

# Ingegneria naturalistica

---

## DISPENSA DI INGEGNERIA NATURALISTICA 2004/2005

a cura di:

Prof.Dott. Florin FLORINETH

Dr. Marco MOLON



Università di Bodenkultur, Vienna  
Istituto di Ingegneria Naturalistica e Costruzione del Paesaggio  
A-1190 Vienna, Via Peter Jordan 82



## INDICE

DEFINIZIONE.....	1
1. NOTE STORICHE SULL'INGEGNERIA NATURALISTICA .....	2
2 PROPRIETÀ E ABILITÀ TECNICHE (AZIONE STABILIZZATRICE) .....	5
2.1 PROTEZIONE DALL'EROSIONE SUPERFICIALE (COPERTURA DEL TERRENO).....	5
2.2 REGOLAZIONE DEL BILANCIO IDRICO DEL SUOLO (EVAPORAZIONE E FORMAZIONE DEL SUOLO) .....	5
2.3 RADICAZIONE (FORMA E RAPPORTO RADICI/ PARTE EPIGEA) .....	6
2.4 RESISTENZA ALLO SRADICAMENTO.....	10
2.5 FLESSIBILITÀ E DEFORMAZIONE DI PIANTE LEGNOSE.....	11
2.6 RESISTENZA AL TAGLIO.....	12
3 PROPRIETÀ E ABILITÀ BIOLOGICHE .....	14
3.1 CAPACITÀ RIGENERATIVA .....	14
3.2 CAPACITÀ DI ADATTAMENTO .....	14
3.3 RESISTENZA ALLA SOMMERSIONE.....	15
3.4 CAPACITÀ DI MOLTIPLICAZIONE VEGETATIVA.....	15
3.4.1 TALEE LEGNOSE.....	16
3.4.2 TALEE VERDI .....	17
3.4.3 TALEE DI RADICI .....	19
3.4.4 TALEE DI RIZOMA .....	20
3.4.5 GEMME BULBIFERE.....	21
3.4.6 DIVISIONE DI CESPI.....	22
3.5 PIANTE CON CAPACITÀ DI RADICAZIONE AVVENTIZIA .....	23
4 TECNICHE DI INGEGNERIA NATURALISTICA PER LA SISTEMAZIONE DI CORSI D'ACQUA .....	26
4.1 L'IMPORTANZA DELLA VEGETAZIONE RIPARIA.....	27
4.1.1 importanza per i corsi d'acqua:.....	27
4.1.2 importanza per la zona circostante:.....	28
4.1.3 importanza per l'uomo .....	28
4.2 RICOSTITUZIONE DELLA VEGETAZIONE RIPARIA.....	29
4.3 LA MANUTENZIONE DELLA VEGETAZIONE RIPARIA.....	32
4.3.1 Manutenzione delle scarpate inerbite.....	32
4.3.2 Manutenzione delle fasce arboreo-arbustive ripariali .....	33

4.4 CALCOLO IDRAULICO DELLA PORTATA IN PRESENZA DI VEGETAZIONE .....	34
4.4.1 Portata e velocità di deflusso.....	35
4.4.2 Sforzi di taglio.....	38
4.4.3 Forza della corrente (di trascinamento).....	39
4.4.4 Valori di resistenza delle opere di ingegneria naturalistica .....	41
4.5 TECNICHE DI INGEGNERIA NATURALISTICA PER IL CONSOLIDAMENTO DI SPONDE - OPERE LONGITUDINALI.....	43
4.5.1 Copertura diffusa con salici .....	43
4.5.2 Fascinata di salici, fascinata sommersa e parete di fascinate.....	47
4.5.3 Fascinata di salici su gradonata viva (ribalta viva) .....	48
4.5.4 Rullo di canne o rullo con ramaglie e sassi .....	50
4.5.5 Viminata di salici.....	52
4.5.6 Gradonata di ramaglia viva su stuoia di geotessile .....	54
4.5.7 Fila di ceppaie rafforzata con pali.....	55
4.5.8 Palificata spondale viva .....	56
4.5.9 Palificata spondale a parete doppia (alla carniolica) .....	57
4.5.10 Palizzata in legname .....	59
4.5.11 Utilizzo di alberi grezzi.....	60
4.5.12 Graticciata a strati con ramaglia e ghiaia.....	62
4.5.13 Graticciata di ramaglia intrecciata .....	63
4.5.14 Recinzione di interrimento.....	64
4.5.15 Frangiflutto vegetato.....	65
4.6 TECNICHE DI INGEGNERIA NATURALISTICA PER IL CONSOLIDAMENTO DI SPONDE - OPERE TRASVERSALI.....	66
4.6.1. Repellente vivo (pennello vivo).....	66
4.6.2 Traversa viva.....	71
4.6.3 Spazzola viva e pettine vivo .....	73
4.7 RIVITALIZZAZIONE DI CORSI D'ACQUA CANALIZZATI.....	75
5 TECNICHE DI INGEGNERIA NATURALISTICA PER LA STABILIZZAZIONE DEI PENDII E DELLE SCARPATE.....	77
5.1 TECNICHE DI SEMINA E DI RINVERDIMENTO .....	77
5.1.1 Semina a spaglio.....	77
5.1.1.1 Semina a spaglio semplice.....	77
5.1.1.2 Semina a spaglio con fiorume.....	77
5.1.1.3 Semina con seme di fieno da trebbiatura.....	78
5.1.1.4 Semina con copertura di cereali.....	78
5.1.1.5 Semina a secco di piante legnose .....	78
5.1.2 Tecniche di idrosemina.....	79
5.1.3 Semina a spessore (con pacciame) .....	79
5.1.3.1 Semina a spessore senza collanti.....	79
5.1.3.2 Semina a spessore con collanti .....	80
5.1.3.3 Semina a spessore con stuoie .....	81
5.1.4 Biostuoie e piastre in fibra grezza .....	82
5.1.5 Zolle erbose.....	82
5.1.6 Posa di terreno superficiale .....	82
5.1.7 Miscugli di semente.....	83
5.1.8 Inerbimenti sopra al limite del bosco .....	88

<i>Utilizzo di fiorume proveniente da pascoli alpini</i> .....	90
<i>Raccolta di e riproduzione da semente della stazione interessata</i> .....	90
<i>Riproduzione vegetativa di erbacee alpine e produzione di giovani piantine</i> .....	93
<i>Raccolta di semenza di erbe appartenenti alla stazione e riproduzione di giovani piantine:</i> .....	94
<b>5.2 PIANTAGIONE SU VERSANTI E SCARPATE</b> .....	<b>95</b>
<b>5.3 INTERVENTI DI DRENAGGIO SU VERSANTI</b> .....	<b>96</b>
5.3.1 Drenaggi tecnici.....	96
5.3.2 Drenaggi biologici con fascine vive .....	99
<b>5.4 INTERVENTI CONTRO UN'INSTABILITÀ PROFONDA 10-20 cm</b> .....	<b>100</b>
5.4.1 Fascinata viva di versante .....	100
5.4.2 Cordonata viva in legname.....	101
5.4.3 Grata viva .....	102
<b>5.5 INTERVENTI CONTRO UN'INSTABILITÀ PROFONDA 30-220 cm</b> .....	<b>103</b>
5.5.1 Gradonata viva .....	103
5.5.2 Palificata viva di sostegno .....	108
5.5.3 Muro cellulare vegetato .....	111
5.5.4 Muratura a secco vegetata .....	112
5.5.5 Gabbioni vegetati .....	113
5.5.6 Terra rinforzata.....	114
<b>6 METODI DI INGEGNERIA NATURALISTICA PER LA STABILIZZAZIONE DI SOLCHI E FOSSATI</b> .....	<b>115</b>
<b>6.1 INTRODUZIONE</b> .....	<b>115</b>
<b>6.2 OPERE LONGITUDINALI</b> .....	<b>115</b>
6.2.1 Alberi grezzi.....	115
6.2.2 Cespugliamento di solchi con ramaglia viva o morta.....	116
6.2.3 Pavimentazione scabra del fondo di fossati .....	118
6.2.4 Cunetta in pietrame rinverdita .....	119
6.2.5 Cunetta in legname rinverdita.....	120
<b>6.3 OPERE TRASVERSALI</b> .....	<b>121</b>
6.3.1 Palizzata viva .....	121
6.3.2 Soglie di fondo.....	122
6.3.2.1 Soglia di fondo con ramaglia viva .....	122
6.3.2.2 Soglia di fondo con fascine .....	123
6.3.3 Briglia vegetata in legname e pietrame .....	124
6.3.4 Briglia vegetata in gabbioni .....	126
6.3.5 Briglia vegetata in massi.....	127
<b>7. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI</b> .....	<b>128</b>

## DEFINIZIONE

La definizione data dall'assemblea fondatrice della "Associazione per l'Ingegneria Naturalistica in Germania" nel 1980 può essere così tradotta:

*"L'ingegneria naturalistica è una disciplina tecnico-biologica che studia l'utilizzo delle piante nelle opere di consolidamento su fiumi e versanti".*

Questa relazione esistente tra le piante utilizzate nei lavori di sicurezza e difesa viene anche chiamata Bioingegneria Forestale.

Il materiale utilizzato è composto di materiale vegetale vivo, e da materiale morto (pietrame, legno...). Opere nella cui costruzione vengono applicate le tecniche esposte in questa dispensa, creano e tutelano risorse naturali all'interno di un complesso funzionale meccanico-ecologico. Le tipologie utilizzate possono essere suddivise secondo il campo d'applicazione in costruzioni in terra e opere in ambito fluviale:

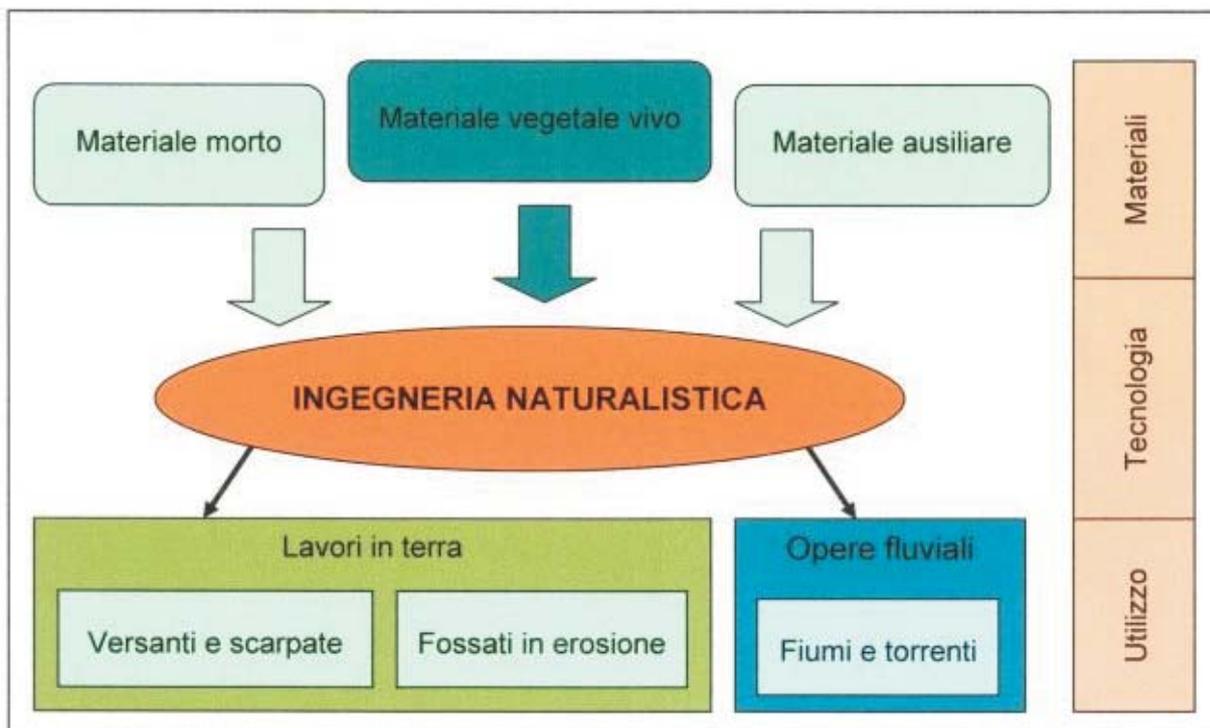


Fig. 1.: Rapporti funzionali nell'ingegneria naturalistica

## 1. NOTE STORICHE SULL'INGEGNERIA NATURALISTICA (Schlueter 1984)

### **Periodo imperiale romano compreso tra il 30 a.C. e il 400 d.C.**

Primi cenni sull'impiego di alberi grezzi.

