame e materiale idoneo (si può utilizzare anche solo legname e, in tal caso, i pali sia trasversali che longitudinali vengono messi in posa accostandoli gli uni agli altri), sia con macchina operatrice che manualmente per le rifiniture, in modo tale che la struttura stessa non venga danneggiata e con deposizione fra i correnti di rami (lunghezza 1,5 ÷ 2 m) con capacità di propagazione vegetativa e/o talee e/o piante radicate. La gaveta viene rivestita con tondelli di legname, anche tagliati a metà secondo i diametri, disposti in senso longitudinale, fissati con chiodature ai corrispondenti pali della struttura. In alternativa potrà essere utilizzato il pietrame del riempimento dell'opera opportunamente sagomato e disposto razionalmente.

La platea di appoggio a valle dell'opera può es-

sere eseguita anche alla fine dei lavori. In genere si utilizzano massi di dimensioni abbastanza grandi da non essere trasportati dalla corrente.

#### Accorgimenti:

- se i pali vengono preventivamente scortecciati hanno maggiore durabilità.
- utilizzando pali con  $\varnothing$  massimo di 20 cm si può prevedere di realizzare l'opera senza l'ausilio di un escavatore per la movimentazione dei pali, che invece si rende indispensabile quando si utilizzano pali con  $\varnothing$  30 ÷ 40 cm.

#### Vantaggi:

- durata notevole, specialmente nel caso di corsi d'acqua con portata continua durante tutto l'anno;
- notevole capacità drenante nel primo periodo di funzionamento.

*Svantaggi:* ostacolo per la fauna ittica.

*Periodo di intervento:* durante il periodo di magra del corso d'acqua.

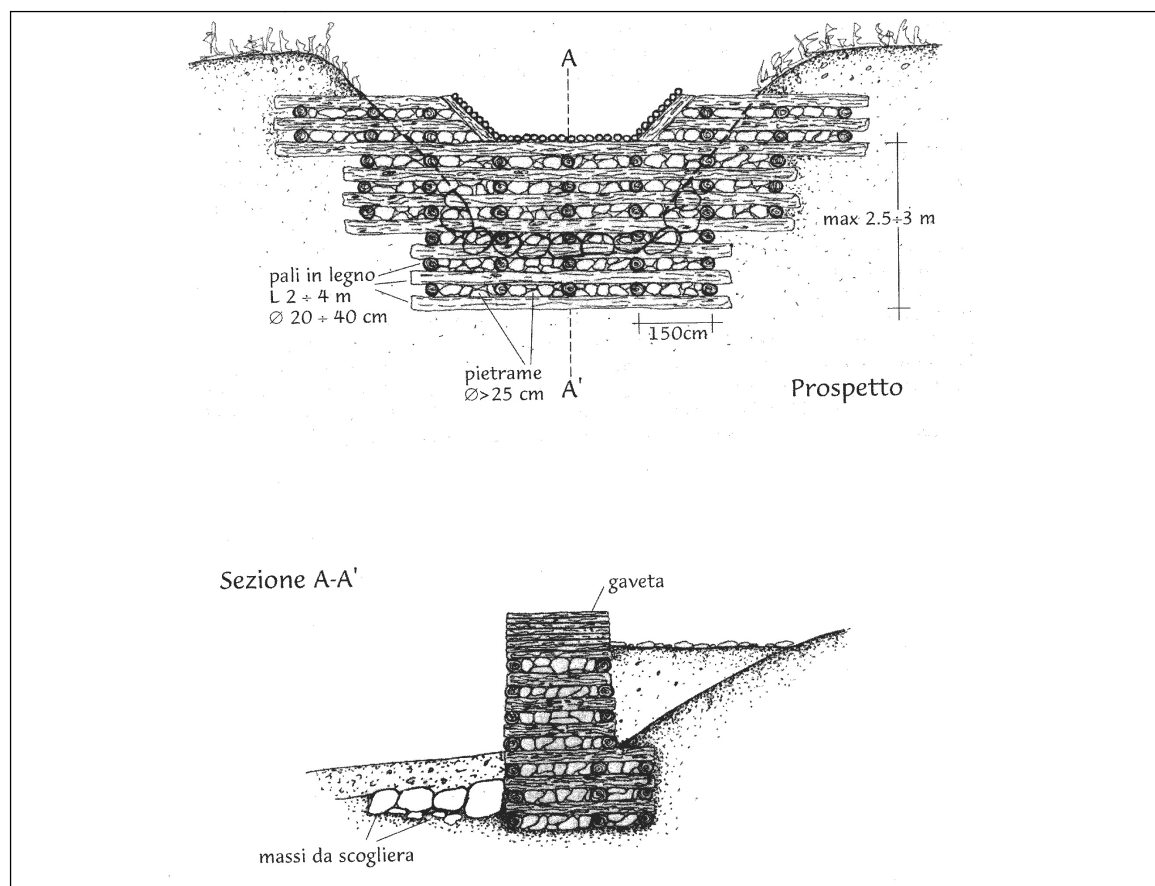
*Manutenzione:* l'intervento non necessita di una particolare manutenzione ordinaria. Solamente in caso di danneggiamenti si rendono necessari interventi di manutenzione straordinaria. L'opera nel suo insieme può raggiungere i 30 ÷ 40 anni di durata, se il corso d'acqua è caratterizzato da un deflusso minimo costante in grado di evitare cicli di disseccamento/imbibizione.

*Analisi prezzi:* si veda la **tabella 14.47**.

**Tab. 14.47 - Briglia in legname e pietrame: analisi prezzi**

Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
<i>a) Manodopera:</i>				
Operaio specializzato	Ora	0,00		
Operaio qualificato	Ora	1,00		
Operaio comune	Ora	0,70		
<i>b) Noli:</i>				
Autocarro	Ora	0,10		
Ragno meccanico	Ora	0,90		
Motosega a catena	Ora	0,30		
Generatore con trapano	Ora	0,06		
<i>c) Materiali:</i>				
Pietrame	Kg	60		
Legname scortecciato	m <sup>3</sup>	0,5		
Chiodi	cad	4		
Canbre	Kg	0,50		
Talee di salice	cad	20		
<b>Prezzo di applicazione</b>			<b>Euro/m<sup>2</sup></b>	<b>193,67 ÷ 201,42</b>
			<b>£/m<sup>2</sup></b>	<b>375.000 ÷ 390.000</b>

Fig. 14.85 - Briglie in legname e pietrame



Fonte: AIPIN Toscana, *Principi e linee guida per l'Ingegneria Naturalistica. Vol. 2. Sviluppo e applicazioni in Toscana.*

#### 14.3.14 Briglia in terra

**Funzioni:** consolidamento, regimazione e difesa idraulica in alveo.

**Descrizione:** opera di regimazione fluviale trasversale costituita da un rilevato in terra (fig. 14.86).

**Effetto:**

- riduzione della pendenza di fondo;
- diminuzione della velocità della corrente;
- rallentamento dell'erosione del fondo.