### **Leonardo da Vinci 1452 – 1519**

*"Le radici dei salici non permettono alle scarpate di spaccarsi ed i rami dei salici che si trovino disposti lungo le scarpate, vengono in seguito potati di modo che diventino ogni anno più robusti. E così diventi tu una sponda vivente fatta di un unico pezzo/ compatta"*

### **Re di Prussia Friedrich Wilhelm I 1735**

*"Lì dove ci sono fossati, bisogna piantare dei salici da entrambe le parti, per stabilizzare la sponda".*

### **Silberschlag (Prussia) 1772-1773**

Tra i metodi di consolidamento spondale, il più diffuso e quello di più facile applicazione è senza dubbio la messa a dimora di salici, il quale dovrebbe essere assolutamente fatto per la lunghezza di un avambraccio.

I salici possono durante l'anno successivo venire legati nella parte basale ed in ultimo la sponda verrebbe ricoperta da una sorta di telo impermeabile. Si ritiene che non sia necessario mantenerli legati a lungo; così facendo possono offrire una buona produzione di ramaglia, di modo tale che siano utili per altri impieghi e che abbiano la funzione di difesa.

### **Josef Schemerl (Austria) 1770-1780**

Opere di sistemazioni presso il Dava e presso il Sava con tecniche d'ingegneria naturalistica. Agosto 1792: Combinazione di copertura diffusa e tomaio di talee legnose.

### **Bettoni 1782 – Woltmann 1791/2**

Pennelli vegetabili,  
Rastrello acquatico:

### **Duile (Graun – Bolzano – Innsbruck) 1826**

*"Per stabilizzare pendii instabili e rinverdire i focolai d'erosione si adatta bene la semina di erba e piante, come pure si addice la viminata fatta di salici, ontani e rami d'olmo".*

### **Demonzey (Francia) 1860-1864**

Ideale sintesi tra costruzioni di tecniche e biologiche atte alla stabilizzazione di burroni torrentizi, gole e forre.

### **Schindler (Svizzera) 1890**

Edizione di scritti sull'Ingegneria Naturalistica: *"Le tecniche di Bioingegneria Forestale sono state applicate in grande stile... "*

### **Burkardt 1893**

Tomaio di talee di culmi di canne.

**Stiny 1908**

*"Inerbimenti e interrimento di cespugli su terreni incolti"*. Primo rinverdimento in zone al limite della vegetazione.

**Strele (Austria) 1934**

Solo nel decennio 1883-1893 sono stati condotti dai tecnici forestali lavori su 190 corsi d'acqua nel bacino idrografico dell'Adige:

6.383 briglie in pietrame e 1.803 in legname

34.113 m di cunette

28.265 m di drenaggio

499.913 fascinate, vimate e 985 ha rimboschiti

**Amerigo Hoffman (Italia) 1936**

Descrive molte opere di ingegneria naturalistica insieme con altri lavori tecnici, eseguiti in Trentino e nel nord d'Italia.

**Seifert 1930-1940**

Ingegneria naturalistica nella progettazione stradale.

**Arthur Freiherr di Kruedener 1936- 1944**

Fondazione di un istituto di ricerca per "l'ingegneria naturalistica" presso l'istituto di ricerca per la progettazione stradale.

1951 - Pubblicazione del libro "Ingenieur-Biologie" (Ingegneria naturalistica).

**Becker 1944**

*"L'impiego di tecniche di ingegneria naturalistica per opere di ritenuta..."*.

**Härtel (direttore dell'ufficio Sistemazioni Idraulico-Forestali Austriaco 1938-1944)**

Forte incremento della Bioingegneria Forestale.

**Richard Prueckner (Steiermark)**

Autore di due libri sull'ingegneria naturalistica.

1951: "La tecnica delle costruzioni vive e il problema dei salici nell'ingegneria idraulica e nelle sistemazioni idraulico-forestali".

1965: "Le tecniche dell'ingegneria naturalistica".

**Hassenteufel (Tirolo 1934 - 1963)**

Sono stati condotti molti interventi di ingegneria naturalistica, sotto la guida del direttore dei lavori della zona di Ausserfern e Innsbruck.

**Hugo Meinhard Schiechtl(1922 – 2002)**

Padre della rinascita dell'ingegneria naturalistica:

1954: "Sistematica delle tecniche delle Sistemazioni verdi / rinverdimenti delle frane"

1954-1966: Numerosi articoli sulle sistemazioni verdi / rinverdimenti

1964: "La semina su una strato di copertura di paglia, un metodo per consolidare le scarpate"

1966: "L'ingegneria naturalistica nell'ambito forestale"

1973: "Lavori di protezione nella progettazione del paesaggio". L'opera classica per la grande rinascita dell'ingegneria naturalistica.

**Schiechl / Stern 1992 e 1994**

"Ingegneria naturalistica – Manuale delle opere in terra" e "Manuale delle costruzioni idrauliche".

## **2. PROPRIETA' E ABILITÀ TECNICHE (AZIONE STABILIZZATRICE)**

### **2.1. PROTEZIONE DALL'EROSIONE SUPERFICIALE (COPERTURA DEL TERRENO)**

Le piante ricoprono la superficie nuda del suolo, riducono e rallentano l'azione battente delle precipitazioni, le raccolgono e le immagazzinano, riducendo così il flusso dell'acqua ed il trasporto solido.

Rilevamenti su superfici più o meno ripide del Corno Fana, in Alto Adige, hanno dimostrato che durante una stagione vegetativa viene eroso da 300 a 1.300 g/m<sup>2</sup> di suolo. In un solo giorno (60 mm di pioggia con grandine) su di un pendio molto ripido è stato misurato un trasporto di 5000 g/m<sup>2</sup> di suolo.

Al contrario una superficie rinverdita a partire dal terzo anno presenta scarsi segni di erosione (intorno ai 25-140 g/m<sup>2</sup>). Nei prati alpini naturali non si rileva alcuna erosione.

### **2.2. REGOLAZIONE DEL BILANCIO IDRICO DEL SUOLO (EVAPOTRASPIRAZIONE E FORMAZIONE DEL SUOLO)**

A seconda dell'associazione vegetale la componente vegetale traspira una grande quantità di acqua asciugando in questo modo il suolo. Ciò fa sì, che da un lato aumenti la coesione delle particelle nel terreno e che, di conseguenza, aumenti anche l'angolo d'attrito e che dall'altro diminuisca la spinta esercitata dal terreno stesso, a causa del suo minor peso. Anche in questo senso le piante aumentano la stabilità del terreno.

Le piante creano un suolo strutturato, ricco di humus e con un orizzonte di disgregazione; le sostanze emesse dalle radici provocano la formazione d'aggregati chimici che aumentano la coesione delle particelle nel terreno.

I microrganismi terrestri si nutrono delle parti morte delle piante. Decomponendo e mineralizzando gli elementi vegetali morti e rinsaldando i vecchi canali radicali, essi stabilizzano il terreno. Il movimento degli invertebrati terricoli (vermi, coleotteri, ecc.) rende il terreno più permeabile all'acqua e all'aria, favorendo così una più veloce percolazione delle acque piovane verso la falda. Ciò riduce le zone di ristagno negli strati superiori del terreno, che di frequente sono causa di movimenti di scivolamento.

Associazione vegetale ( <i>provenienza dei dati</i> )	mm/m <sup>2</sup>	% della precipitazione annua
Formazione prativa alpina ( <i>Austria</i> )	50	5
Vegetazione steppica ( <i>Austria</i> )	200	30
Pascolo montano ( <i>Austria</i> )	320	37
Prato intensamente coltivato ( <i>Germania</i> )	400	50
Area a seminativo cerealicolo ( <i>Germania</i> )	400	50
Prato umido ( <i>Austria</i> )	1160	135
Fragmiteto ( <i>Germania</i> )	1300 – 1600	160 – 190
Boschi di aghifoglie (Europa centrale)	580	46
Bosco misto (Europa centrale)	500 – 860	50 – 54
Piantagione di eucalipto (Africa del Sud)	1200	160
Foresta tropicale (Kenja)	1570	80
Piantagione arborea (Java – Indonesia)	2300 – 3000	55 – 72

Tab. 1: Capacità di evapotraspirazione di associazioni vegetali (da LARCHER, 1973)

### 2.3. RADICAZIONE (FORMA E RAPPORTO RADICI/ PARTE EPIGEA)

Le piante si ancorano al terreno grazie alle radici. Nella composizione delle specie vegetali scelte per una piantumazione, si dovrà quindi ricercare l'alternanza di specie con apparati radicali fittonanti e di specie con radici superficiali, radici intensive ed estensive, in modo che il terreno risulti permeato da radici in modo omogeneo.

Il "rapporto fusto-radice", espresso e calcolato tramite il peso (o volume) rispettivo della radice e della parte epigea di una pianta, descrive la capacità di crescita della pianta com'anche la sua capacità di penetrare nel terreno.

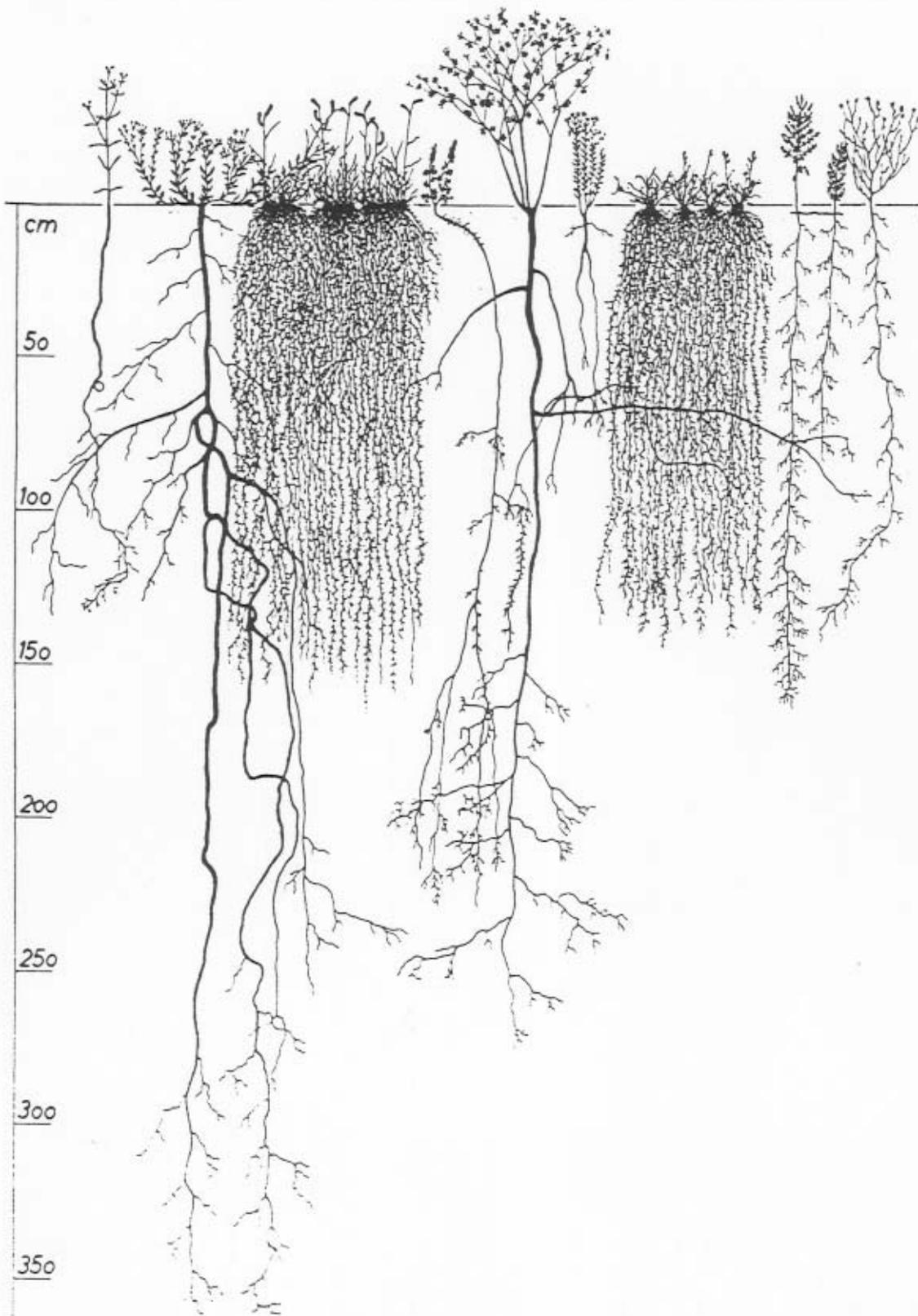


Fig. 1: Tipo e forma di apparati radicali (da KUTCHERA e LICHTENEGGER, 1960)

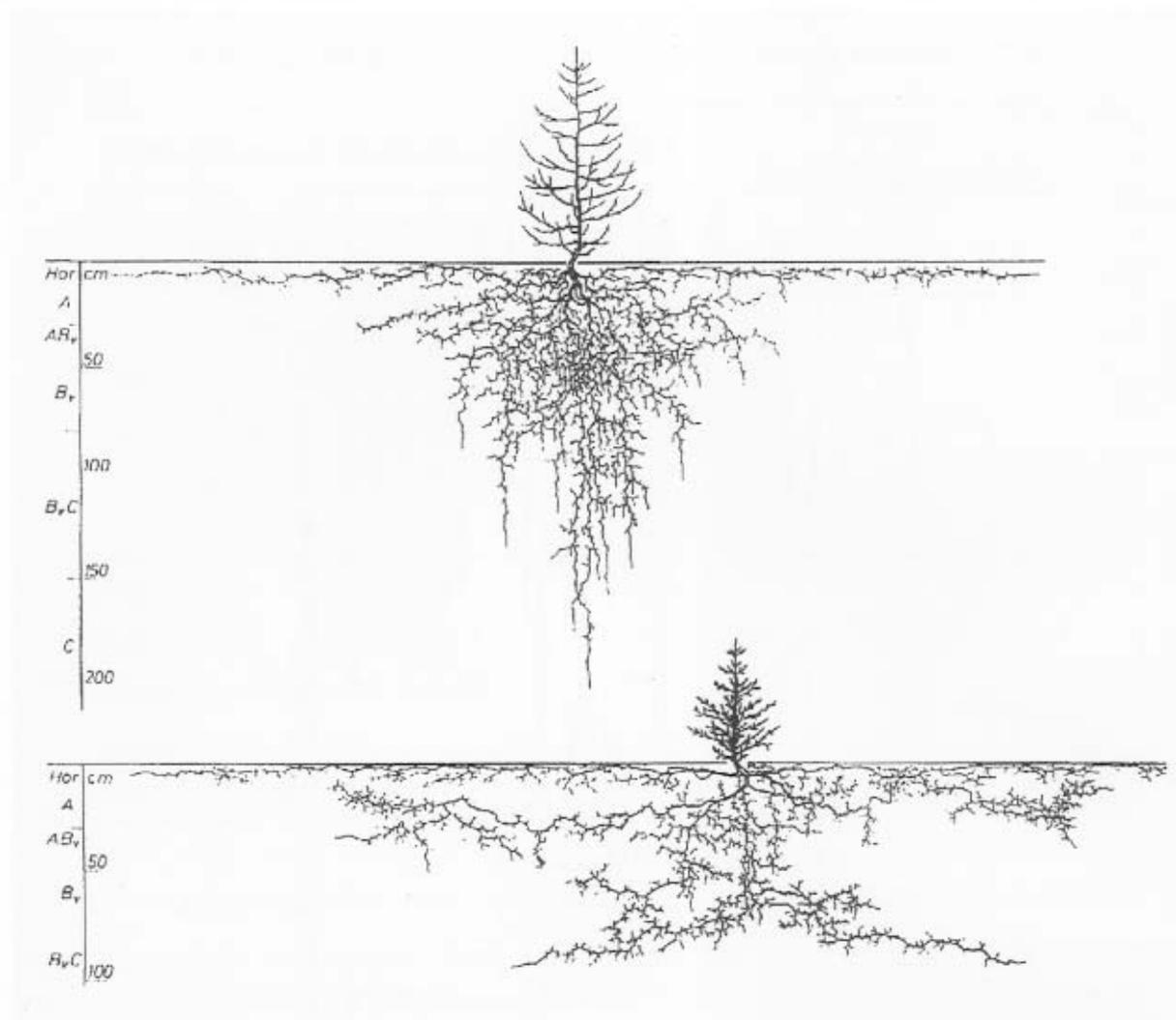


Fig. 2: Radice di un larice, 7 anni di età (sopra), e di un abete rosso, 11 anni di età (sotto) a 1400 m d'altitudine in Austria (KUTSCHERA e LICHTENEGGER, 1960)

Arbusti ed alberi	Coefficiente di rapporto
Salix glabra	2,4
Viburnum lantana	2,3
Erica carnea	2,0
Salix eleagnos	1,8
Salix myrsinifolia	1,8
Alnus viridis	1,6
Salix purpurea	1,5
Fraxinus excelsior	1,5
Ligustrum vulgare	1,2
Acer pseudoplatanus	1,1
Hippophae rhamnoides	1,0
Berberis vulgaris	0,6
Salix alba	0,5
Piante erbacee	
Stipa sp.	5 – 15
Equisetum arvense	5,5
Rumex scutatus	5,5
Deschampsia cespitosa	1,6
Festuca ovina	1,1
Anthyllis vulneraria	0,8
Achillea millefolium	0,7
Lotus corniculatus	0,7

Tab. 2: Rapporto tra la massa dell'apparato radicale ed il fusto di diverse piante; base di calcolo è la biomassa del fusto (=1) secondo GRÄSSER (1994), SCHIECHTL (1973)

## 2.4. RESISTENZA ALLO SRADICAMENTO

La resistenza allo sradicamento è un valore che esprime la stabilità dell'insieme terreno-radice e rappresenta quindi la capacità di aumentare questa stabilità da parte di una singola pianta. Essa è quindi la somma della resistenza delle radici e dell'intensità della loro penetrazione nel terreno.

La resistenza alla trazione esercitata dalle piante risulta essere assai differente tra specie diverse, in particolare nel caso di piante legnose. Essa può essere misurata e dipende dai seguenti fattori:

- le caratteristiche pedologiche del sito (granulometria, coesione...);
- le condizioni ecologiche per la crescita delle piante (presenza d'acqua, luce e nutrienti...);
- la specie;
- l'età della pianta.

Per eliminare i primi due fattori sopracitati sono state eseguite misurazioni di resistenza allo sradicamento su diverse specie nello stesso sito con uguali condizioni edafiche e pedologiche. VOLLINGER (2000) e BISCHOFER (2001) hanno rilevato i dati nel corso delle loro tesi di laurea. Tra salici della stessa età la più resistente alla trazione è stata *Salix viminalis*. Piante di tre anni di *Salix purpurea* e di *Salix viminalis* sono più resistenti di piante di cinque anni, appartenenti a generi diversi da *Salix*.

Nome della specie	Forza di trazione [N]	Diametro della radice [mm]	Tensione di trazione [N/cm <sup>2</sup> ]
<i>Poa annua</i>	1,04		
<i>Agrostis stolonifera</i>	1,24		
<i>Festuca duriuscula</i>	2,04		
<i>Deschampsia cesp.</i>	2,9		
<i>Lolium perenne</i>	5,0		
<i>Nardus stricta</i>	7,6		
<i>Bromus inermis</i>	9,9		
<i>Trifolium repens</i>	3,5	0,9	547
<i>Anthyllis vulneraria</i>	86	3,5	901
<i>Trifolium hybridum</i>	125	3,1	1658
<i>Lotus corniculatus</i>	142	3,6	1404
<i>Trifolium pratense</i>	154	3,7	1438
<i>Onobrychis sativa</i>	350	10	443
<i>Medicago sativa</i>	3250	30	460

Tab. 3: Resistenza allo sradicamento di piante erbacee e latifoglie

Specie	Quantità	Resistenza min. [kN]	Resistenza max. [kN]	Età in anni da – a
Fraxinus excelsior	14	1,204	38,088	6-36
Alnus incana	25	0,957	20,405	3-19
Acer pseudoplatanus	22	0,958	16,539	5-16
Alnus viridis	22	0,664	11,371	6-13
Salix eleagnos	78	1,063	17,615	5-21
Salix purpurea	7	2,176	10,398	6-8
Salix daphnoides	6	1,008	6,937	5-14
Salix appendiculata	7	1,098	6,300	4-11
Salix caprea	5	0,998	6,008	4-6
Salix myrsinifolia	22	1,024	5,992	5-14

Tab. 4: Resistenza allo sradicamento di piante legnose (secondo WEITZER, DOPPLER, FLORINETH,1998)

## 2.5. ELASITICITÀ E DEFORMAZIONE DI PIANTE LEGNOSE

Le piante rappresentano elementi di scabrezza nella sezione di deflusso idraulica. Localmente esse riducono la velocità di deflusso e conseguentemente anche la forza di trascinamento dell'acqua. Le piante utilizzate a questo scopo nell'ingegneria naturalistica necessitano di specifiche caratteristiche bio-tecniche. Anche la tecnica d'impianto e la manutenzione svolta negli anni concorrono fortemente al raggiungimento di una buona difesa spondale.

La copertura vegetale delle scarpate deve essere mantenuta elastica, in modo da piegarsi con l'aumento della corrente d'acqua riducendo il proprio volume fino ad essere infine schiacciata sul terreno nei momenti di massima portata. Solo così si può ridurre in modo sufficiente la velocità di deflusso vicino alla superficie del terreno e garantire allo stesso tempo la portata massima di deflusso. Elementi vegetali troppo rigidi provocano turbolenze, che possono dare avvio a fenomeni erosivi. WEITZER et al (1998) dimostrano come la maggior parte delle essenze tipicamente ripariali siano troppo poco flessibili quando i fusti raggiungono un diametro da 4 cm in su. Ciò comporta la necessità di un taglio a ceduo anche per ripristinare la capacità di deflusso della sezione.