**Campi di applicazione:** regimazione di torrenti in scavo, in depositi prevalentemente argillosi o comunque a granulometria fine.

**Modalità di dimensionamento e Ambiti di applicabilità:** si prevedono le seguenti verifiche principali, basate sulla quantificazione delle grandezze necessarie:

- stabilità strutturale e globale dell'opera;
- verifica idraulica (per i valori di portata significativa condizioni di moto uniforme o permanente o vario, valutazione di livelli idrici, tensione tangenziale, velocità, ecc.);
- dinamica d'alveo (stabilità plano-altimetrica, capacità di trasporto e apporto solido);

- protezione del paramento di valle dall'erosione diffusa e/o incanalata.

Dal momento che il terreno più frequentemente impiegato è di natura prevalentemente argillosa, occorre dare alle scarpate del corpo briglia valori di inclinazione di scarpa piuttosto bassi (3:2 per il paramento di monte e 2:1 per quello di valle). Per lo stesso motivo anche l'altezza di tali manufatti è limitata. Per una regimazione complessiva del corso d'acqua il numero delle briglie necessarie è quindi superiore a quello di briglie di diversa tipologia costruttiva. Il rivestimento vegetale dello sfioratore limita gli ambiti di impiego a torrenti con portate poco elevate: perché ne sia garantita la conservazione, lo scivolo così rivestito deve avere una pendenza massima del 20% e la lama d'acqua tracimante non deve superare lo spessore di 30 cm. Le caratteristiche geotecniche delle terre impiegate possono essere conosciute attraverso apposite prove di laboratorio e, quindi, esiste la possibilità di calcolare con precisione il dimensionamento del manufatto ed effettuare una verifica di stabilità dell'insieme terreno-manufatto. Per il dimensionamento dello sfioratore è necessario conoscere i valori delle portate di massima piena del corso d'acqua, tenendo conto di un congruo numero di anni come tempo di ritorno.

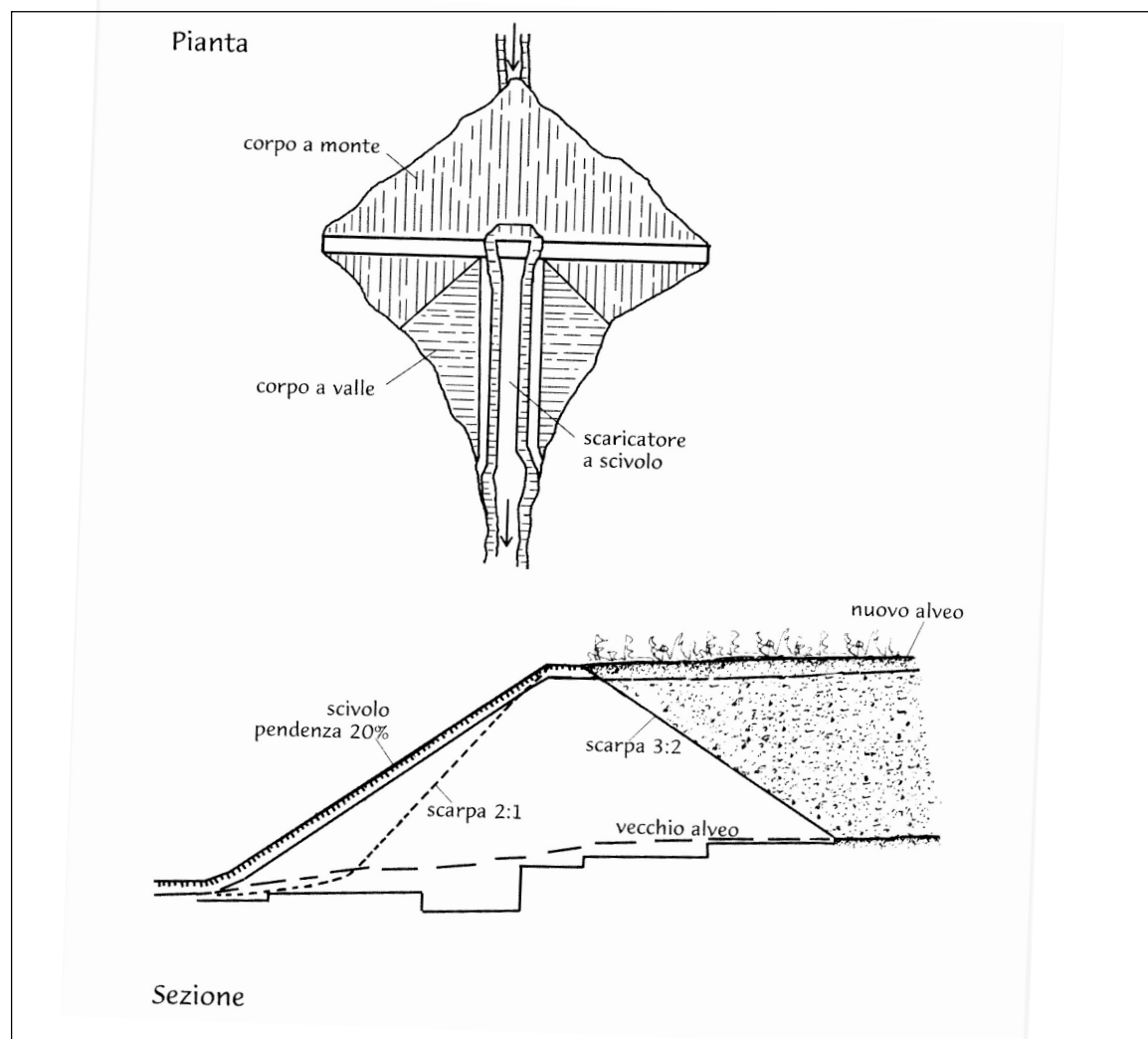
**Materiali impiegati:**

- terreno da reperirsi nelle vicinanze, granulometricamente simile a quello che costituisce il fondo ed i fianchi del tratto di corso d'acqua sul quale si va ad operare; qualora il terreno disponibile sia completamente costituito di argille, è possibile migliorarne le caratteristiche meccaniche "correggendolo" con l'aggiunta di percentuali di sabbia;
- ciottoli di dimensioni variabili per la formazione del drenaggio;
- talee e ramaglia viva per la costituzione del rivestimento dello sfioratore;
- picchetti di legno;
- materiali per idrosemina;
- supporto antierosivo biodegradabile, quando necessario.