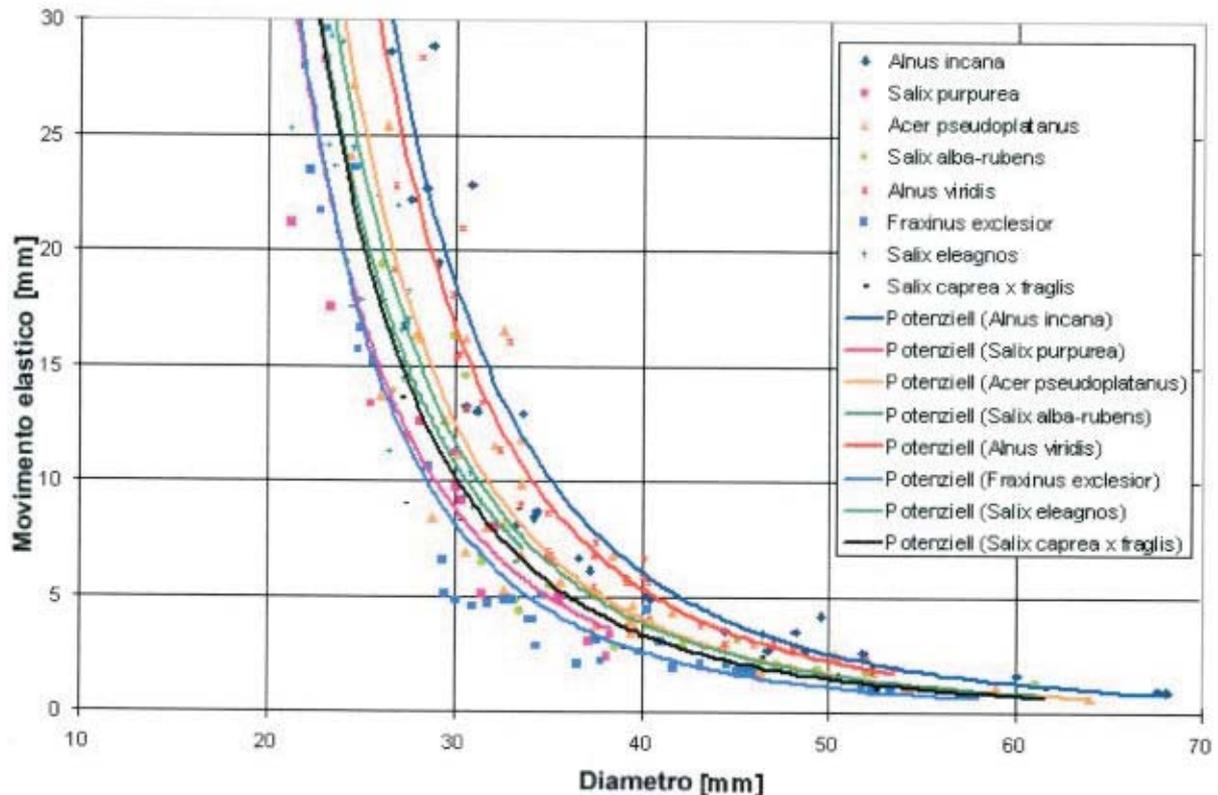


Fig. 3: Deformazione elastica misurata su astoni di specie differenti, lunghi 1m, sottoposti ad una forza di 10N (WEITZER, DOPPLER, FLORINETH, 1998, pag. 43)

## 2.6. RESISTENZA AL TAGLIO

Un'ulteriore misura per valutare la capacità stabilizzatrice di una pianta è la resistenza al taglio. Essa viene calcolata in  $\text{KN/m}^2$  e corrisponde alla pressione laterale massima di un carico di  $20\text{KN/m}^2$  apportato alla superficie laterale di una zolla vegetata in esame.

Un'associazione di piante erbacee esercita mediamente una resistenza al taglio pari a  $30,1\text{--}48,7\text{KN/m}^2$  (TOBIAS, 1991). La differenza tra un suolo radicato ed uno non radicato è del 55%. Essa dipende soprattutto dalla composizione della vegetazione: erbe molto conosciute, come la pannocchia di prato, il cavallo rosso ed il cavallo di prato confermano il loro valore per rinverdimenti compatti, mentre *Lolium multiflorum* si dimostra poco adatta.

La vegetazione esercita la resistenza al taglio grazie alle seguenti proprietà:

- ☞ stabilizzazione meccanica del terreno da parte delle radici;
- ☞ aumento della coesione capillare tramite l'evapotraspirazione dell'acqua;
- ☞ creazione di aggregati a causa delle secrezioni delle radici e dell'attività dei microrganismi.

La resistenza al taglio di un terreno dipende inoltre fortemente dal proprio contenuto d'acqua. La sottrazione d'acqua in seguito ad evaporazione e traspirazione può

aumentare maggiormente la resistenza al taglio di un terreno che non l'armamento provocato dalle radici delle piante. La somma delle caratteristiche stabilizzanti del terreno si ottiene dalla forma delle radici, dallo spessore del trapianto, dalla massa delle radici, dalla resistenza all'estirpamento e al taglio, dall'attività della flora e della fauna dell'ambiente.

Specie	Sr [%]	$\tau(20)$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\Delta\tau$ [kN/m <sup>2</sup> ]
<i>Alopecurus geniculatus</i>	63/100	48,7/30,1	9,0 = 30 %
<i>Poa pratensis</i>	63/74	37,0/43,7	7,5 = 25 %
<i>Agrostis stolonifera</i>	61/100	38,5/35,7	5,2 = 16 % 4,8 = 16 %
<i>Festuca pratensis</i>			
<i>Festuca rubra</i>	84	37,8	13,4 = 55 %
<i>Trifolium pratense</i>			
<i>Lolium multiflorum</i>			
<i>Agrostis stolonifera</i>	39/65	30,7/30,4	2,9 = 9 %
<i>Poa annua</i>			-0,6 = -2 %

Tab. 5: Resistenza al taglio di specie e associazioni erbacee (da TOBIAS, 1991)

- Sr. = grado di saturazione d'acqua del terreno  
 $\tau(20)$  = resistenza al taglio calcolata con una tensione normale di 20 kN/m<sup>2</sup>  
 $\Delta\tau$  = aumento della resistenza al taglio del terreno attraversato da radici in confronto ad uno privo di radici.

### 3. PROPRIETÀ E ABILITÀ BIOLOGICHE

Per opere di ingegneria naturalistica sono più adatte le specie con le seguenti caratteristiche:

- ☞ specie pioniere
- ☞ riproduzione vegetativa
- ☞ resistenza all'interramento (p.es. dovuto a frane)
- ☞ presenza nelle vicinanze del cantiere

#### 3.1. CAPACITÀ RIGENERATIVA

Tutte le piante in genere, ma soprattutto le latifoglie, possiedono la capacità di rigenerarsi; quando sono colpite da alluvioni, neve o massi, o ne viene spezzato un fusto oppure un ramo, esse sono in grado di riformare un nuovo fusto. Se tagliate alla base (ceduazione), possono ringiovanire e aumentano addirittura la propria capacità di crescita.

#### 3.2. CAPACITÀ DI ADATTAMENTO

Le piante sono, inoltre, in grado di adattarsi all'ambiente in cui vivono, reagendo, ad esempio, alla spinta del vento o della neve.

Le radici crescono secondo la disponibilità d'acqua e di nutrienti. Per questo motivo la stessa pianta avrà minore necessità di investire in un forte e profondo apparato radicale in terreni umidi e concimati che non in terreni poveri di sostanze nutrienti.

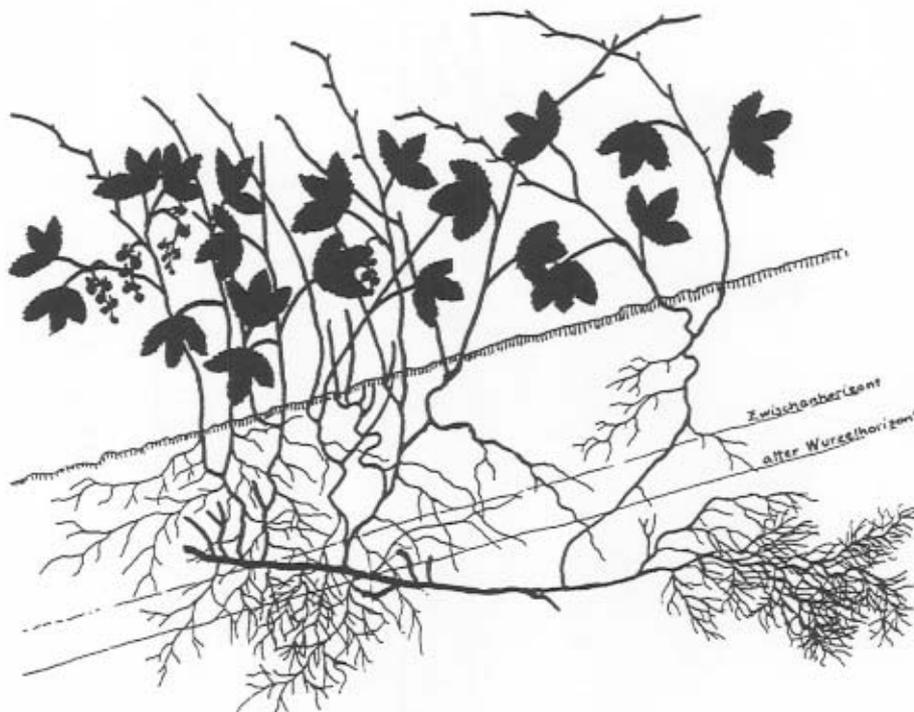


Fig. 1: *Rubus caesius* dopodue frane (SCHIECHTL, 1973)

Solo pochi alberi (*Salix alba*, *Alnus glutinosa*) si caratterizzano per la capacità di radicare nel terreno bagnato, mentre la maggior parte rifugge questi siti a causa della mancanza d'ossigeno.

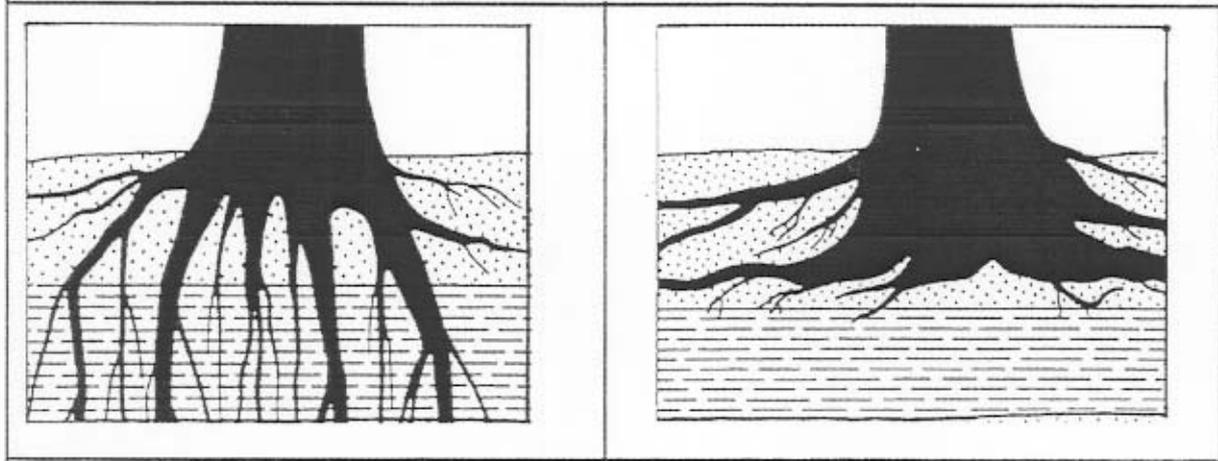


Fig. 2: Tipo d'apparato radicale alla presenza d'acqua

*Alnus glutinosa*  
*Salix alba*

*Fraxinus excelsior*  
*Prunus padus*, ecc.

### 3.3. RESISTENZA ALLA SOMMERSIONE

Diverse specie come *Salix triandra*, *Salix alba*, *Salix pentandra*, *Salix cinerea*, *Fraxinus angustifolia*, *Alnus glutinosa* e *Populus alba* possono sopravvivere senza danno per una o due settimane, sommersi fino a due terzi della loro altezza.

### 3.4. CAPACITÀ DI PROPAGAZIONE VEGETATIVA

Alcune piante presentano una capacità di propagazione vegetativa (possono essere propagati attraverso talee, astoni, ecc. – vedi cap.3.1). Questo significa che parti dei fusti e delle radici possono essere utilizzate per molteplici lavori di piantumazione. Queste piante possiedono la capacità di formare germogli e radici proventizi e avventizi.

Germogli dormienti: si sviluppano le cosiddette gemme dormienti, già inserite durante la crescita nella struttura originaria del fusto. Esse rimangono tuttavia in uno stato di quiete durante lo sviluppo della pianta, collegate al midollo, nell'attesa di un'eventuale situazione di necessità.

Germogli avventizi: nascono dal cambio in seguito ad un preciso stimolo, oppure in seguito a ferite, dal callo. Essi nascono in modo irregolare sul fusto.

## 3.4.1. Talee legnose

**Talee legnose** di diametro di 3-8 cm e lunghe 40 - 100 cm, tagliate durante il periodo vegetativo. Unica essenza arbustiva a non rispettare questa regola è *Salix caprea*, che deve invece essere tagliata immediatamente dopo la fioritura.

Particolarmente adatte:		Meno adatte:
Specie autoctone	Specie alloctone	
tutti i salici ( <i>Salix</i> species)	<i>Lycium halimifolium</i>	<i>Sambucus nigra</i> e <i>racemosa</i>
<i>Populus nigra</i>	<i>Tamarix gallica</i> , <i>articulata</i> , <i>africana</i> , <i>parviflora</i>	<i>Berberis vulgaris</i>
<i>Ligustrum vulgare</i>	<i>Medicago arborea</i>	<i>Hippophae rhamnoides</i>
<i>Myricaria germanica</i>	<i>Forsythia suspensa</i> e <i>viridissima</i>	
<i>Laburnum anagyroides</i> e <i>alpinum</i>	<i>Nerium oleander</i>	

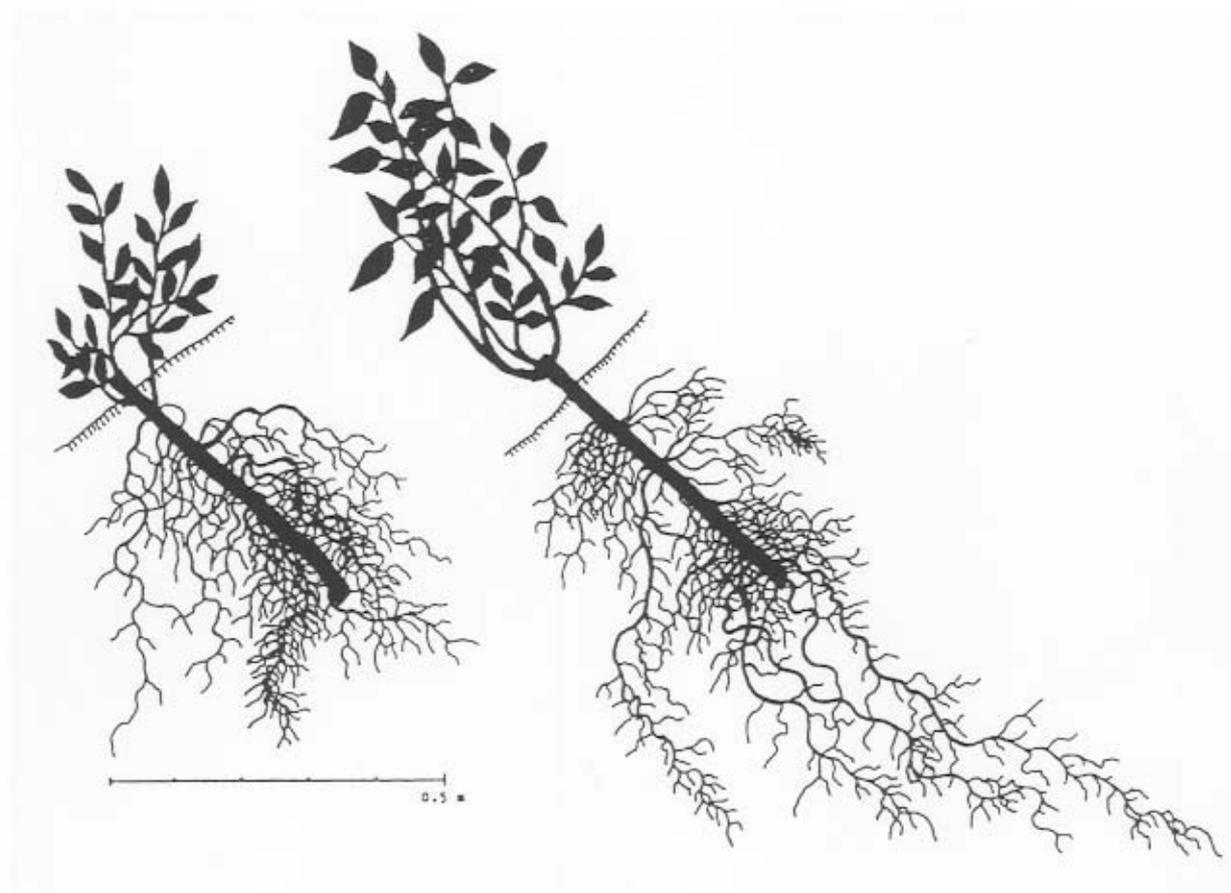


Fig. 7: Talee di *Salix myrsinifolia* di due anni (SCHIECHTL, 1973)

#### 3.4.2. Talee verdi

Talee verdi sono pezzi di ramo spessi 1-3 cm e lunghi 10-30 cm, tagliate nella stagione vegetativa. Questo metodo di propagazione viene utilizzato di frequente nelle serre dei vivai.

- Le specie idonee all'utilizzo da talea e molte di quelle capaci di produrre radici avventizie (riproducibili in vivaio);
- Canna di palude (*Phragmites australis*) riproducibile in natura;
- *Ammophila arenaria* e *baltica* riproducibile in natura.



Fig. 8: Propagazione tramite talee verdi

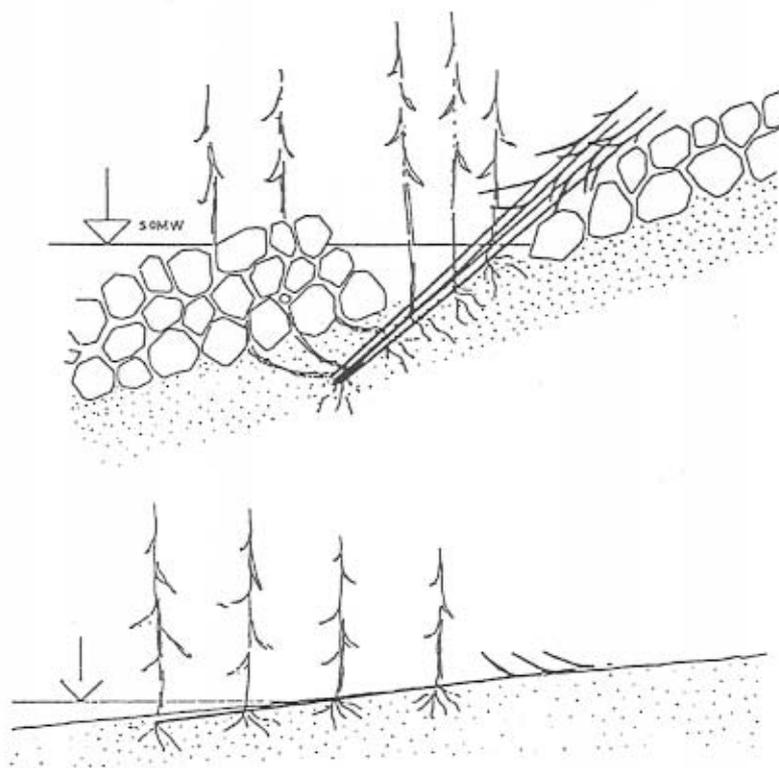


Fig. 9: Propagazione di *Phragmites australis* tramite talea verde

## 3.4.3. Talee di radici

Talee di radici sono parti di radice lunghe 5-15 cm e di 1-2 cm di diametro, tagliate nel periodo di riposo vegetativo e piantate nel senso di crescita in un misto di sabbia e torba. Le seguenti specie sono idonee all'utilizzo di questa tecnica:

- ☉ *Alnus incana*
- ☉ *Rubus caesius*
- ☉ *Corylus avellana*
- ☉ *Rubus idaeus*
- ☉ *Salix species*
- ☉ *Cornus sanguinea*
- ☉ *Populus nigra e tremula*
- ☉ *Robinia pseudacacia*

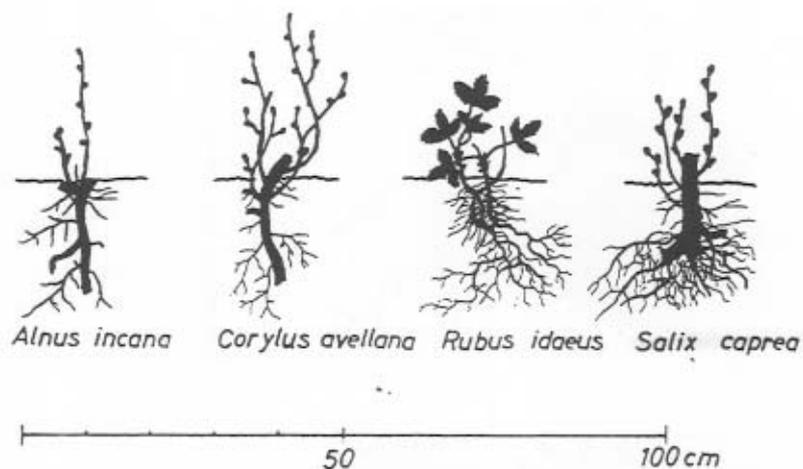


Fig. 10: Propagazione tramite talee di radici; ontano, nocciolo, lampone, salicene (SCHIECHTL, 1973)

## 3.4.4. Talee di rizoma (stoloni)

Le seguenti specie possono essere propagate tramite la separazione di un rizoma dalla pianta madre:

- ☉ Hippophae rhamnoides
- ☉ Eleagnos angustifolia
- ☉ Rubus idaeus
- ☉ Sambucus ebulus
- ☉ Petasites paradoxus e albus
- ☉ Tussilago farfara
- ☉ Aruncus sylvestris
- ☉ Artemisia absinthium
- ☉ Achillea millefolium
- ☉ Phragmites communis
- ☉ Iris pseudacorus e sibirica
- ☉ Agrostis schraderiana
- ☉ Cynanchum vincetoxicum

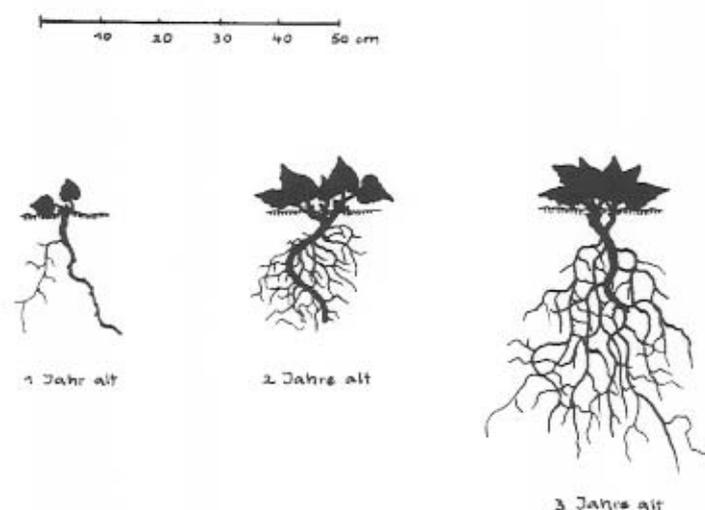


Fig. 11: *Petasites albus* propagata tramite una talea di rizoma dopo uno, due e tre anni

## 3.4.5. Gemme bulbifere

Le seguenti specie possono essere propagate tramite l'utilizzo di gemme bulbifere, che cresciute fino a maturità sulla pianta madre (in alcuni casi creano le prime radici ancora prima di cadere in terra), cadono in terra e crescono immediatamente.