**Modalità di esecuzione:** la briglia si realizza, previo scavo di fondazione che deve raggiungere terreno integro, stendendo il materiale terroso reperito presso cave di prestito nelle vicinanze dell'opera, in strati dello spessore di poche decine di cm e comprimendoli con particolari rulli compressor vibranti. Se il terreno è troppo asciutto va leggermente bagnato. La

quantità di acqua necessaria per migliorare le caratteristiche meccaniche delle terre utilizzate per la costruzione dell'opera può essere determinata attraverso opportune prove di laboratorio da effettuarsi su campioni del materiale terroso impiegato. Lo spessore al coronamento deve essere tale da permettere il passaggio dei mezzi meccanici. Al fine di abbassare la linea di saturazione all'interno del corpo della briglia si deve predisporre alla base del paramento di valle un drenaggio costituito da materiale incoerente. Particolare importanza riveste lo sfioratore (questa tipologia di briglia non è di fatto tracimabile, pena forti dissesti erosivi): oltre agli sfioratori classici in cemento armato, che pertanto non rientrano nelle tecniche dell'Ingegneria Naturalistica, possono essere realizzati canali di scarico centrali al corpo briglia, caratterizzati da un'inclinazione inferiore rispetto al paramento di valle della briglia. Il rivestimento dello scivolo viene realizzato con viminate vive di rami di specie legnose con capacità vegetativa, intrecciati, oppure con i rivestimenti di ramaglia. Il corpo della briglia (ali e paramenti) viene poi rivestito e protetto dall'erosione superficiale (mete-

**Fig. 14.86 - Briglie in terra**



orica) con semine di specie erbacee opportunamente selezionate in base al terreno di semina ed alle caratteristiche stazionali.

*Accorgimenti:* il rivestimento dello sfioratore deve essere fatto prima dei periodi di piena.

*Vantaggi:* si tratta dell'unico tipo di briglia veramente efficiente nella regimazione dei torrenti in scavo impostati in terreni a granulometria fine; l'uso della terra, in alternativa ai gabbioni, al pietrame oppure al cemento armato, oltre a determinare compressioni sul piano d'appoggio, fa sì che non si formi tra il corpo briglia ed i terreni di fondazione una superficie di discontinuità lungo la quale si possono innescare fenomeni di sifonamento e di aggiramento da parte della corrente. Una volta esaurita la loro funzione, dopo quindi il completo interramento, le briglie possono essere sopraelevate (Puglisi, 1968). Il rivestimento vegetale dello sfioratore ben si adatta agli assestamenti dell'ammasso terroso posto in opera, senza creare superfici di discontinuità, e quindi di debolezza, tra il corpo del manufatto ed il rivestimento stesso.

*Svantaggi:* sono necessari mezzi meccanici e di conseguenza devono essere previste piste di accesso al cantiere che in ambienti caratterizzati dall'affioramento di depositi argillosi possono risultare destabilizzanti. Lo scivolo necessita inoltre di una particolare e frequente manutenzione, dal momento che le specie vegetali impiegate devono essere costantemente "ringiovanite" per mantenere l'elasticità necessaria al passaggio dell'acqua.

*Periodo di intervento:* in genere si preferisce eseguire questa tipologia di opere durante i periodi di magra del corso d'acqua, dal momento che è più semplice effettuare deviazioni temporanee della corrente o sbarramenti a monte, necessari per una corretta esecuzione dei lavori. Per quello che riguarda invece le opere a verde si devono aspettare, per il rivestimento dello sfioratore, i mesi di riposo vegetativo (consigliabile, prima comunque dei periodi di piena) ed i mesi di ripresa della vegetazione per la semina.

*Manutenzione:* taglio frequente e selettivo della vegetazione che si sviluppa dalle opere di rivestimento dello sfioratore (che deve garantire il flusso delle portate di piena).

#### 14.3.15 Rullo di geotessile e rullo metallico spondali

*Funzioni:* consolidamento, regimazione idraulica in alveo.

*Descrizione:* opera di consolidamento, elastica, permeabile che aumenta la stabilità della sponda. Può essere posta al piede di altre opere (fig. 14.87).

*Descrizione da voce di capitolato:*

- in georete sintetica;
- in rete metallica.

In analogia al punto precedente potranno venire realizzati rulli in geotessuto sintetico riempiti di *tout-venant* ghiaioso o terroso abbinati a ramaglia viva e morta di salici o altre specie con analoghe proprietà vegetative, disposta a sostegno come sottofondo al rullo e internamente ad esso nella parte periferica inferiore e superiore.

La lavorazione prevede:

- scavo di un basamento in contropendenza al piede della sponda;
- disposizione di ramaglia trasversalmente alla linea di flusso;
- stesura della rete zincata o del geotessile in teli larghi 2 ÷ 4 m e lunghi secondo necessità;
- rivestimento con ramaglia, ricarico del materiale da riempimento;
- copertura con ulteriore strato di ramaglia;
- chiusura a rullo e cucitura con filo di ferro (diametro minimo 2 mm) con eventuale ausilio di mezzi d'opera per diametri vicini ad 1 m;
- fissaggio del rullo mediante pali d'acciaio di 1 ÷ 3 m di lunghezza e Ø 16 ÷ 22 mm, battuti attraverso il rullo.

La variante in rete metallica potrà essere applicata solo in presenza di inerte ghiaioso di riempimento di diametro superiore a 80 ÷ 120 mm.

La difesa in rullo e ramaglia verrà attuata su fondali limosi e fangosi che male sopportano i carichi (ad esempio, scogliera) e con fondi movimentati.

La collocazione avverrà nel periodo di riposo vegetativo e in modo che la ramaglia di base non si trovi sott'acqua per oltre tre mesi in tale periodo.

*Effetto:* i rulli favoriscono la sedimentazione del materiale trasportato dalla corrente aumentando la stabilità della sponda.

*Campi di applicazione:* il loro utilizzo in ambito fluviale varia in funzione delle valutazioni relative alla forza di trascinamento del livello medio dell'acqua. In genere si utilizzano per il consolidamento di tratti di sponda in erosione di corsi d'acqua a bassa pendenza o laghi con limitate oscillazioni del livello dell'acqua e trasporto solido abbastanza fine (limi in sospensione), su substrati sabbioso-limosi debolmente ghiaiosi che sopporterebbero male carichi maggiori (ad esempio, scogliera).

Consolidamento di canneti e vegetazione spondale arborea o arbustiva.

*Modalità di dimensionamento e limiti di applicabilità:* si prevedono le seguenti verifiche principali, basate sulla quantificazione delle grandezze necessarie:

- stabilità strutturale e globale dell'opera;
- verifica idraulica (per i valori di portata si-

gnificativa in condizioni di moto uniforme o permanente o vario, valutazione di livelli idrici, tensione tangenziale, velocità, ecc.);

- dinamica d'alveo (stabilità plano-altimetrica, capacità di trasporto e apporto solido);
- stabilità del pendio (in diverse condizioni di carico e di drenaggio);
- difficoltà d'esecuzione in corsi d'acqua con pendenze d'alveo accentuate, trasporto solido grossolano e velocità elevate della corrente.

#### Materiali impiegati:

- *geotessuto*: biostuoie di juta o cocco, reti di materiale sintetico, gabbioni cilindrici in metallo zincato di varie forme e spessori del filo.
- talee di salici arbustivi o arborei;
- filo di ferro per legature:  $\varnothing 2, 3$  mm;
- picchetti di legno o di ferro;
- pietrame nel caso si utilizzino i rulli come protezione al piede di altre opere.

**Modalità di esecuzione:** lungo la sponda da proteggere si conficcano pali di legno opportunamente dimensionati ed intercalati in funzione del substrato e dello sforzo.

Sul retro dei pali viene realizzato un fossetto (dimensioni minime 40 x 40 cm) che servirà per la costruzione del rullo. Successivamente si posiziona la rete del materiale scelto (biostuoia, geostuoia, rete metallica) e si costipano il fondo e le pareti con materiale proveniente dallo scavo.

Si procede al riempimento con pietrame, pietrisco, ghiaia grossa, materiale vegetale morto, terra di scavo per i 2/3 inferiori.

Se il materiale di riempimento è fine (pezzatura < 80 ÷ 120 mm) la rete va rivestita di con un geotessuto filtrante o in fibra vegetale o va adottata la georete sintetica.

Sopra si posizionano le talee vive o i culmi di

canna (se sono con pane si dovrà prestare attenzione a non rovinare la zolla di terra).

Il posizionamento delle piante dovrà tenere conto delle caratteristiche delle specie utilizzate, per esempio la *Typha latifolia* dovrà essere posizionata appena sotto il livello medio dell'acqua mentre la *Typhoides arundinacea* dovrà essere posizionata leggermente più in alto.

Al termine delle operazioni si chiude saldamente il rullo con il filo di ferro ed il rullo stesso dovrà sporgere leggermente (5 ÷ 10 cm) dal livello medio dell'acqua.

**Accorgimenti:** in caso di utilizzo di rulli in rete zincata in acque salmastre è necessario prevederne la plastificazione.

#### Vantaggi:

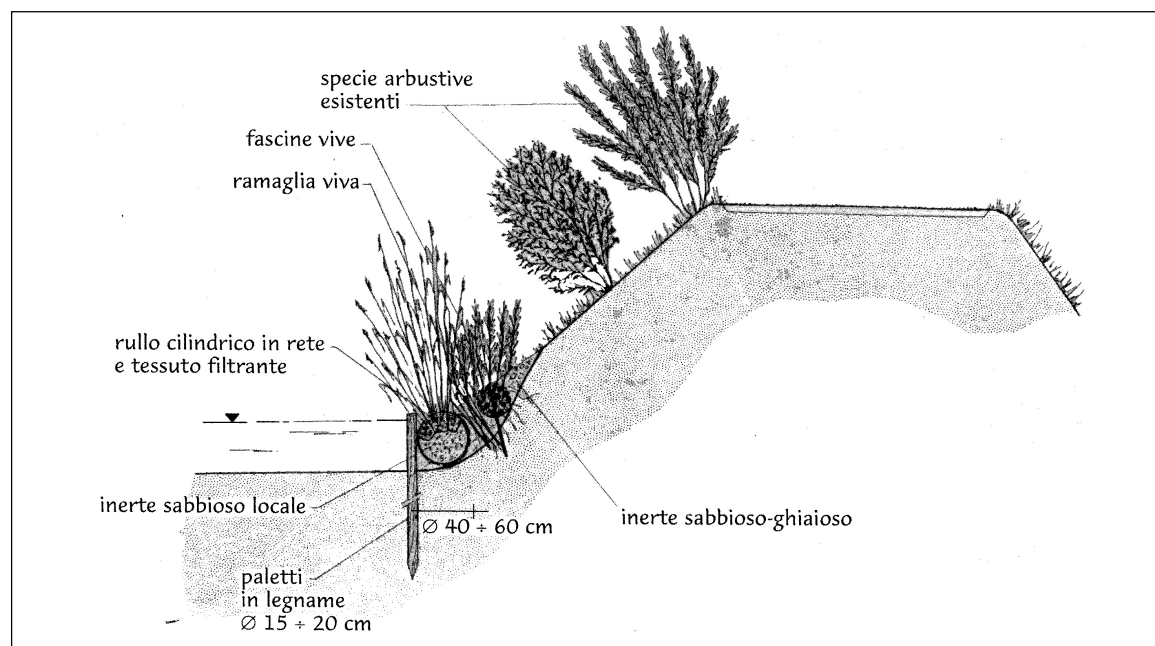
- reperimento dei materiali in zona, semplice esecuzione del lavoro;
- azione protettiva immediatamente dopo l'impianto.

**Svantaggi:** se si utilizzano culmi o zolle di canna e talee si restringe molto il periodo di possibile impiego. Il pietrame per il riempimento delle gabbionate può non essere reperibile localmente.

**Periodo di intervento:** è necessario eseguire i lavori durante il periodo di riposo vegetativo. In caso di interventi in ambiti fluviali il periodo è vincolato dal livello del corso d'acqua.

**Manutenzione:** controllare durante il primo anno per interventi sulla struttura e sulle fallanze delle talee, successivamente taglio se necessario.

Fig. 14.87 - Rullo di geotessile e rullo metallico spondali



## 14.3.16 Scogliera viva

*Descrizione dell'opera e funzioni principali:* la scogliera in massi, rinverdita, è un'opera di difesa spondale longitudinale realizzata con grossi massi e disposta quindi parallelamente al corso della corrente con la superficie lato fiume inclinata in modo tale da conferire all'alveo una sezione a forma trapezia. Negli spazi tra masso e masso vengono inseriti astoni di salice o di altre specie dotate di analoghe capacità biotecniche che, radicando, permettono la stabilizzazione della struttura arginale. Devono possedere fondazioni profonde per evitare che la forza della corrente in prossimità del piede possa scalzarle alla base (figg. 14.88-14.92).