- ☉ *Poa alpina* ssp. *vivipara*
- ☉ *Poa bulbosa*
- ☉ *Polygonum viviparum*
- ☉ *Dentaria bulbifera*

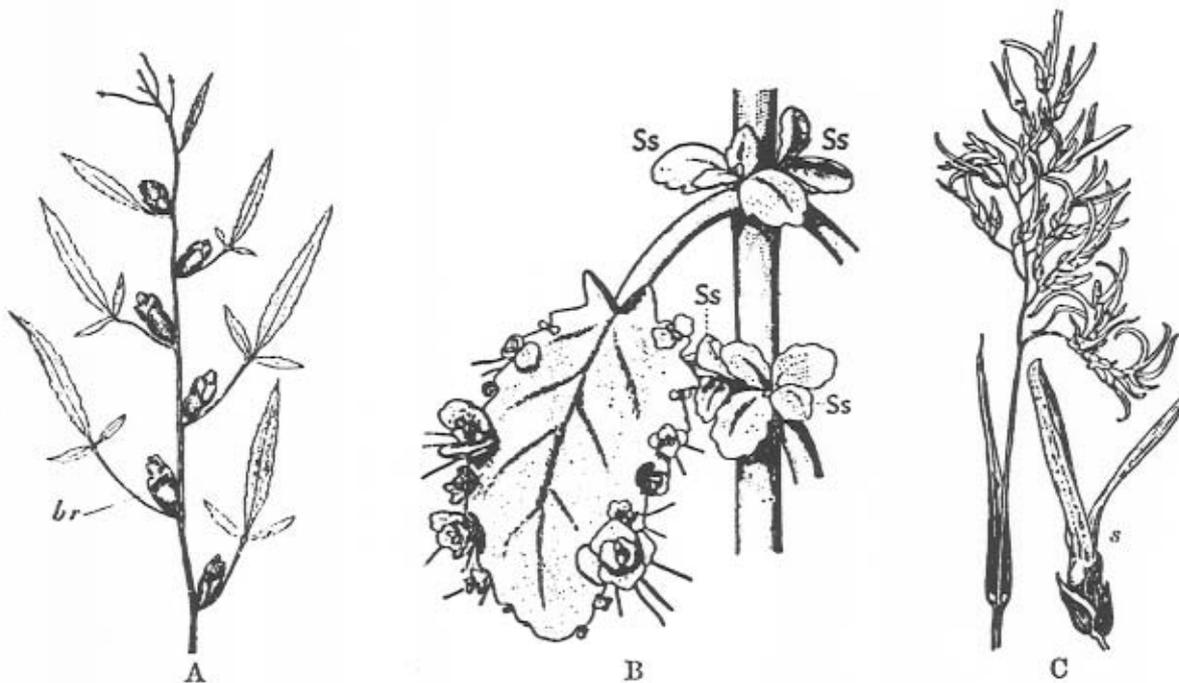


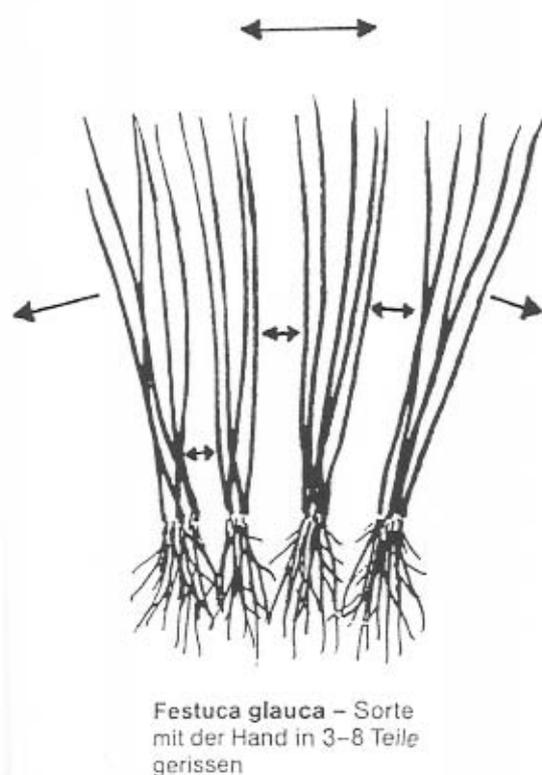
Fig. 290. Vegetative Vermehrung durch Bulbillen und Brutknospen: A *Cardamine bulbifera* mit Brutzwiebeln (br; vgl. Fig. 291 B). B *Bryophyllum calycinum* (Brutblatt) mit Achselsprossen Ss und blattbürtigen Brutknospen. C *Poa bulbosa vivipara*, Blütenstand mit zu Brutsprossen umgewandelten Ährchen s. (Nat. Größe; A nach SCHENCK, B nach TROLL, C nach DALITSCH.)

Fig. 32: Riproduzione tramite le gemme bulbifere (STRASBURGER et al., 1967)

## 3.4.6. Divisione di cespi

Piante adatte alla divisione in fasci o singole piantine con radice (riportate in ordine decrescente come idoneità):

- ☉ Poa alpina, violacea, laxa, ....
- ☉ Festuca rubra, halleri, varia, ....
- ☉ Koeleria hirsuta, ....
- ☉ Anthoxanthum alpinum, ....
- ☉ Iris pseudacorus e sibirica
- ☉ Nardus stricta



**Fig. 13: Divisione in fasci manuale di Festuca glauca**

### 3.5. PIANTE CON CAPACITÀ DI RADICAZIONE AVVENTIZIA

Una delle caratteristiche più ricercate nelle piante legnose utilizzate nelle tecniche d'ingegneria naturalistica è la capacità di produrre radici da una parte di fusto interrata. In questo modo questa parte di fusto acquista la funzione di una radice. Ciò accade generalmente tramite lo sviluppo di gemme avventizie. Questa caratteristica da modo alle piante di resistere e sopravvivere a frane e smottamenti, sopportando indenni i riporti di materiale.

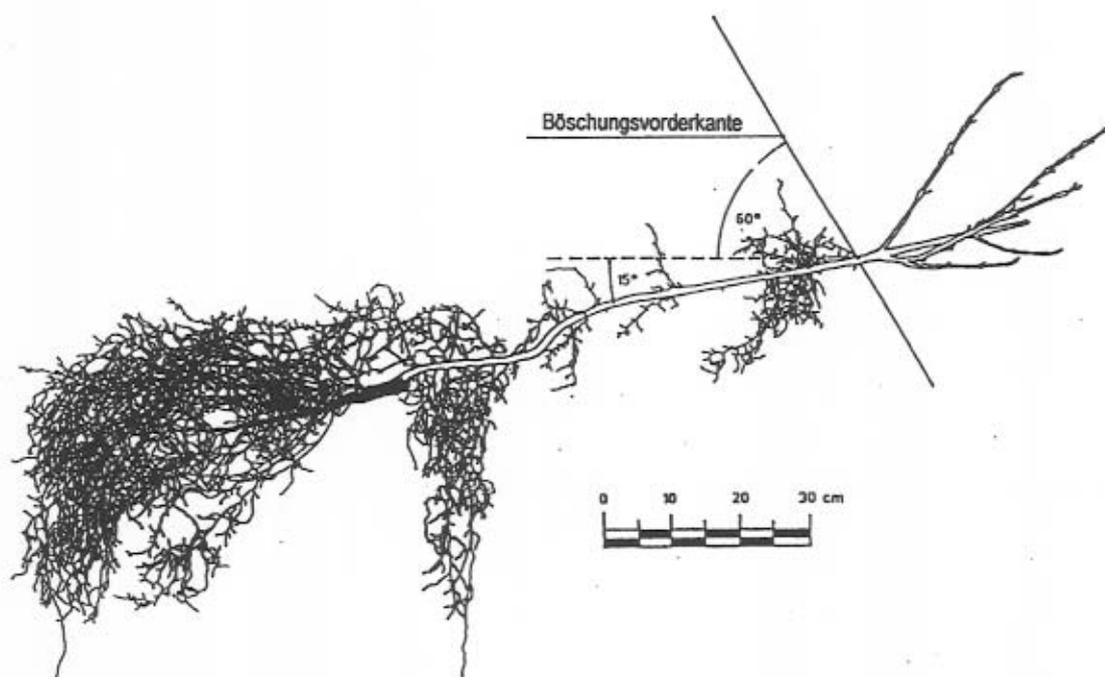


Fig. 4: Radicazione avventizia

Nella seguente tabella vengono elencate alcune delle essenze testate:

<b>Molto idonee:</b>	
Ontani	<i>Alnus glutinosa, incana, viridis</i>
Frassini	<i>Fraxinus excelsior, ornus</i>
Pioppo bianco	<i>Populus alba</i>
Acer montano	<i>Acer pseudoplatanus</i>
Pado	<i>Prunus padus</i>
Sorbo degli uccellatori	<i>Sorbus aucuparia</i>
Nocciolo	<i>Corylus avellana</i>
Sanguinello	<i>Cornus sanguinea</i>
Fusaggine	<i>Evonymus europaea</i>
Gisilostio	<i>Lonicera xylosteum</i>
Pallon di maggio	<i>Viburnum opulus</i>
Lantana	<i>Viburnum lantana</i>
Corniolo	<i>Cornus mas</i>
<b>Mediamente idonee:</b>	
Frangola	<i>Frangula alnus</i>
Biancospino	<i>Crataegus monogyna</i>
Betulla	<i>Betula pendula</i>
Carpino bianco	<i>Carpinus betulus</i>
Acer campestre	<i>Acer campestre</i>
Acer riccio	<i>Acer platanoides</i>
Ciliegio	<i>Prunus avium</i>
Tiglii	<i>Tilia platyphyllos e cordata</i>
<b>Non idonee:</b>	
Prugnolo	<i>Prunus spinosa</i>
Farinaccio	<i>Sorbus aria</i>
Sorbo svedese	<i>Sorbus intermedia</i>
Ciavardello	<i>Sorbus torminalis</i>
Pioppo tremulo	<i>Populus tremula</i>