*Descrizione da voce di capitolato:* formazione di scogliera in grossi massi ciclopici rinverdita, di rivestimento e difesa di scarpate spondali, realizzata mediante:

- sagomatura dello scavo, regolarizzazione del piano di appoggio con pendenza non superiore a 2/3;
- eventuale stesa di geotessile sul fondo di peso non inferiore a 400 g/m<sup>2</sup> con funzione strutturale di ripartizione dei carichi e di contenimento del materiale sottostante all'azione erosiva;
- realizzazione del piede di fondazione con materasso o taglione (altezza di circa 2 m e interrimento di circa 1 m al di sotto della quota di fondo alveo) in massi, ad evitare lo scalzamento da parte della corrente e la rimobilitazione del pietrame in elevazione. Il materasso di fondazione deve essere realizzato prevedendo eventuali soglie di consolidamento costruite sempre con grossi massi, o anche con la realizzazione di piccoli repelenti;
- realizzazione della massicciata in blocchi di pietrame per uno spessore di circa 1,50 m, inclinati e ben accostati, eventualmente intasati nei vuoti con materiale legante (al di sotto della linea di portata media annuale) oppure legati da fune d'acciaio. I blocchi devono avere pezzatura media non inferiore a 0,4 m<sup>3</sup> e peso superiore a 5 ÷ 20 q, in funzione delle caratteristiche idrodinamiche della corrente d'acqua e della forza di trascina-mento. Le pietre di dimensioni maggiori vanno situate nella parte bassa dell'opera. Nel caso che il pietrame venga recuperato nell'alveo, è necessario fare in modo che non venga alterata eccessivamente la struttura fisica dello stesso (dimensione media del pietrame di fondo, soglie naturali, pendenza);
- impianto durante la costruzione di robuste talee di salice, di grosso diametro, tra le fessure dei massi (al di sopra della linea di portata media annuale), poste nel modo più irregolare possibile. In genere vanno collocate 2 - 5 talee/m<sup>2</sup>, e su aree soggette a sollecitazioni particolarmente intense (ad esempio, sponda di torrenti con trasporto solido) da 5 a 10 talee/m<sup>2</sup> e di lunghezza tale (1,5 ÷ 2 m)

da toccare il substrato naturale dietro la scogliera. I vuoti residui devono essere intasati con inerte terroso. Il dilavamento del terreno nelle fessure poste al di sotto della linea di portata media annuale può essere diminuito o anche eliminato con l'inserimento di stuoie vegetali.

*Campi di applicazione:* viene utilizzata in alvei torrentizi e fluviali, per corsi d'acqua con notevole trasporto solido e alta velocità della corrente. Per la protezione di sponda dall'erosione della corrente, per ampliamento delle sezioni idriche, per ridurre il rischio di esondazione e anche come difesa al piede di riprofilature e ricariche di versante.

*Fattibilità:* la scogliera è da realizzarsi preferibilmente utilizzando materiali reperiti in loco.

*Materiali impiegati:*

- massi ciclopici di volume compreso tra 0,5 ÷ 1 m<sup>3</sup>;
- eventuali funi di acciaio e tasselli di ancoraggio opportunamente dimensionati in funzione delle caratteristiche idrodinamiche della corrente e della forza di trascinamento;
- talee a piantine di specie riparie arbustive ed arboree (in particolare salici a portamento arbustivo e ridotto sviluppo).

*Modalità di esecuzione:*

- realizzazione della fondazione mediante la posa di massi ciclopici oppure con un taglione in calcestruzzo di profondità idonea al fine di evitare lo scalzamento da parte della corrente e la rimobilizzazione del pietrame costituente il corpo in elevazione;
- messa in opera dei massi posizionando in basso quelli di dimensione maggiore. I massi possono essere ancorati tra loro mediante funi di acciaio e fissati alle sponde (se in roccia) oppure a piloti infissi nell'alveo. I punti di ancoraggio sui massi si realizzano mediante perforazione e posa di tasselli o barre con occhietto. Il dimensionamento dei tasselli e delle funi è da calcolarsi in base alle sollecitazioni attese per eventi di massima piena.
- inserimento di talee e piantine tra gli elementi della scogliera. La quantità da inserire per m<sup>2</sup> è in funzione delle dimensioni dei massi utilizzati (orientativamente 2 ÷ 10 talee m<sup>2</sup>): se i massi sono di piccola dimensione si dovrà utilizzare una quantità maggiore di talee;
- l'inserimento delle talee e delle piantine tra i massi va realizzato preferibilmente in contemporanea alla costruzione della scogliera. In questo modo si possono utilizzare talee od astoni di maggiore lunghezza (200 ÷ 250 cm) che potranno radicare in profondità a tergo della scogliera (scogliere di tipo chiuso);
- è possibile inserire le talee o le piantine successivamente alla formazione della scogliera mediante operazioni manuali di intasamento con terra dei vuoti presenti tra i massi (scogliera di tipo aperto) ed eventuali perforazioni;



- le talee, tagliate obliquamente in basso, devono essere messe a dimora nel verso di crescita (in basso la parte inferiore più grossa) e con disposizione perpendicolare al piano scarpato.

Le talee vengono infisse nel terreno con una mazza di legno o con copritesta in legno. Nei terreni molto compatti i fori vengono praticati in precedenza.

Le talee devono sporgere al massimo per un quinto della loro lunghezza adottando, se necessario, un taglio netto di potatura dopo l'infissione;

- la realizzazione di scogliere di tipo chiuso preserva eventuali sradicamenti del materiale messo a dimora da eventi eccezionali

di piena immediatamente successivi alla posa. Per prevenire lo sradicamento nei manufatti di tipo aperto è consigliabile la posa di fasci di talee che permettono una maggiore resistenza.

*Interventi collegati:* tutti gli interventi di Ingegneria Naturalistica relativi alla protezione dei versanti ed alla profilatura e stabilizzazione dell'alveo.

*Prescrizioni:*

- l'inserimento di talee dovrà avvenire preferibilmente durante la fase di costruzione;
- le talee dovranno essere passanti la struttura, in modo da toccare il terreno retrostante.