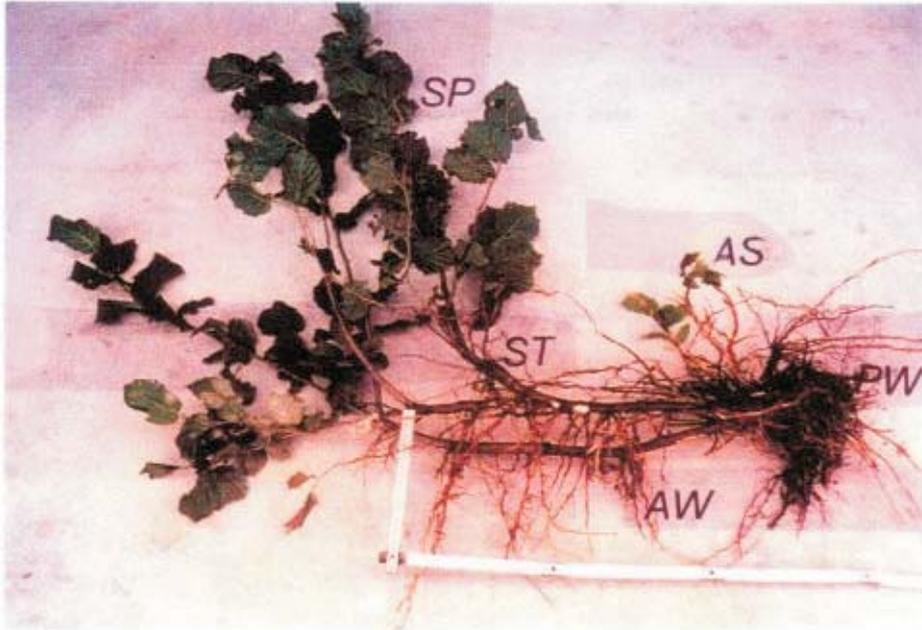


Foto 1: Radicazione avventizia (*Corylus avellana*) MOGG, 1996



Foto 2: Radicazione avventizia (*Betula pendula*) LEITNER, 1996

## 4 TECNICHE DI INGEGNERIA NATURALISTICA PER LA SISTEMAZIONE DEI CORSI D'ACQUA

I corsi d'acqua ed i boschi ripariali sono una parte integrante e caratterizzante del paesaggio in cui viviamo. In passato ci si è spesso rapportati con i fiumi come se essi fossero unicamente una sorgente d'acqua, di ghiaia e sabbia, e una specie di discarica per i molteplici scarti dei quali la nostra società voleva liberarsi velocemente.

Le aree occupate dalla vegetazione ripariale nei secoli passati erano molto più vaste delle strette fasce che oggi accompagnano i fiumi. Gli interventi di origine antropica (sfruttamento energetico, costruzione di infrastrutture stradali, espansione urbana...) nelle aree golenali hanno notevolmente ridotto le fasce di pertinenza fluviale e di conseguenza il rapporto funzionale di fiume e territorio circostante. Solo negli ultimi decenni la pianificazione territoriale e l'ingegneria idraulica hanno incorporato i concetti dello sviluppo sostenibile ed ecologico del territorio.

Le finalità degli interventi sui corsi d'acqua sono pertanto:

- Il mantenimento o la ricreazione della funzionalità fluviale di un corso d'acqua;
- La protezione delle attività umane.

I passi necessari al raggiungimento di tali obiettivi:

- Ricostituzione della vegetazione ripariale.
- Raggiungimento della connettività del corridoio fluviale.
- Sviluppo della dinamica naturale tramite l'inserimento di aree a carattere pionieristico.
- Opere di sistemazione idrauliche coerenti con la tipologia del corso d'acqua ed il territorio circostante.

In questo contesto sono sempre più sfruttate le potenzialità dell'ingegneria naturalistica. Questo tipo di opere contribuisce particolarmente alla ricostituzione della vegetazione ripariale ed alla creazione di spazi lasciati allo sviluppo naturale. In questo modo non svolge una funzione meramente ecologica ma concorre alla stabilità delle sponde. Queste tecniche non rappresentano quindi un'alternativa ma un'integrazione ad opere idrauliche puramente tecniche.

La scelta progettuale deve rispettare la tipologia del corso d'acqua in esame. Gli elementi costruttivi sono in gran parte piante vive o parti vive di piante (semezza d'erbacee e piante legnose, piantine radicate di arbusti ed alberi, rizomi di canna, talee ed astoni...). Legname e materiale geotessile vengono utilizzati per dare un sostegno maggiore alle scarpate inizialmente, fino al completo sviluppo delle piante. Nel corso degli anni, infatti, essi si decompongono. Dovesse essere necessaria una protezione durevole a sostegno del materiale vivo, viene invece utilizzato pietrame anche di grossa pezzatura.

Per lo sviluppo ottimo delle piante deve essere svolta un'importante attività di manutenzione. Secondo BEGEMANN e SCHIECHTL (1994, pag. 174) la funzionalità dell'opera è garantita da interventi di manutenzione svolti periodicamente.

#### 4.1 L'IMPORTANZA DELLA VEGETAZIONE RIPARIALE

La zonazione e le associazioni vegetali che accompagnano il corso d'acqua dipendono in gran parte dall'altitudine, la morfologia della valle fluviale, dal materiale del greto e dalla frequenza e durata dei fenomeni di piena. La vegetazione varia dalle erbacee pioniere di greto al bosco golenale a legno tenero.

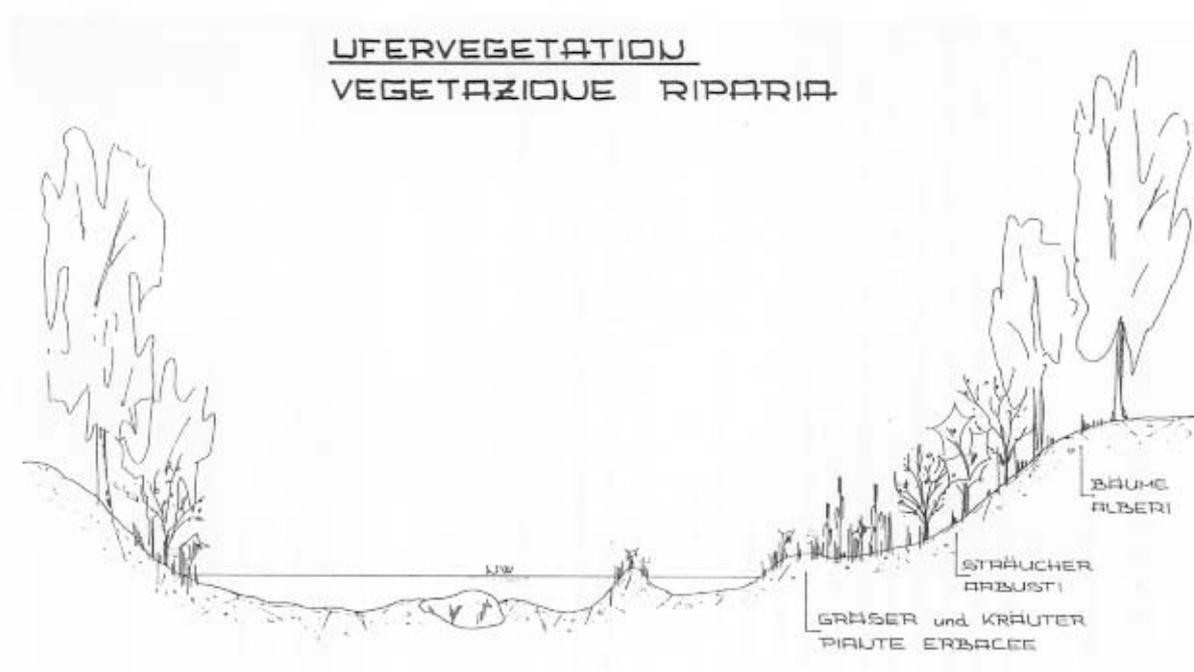


Fig. 13: Struttura della vegetazione riparia

##### 4.1.1 Importanza per i corsi d'acqua:

- zona di raccordo (funzione ponte) tra l'alveo ed il territorio circostante;
- ritenzione idrica e quindi diminuzione della velocità media di deflusso, che portano ad una minore capacità erosiva del corso d'acqua;
- miglioramento delle condizioni microclimatiche grazie all'ombreggiamento, alla riduzione dell'irraggiamento solare (e di conseguenza degli sbalzi di temperatura dell'acqua) ed alla diminuzione della turbolenza atmosferica locale;
- deposito di materiale trasportato a causa della diminuzione della velocità della corrente e conseguente aumento del numero di nicchie ecologiche.
- incremento della biodiversità nelle biocenosi dell'ecosistema fluviale per l'aumentato apporto di nutrienti solidi (foglie, rami...)
- fascia tampone contro le immissioni di sostanze nocive come polveri fini, fertilizzanti, diserbanti...

- ↻ filtraggio di nutrienti eutrofizzanti dall'acqua tramite radici sommerse.

#### 4.1.2 Importanza per la zona circostante:

- ↻ consolidamento delle sponde e degli argini e la conseguente protezione dei terreni circostanti;
- ↻ creazione di zone d'ombra, miglioramento del microclima (protezione contro il vento, mantenimento dell'umidità nei terreni);
- ↻ habitat per animali terrestri e avifauna;
- ↻ habitat per specie predatrici di parassiti;
- ↻ habitat per essenze idrofilie e igrofile rare;
- ↻ protezione dall'erosione eolica;

#### 4.1.3 Importanza per l'uomo:

- ↻ Caratterizzazione del paesaggio ed elemento di riconoscimento del fiume;
- ↻ valore ricreazionale tramite la diversificazione della struttura del paesaggio;
- ↻ produzione di combustibili rinnovabili (legna da ardere);
- ↻ sostegno alla caccia e alla pesca;
- ↻ protezione del territorio e delle risorse.

## 4.2 RICOSTITUZIONE DELLA VEGETAZIONE RIPARIALE

- Semina di un miscuglio di sementi, a ridotto accrescimento, nel caso in cui si ricerchi una soluzione provvisoria fino al completo sviluppo delle piante arbustivo-arboree (miscuglio di sementi n. 15 o 16).  
Si può prendere in considerazione anche il trapianto di zolle erbose.
- Piantazione di vegetazione appartenente al canneto  
Presso corsi d'acqua lenitici o comunque caratterizzati da velocità di deflusso minime possono essere inserite delle fasce di canneto. Le essenze utilizzate principalmente sono *Phragmites australis*, *Typha latifolia* e *angustifolia*, diversi carici, ecc.