Tab. 14.48 - Scogliera viva: analisi prezzi

Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
<i>a) Manodopera:</i>				
Operaio specializzato	Ora	0,00		
Operaio qualificato	Ora	0,20		
Operaio comune	Ora	0,20		
<i>b) Noli:</i>				
Pala caricatrice articolata	Ora	0,30		
<i>c) Materiali:</i>				
Pietrame	Kg	2.600		
Inerte terroso-sabbioso	m <sup>3</sup>	0,1		
Talee	cad	5		
Prezzo di applicazione			Euro/m <sup>2</sup>	72,3 ÷ 82,63
			£/m <sup>2</sup>	140.000 ÷ 160.000

Fig. 14.89 - Scogliera viva

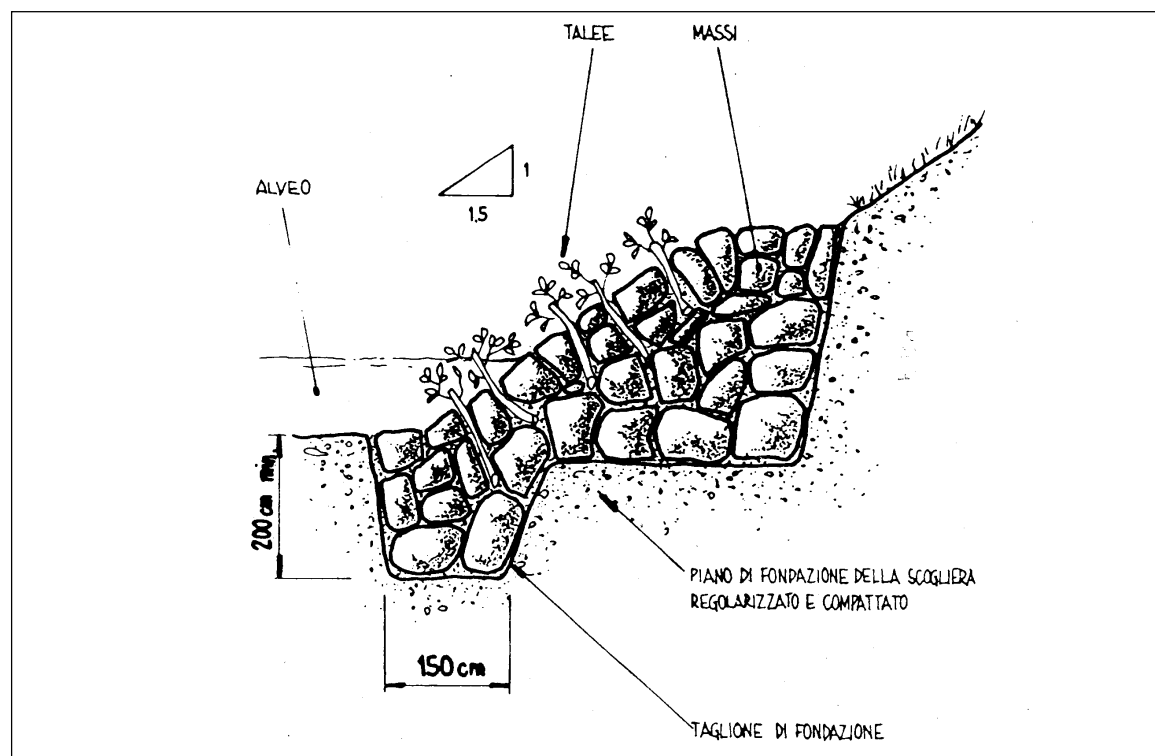


Fig. 14.90 - Scogliera viva

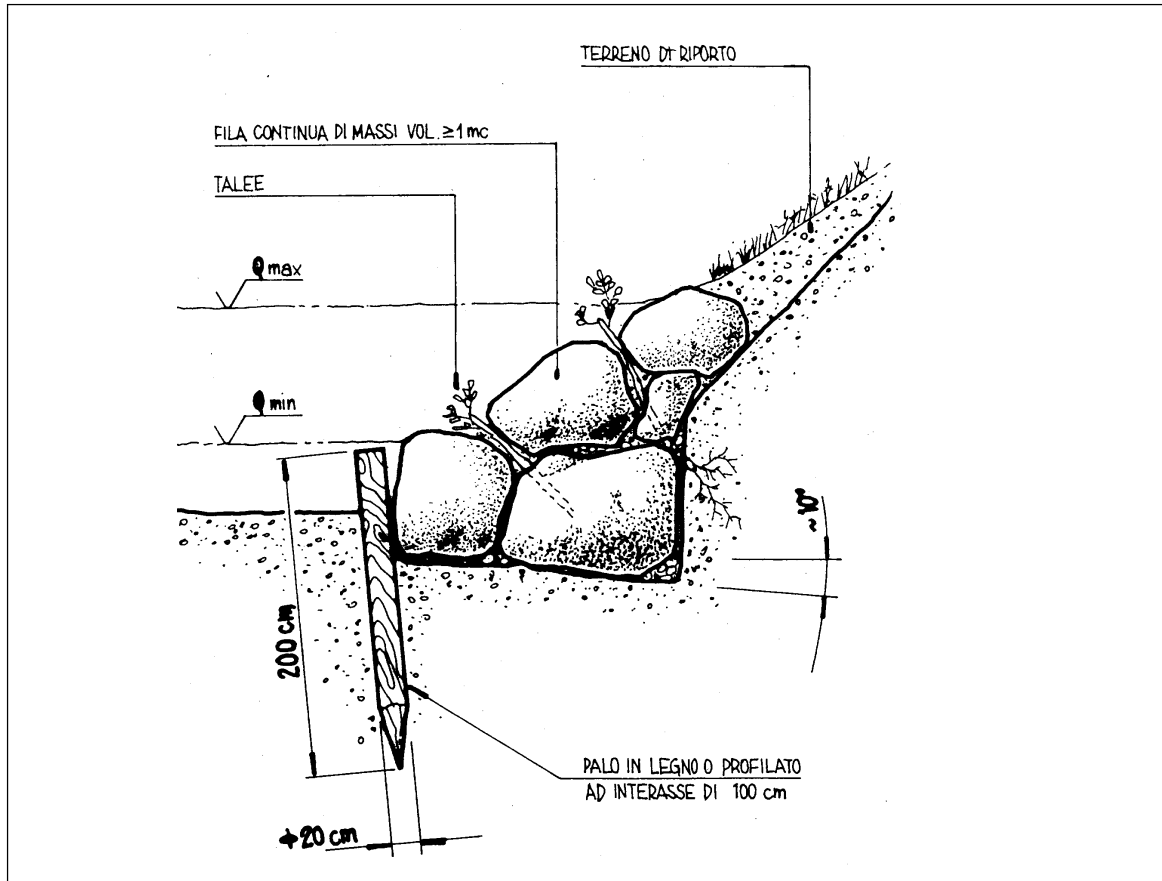


Fig. 14.91 - Scogliera viva

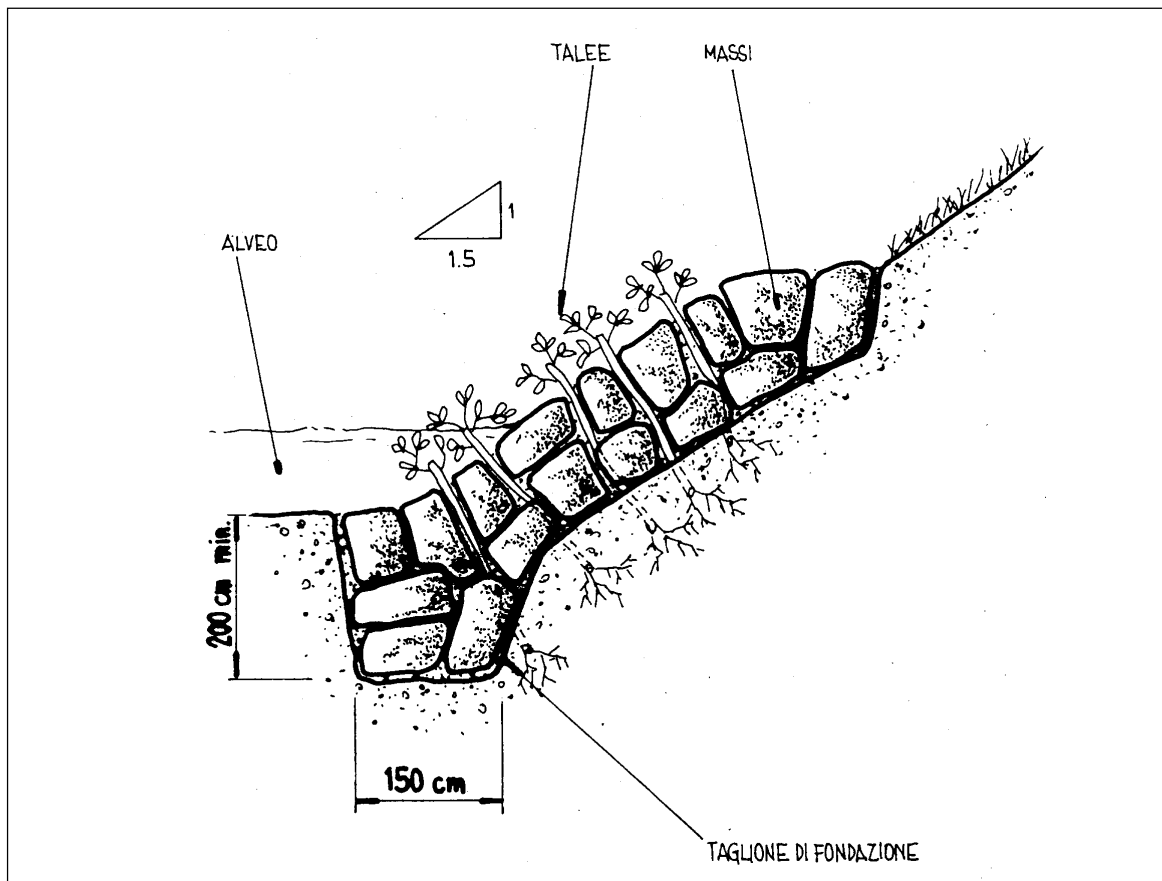


Fig. 14.92 - Scogliera viva: sezioni di scogliere tipo chiuso e aperto

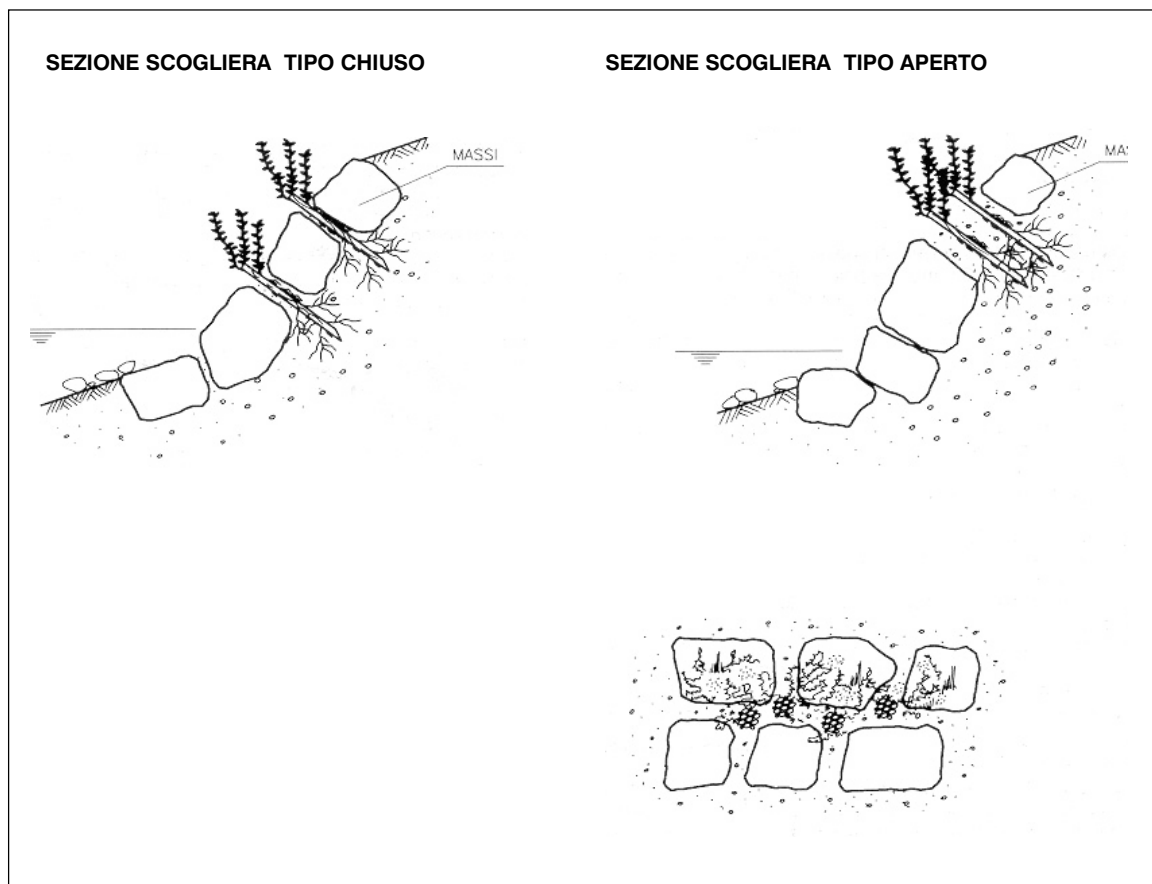
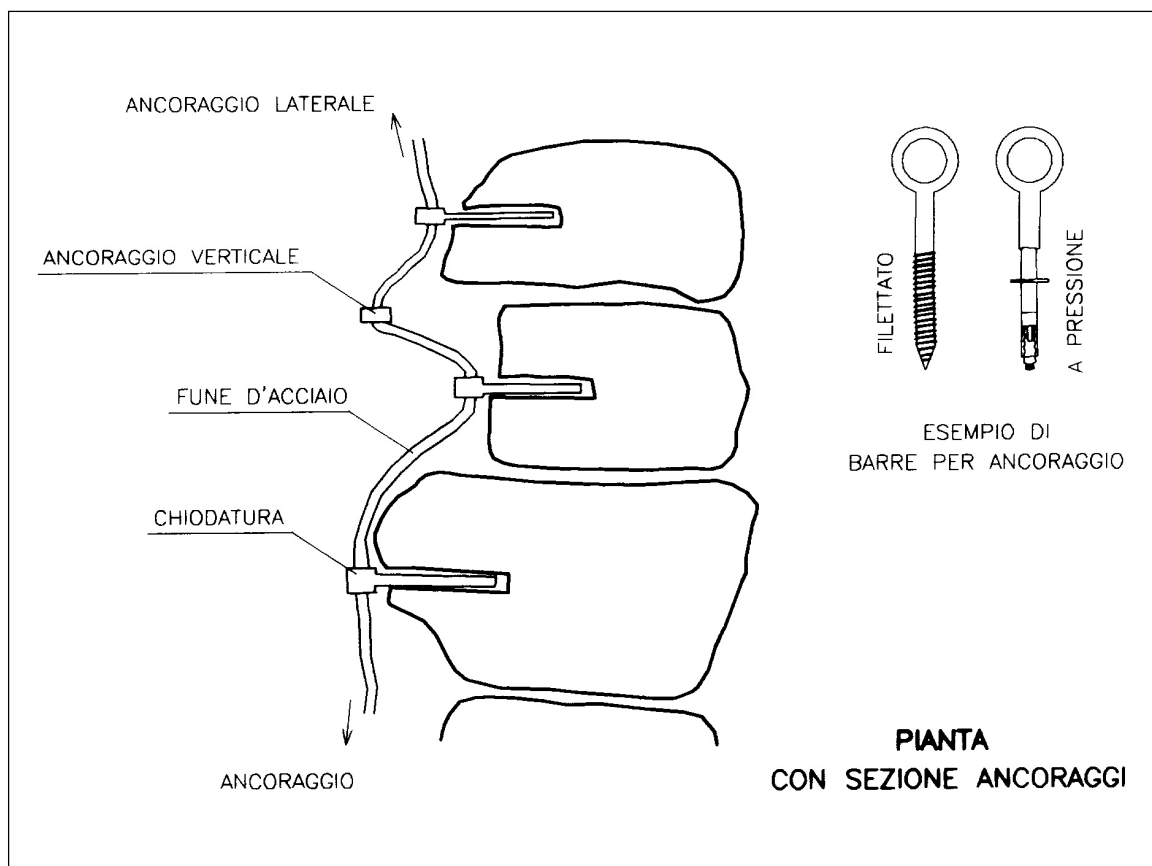


Fig. 14.93 - Scogliera viva: fissaggio al piede con scogliera elastica



**Vantaggi:**

- tecnica veloce e poco dispendiosa;
- opera massiccia con effetto protettivo immediato;
- una volta radicate, le talee aumenteranno l'effetto ancorante dei massi al terreno;
- i massi favoriscono la sedimentazione di materiale fine;
- ridotta attività di manutenzione;
- creazione di zone protette per i pesci;

**Svantaggi:**

- elevata percentuale delle fallanze (fino all'80%);
- tecnica difficilmente applicabile, in caso di cantieri poco accessibile ai mezzi di trasporto per i massi;
- eventuali costi elevati per i mezzi meccanici;
- la radicazione delle piante al suolo non è uniforme.

**Effetto:** protezione immediata della sponda, che va aumentando con lo svilupparsi dell'apparato radicale delle talee.

**Periodo di intervento:** il materiale vegetale va di preferenza posato durante il periodo di riposo vegetativo, quando le percentuali di attecchimento sono alte.

L'attecchimento fuori stagione (da evitare) dipende dal microclima (su scogliere assolate è intorno al 10% mentre in alvei incisi e freschi può arrivare fino al 50%) e dalle modalità di riempimento con terreno dei vuoti tra i massi.

**Manutenzione e durata dell'opera:** controllo periodico, per almeno due-tre stagioni vegetative, dell'attecchimento della vegetazione e sostituzione delle fallanze.

**Possibili errori:**

- mancato inserimento delle talee in fase di costruzione;
- talee di dimensioni ridotte.

**Analisi prezzi:** si veda la **tabella 14.48**.

**Bibliografia**

AA.VV., 1993

*Manuale tecnico di Ingegneria Naturalistica*, Regione Emilia Romagna, Regione Veneto - Centro di formazione professionale "O. Malugati", Bologna.

AA.VV., 2001

*Principi e linee guida per l'Ingegneria Naturalistica. Vol. 2. Sviluppo e applicazioni in Toscana*, collana "Fiumi e Territorio", edizione Regione Toscana, maggio.

AA.VV., Regione Liguria - Assessorato Edilizia, Energia e Difesa del Suolo

*Opere d'Ingegneria Naturalistica e recupero ambientale*, Genova.

"Bollettino Ufficiale della Regione Lombardia", 2000 *Approvazione direttiva "Quaderno opere tipo d'Ingegneria Naturalistica". Ambiente e territorio*, in "Bollettino Ufficiale della Regione Lombardia", n. 19, supplemento straordinario, Milano.

Eidgenössisches Verkehrs- und Energiewirtschaftsdepartement Bundesamt für Wasserwirtschaft.

*Ingenieur-biologische Bauweisen*, Studienbericht n. 4.

Ferraiolo F., Vicari M., Officine Maccaferri S.p.a., 1996 *Il programma MAC.R.A per la verifica di interventi di protezione spondale. Manuale d'uso*, Bologna.

Geitz P., 1993.

*Ausbildungsförderwerk – Garten, Landschafts und Sportplatzbau e V. – Naturnaher Wasserbau*.

Ministero dell'Ambiente - Servizio Valutazione Impatto Ambientale, 1993

*Informazione ai cittadini e per la relazione sullo stato dell'ambiente. Opere di Ingegneria Naturalistica sulle sponde. Tecniche costruttive ed esempi nel cantone di Berna (Svizzera)*, Roma.

Zeh H., 1993

*Tecniche di Ingegneria Naturalistica*, Il verde Editoriale.

Zeh H., Roth H., Mosimann R., 1988

*Bauweisen und Beispiele im Kanton Bern. Ingenieurbiologische Uferverbauungen*.