### PIANTAGIONE CON ZOLLE DI CANNE

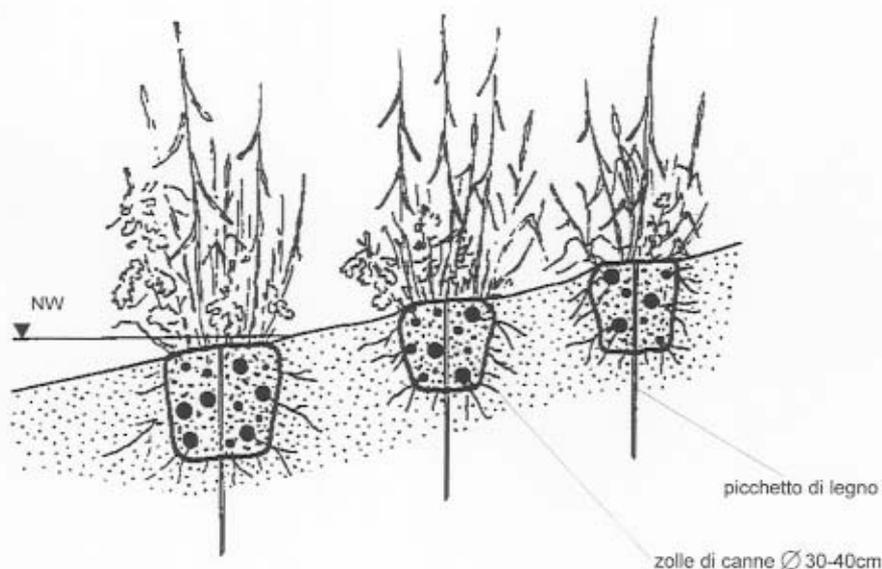
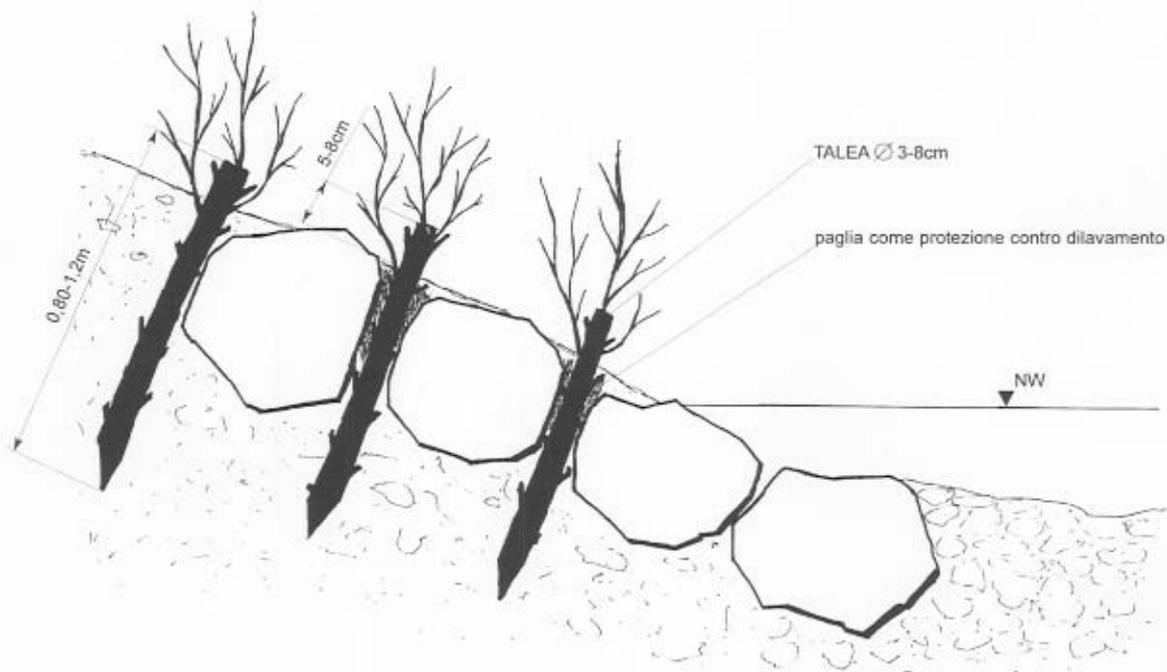


Fig. 14: Piantazione con zolle di *Phragmites australis*

- Piantazione di alberi e arbusti  
tramite talea legnosa, piantine radicate o semina

La ricostituzione può avvenire tramite l'inserimento di giovani latifoglie radicate, di talee o astoni di salice o la semina di piante legnose. Nella stagione di riposo vegetativo si possono inserire delle talee lunghe 50 – 80 cm e spesse 4 – 8 cm negli spazi delle opere di consolidamento spondale non ancora piantumate. Le talee devono essere raccolte dai salici presenti nella zona e saranno inserite nella direzione di crescita senza uscire dal suolo per più di 5-8 cm.

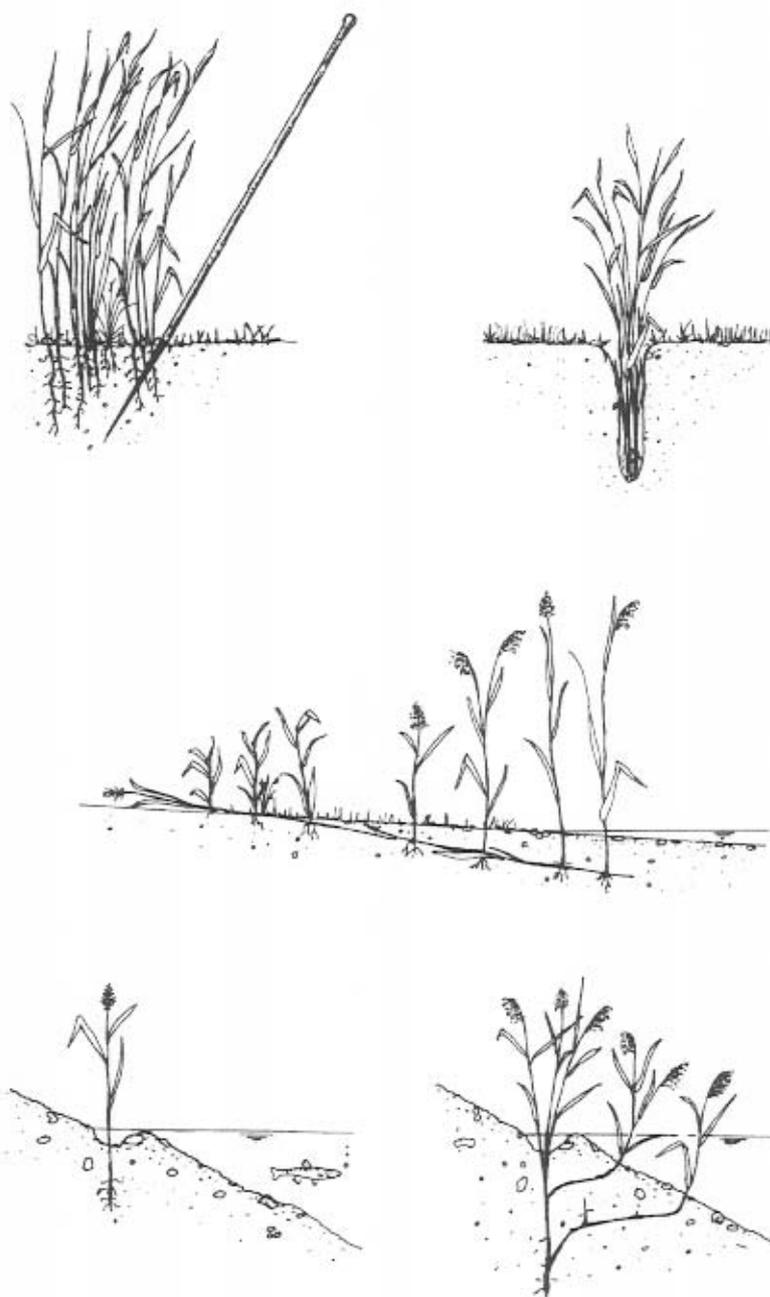
## PIANTAGIONE DI TALEE



**Fig. 15: Piantazione di difese spondali con talee**

Laddove la sponda sia pietrosa o ghiaiosa e l'inserimento delle talee risulti difficile si potrà eseguire una semina di latifoglie. La semenza viene mischiata a del materiale sabbioso (rapporto semenza-sabbia 1:3) e sparsa sulle scarpate nei giorni piovosi del tardo autunno o della prima primavera. Sulla parte più alta della sponda in terra vengono piantate latifoglie radicate, a radice nuda o con pane di terra, alte 80-120 cm.

A seconda della stagione possono essere utilizzate le seguenti essenze: ontano grigio, nero, verde, frassino, sorbo selvatico, varie specie d'acero, betulle, pioppi, vari specie di ciliegi, noccioli, sambuco rosso e nero, crespino, rose selvatiche, ligustro e molti altri.



**Fig. 16: Riproduzione di canna di palude tramite talea verde**

### 4.3 LA MANUTENZIONE DELLA VEGETAZIONE RIPARIA

Una caratteristica delle opere d'ingegneria naturalistica è che la protezione data dalle piante è bassa inizialmente e che raggiunge la piena funzionalità solo con lo sviluppo delle piante. Per favorire questo sviluppo e per ridurre il periodo transitorio di minor protezione si dovrà procedere ad eseguire prime opere di manutenzione e cura. Queste possono essere suddivise in **cura conclusiva**, **cura dello sviluppo** e la **manutenzione post operam**.

La **cura conclusiva** comprende tutte quelle attività di cura che portano l'opera all'ultimazione dei lavori. La finalità di questa cura è uno stato in cui sia garantito lo sviluppo delle piante nel tempo.

La **cura dello sviluppo** porta l'opera eseguita alla sua piena funzionalità. Le seguenti attività rientrano in questa categoria di lavori:

- concimazione;
- irrigazione;
- lavorazione del terreno;
- sistemazione della pacciamatura;

La **manutenzione post operam** ha lo scopo di mantenere alto il livello di protezione esercitato dalla vegetazione sulle sponde. Essa deve garantire delle associazioni vegetali stratificate, plurispecifiche e non monoculturali, con piante della stessa età. Quelle piante che si trovano nella sezione di deflusso della piena ordinaria dovranno essere tenute elastiche e libere da depositi di ramaglia che ostruirebbero il libero defluire della corrente.

In linea di principio si può affermare che gli interventi di manutenzione ordinaria devono essere eseguiti tanto più di frequente quanto meno è ampio il fiume.

#### 4.3.1 Manutenzione delle scarpate inerbite:

- Eseguire lo sfalcio delle scarpate ripariali non prima di luglio;
- lo sfalcio dovrà essere eseguito a stralci, per mantenere una quantità sufficiente di piante in fiore, essenziali per il nutrimento di parti della fauna;
- lasciare non sfalcio un terzo delle scarpate prative durante la stagione fredda come habitat di svernamento per la fauna;
- utilizzare motofalciatrici;
- asportare il materiale vegetale dopo gli sfalci;
- mai utilizzare antiparassitari, concimanti e diserbanti;
- mai incendiare l'erba.

#### 4.3.2 Manutenzione delle fasce arboreo-arbustive ripariali:

Le siepi arbustivo-arboree ripariali devono essere ceduate durante il riposo vegetativo con un taglio netto a 5-10 cm dal livello del terreno. Questo ringiovanimento deve essere eseguito come taglio raso per settori, per ottenere una ricrescita regolare lungo tutto il tratto ceduo.

Nel caso di un taglio selettivo dei soli fusti più forti l'elasticità della vegetazione può essere garantita più a lungo. Ciò porterebbe però ad una soppressione delle piante ceduate a causa dell'ombreggiamento da parte delle piante vicine e ad una selezione delle specie presenti (che comunque potrebbe essere anche voluta).



**Fig. 17: Taglio a ceduo di una siepe arbustiva**

#### 4.4 CALCOLO IDRAULICO DELLA PORTATA IN PRESENZA DI VEGETAZIONE

Il compito della sistemazione dei corsi d'acqua mediante tecniche costruttive in ingegneria naturalistica risiede nella protezione delle sponde contro la forza erosiva dell'acqua. Questa forza deve essere attutita da parte della vegetazione e del terreno. Le sponde vengono danneggiate quando la forza erosiva dell'acqua supera la forza di resistenza della vegetazione e dalle particelle del suolo. L'acqua corrente si caratterizza tramite una forza, la cui entità dipende dalla portata  $Q$  ( $m^3/s$ ) e da parametri legati alla morfologia del letto fluviale. I parametri principali sono la profondità  $h$  (m), la forma e la dimensione della sezione di deflusso  $A$  ( $m^2$ ), la pendenza longitudinale del letto  $J$  (-) e la scabrezza del fondo e delle scarpate.

La morfologia dei corsi d'acqua naturali è caratterizzata da vegetazione e forme molto irregolari. Fiumi e torrenti sono soggetti ad effetti dinamici e quindi a continui cambiamenti, il che rende ancor più complessi i calcoli idraulici. Per la complessità del problema e la quantità di parametri in costante evoluzione non è stato possibile individuare una formula di calcolo idraulico generalmente valida e accettata, che potesse determinare con sufficiente precisione le forze effettive presenti in alveo. I due parametri principali che caratterizzano le forze di moto dell'acqua corrente sono la velocità della corrente  $v$  (m/s) e la forza di trascinamento  $\tau$ .

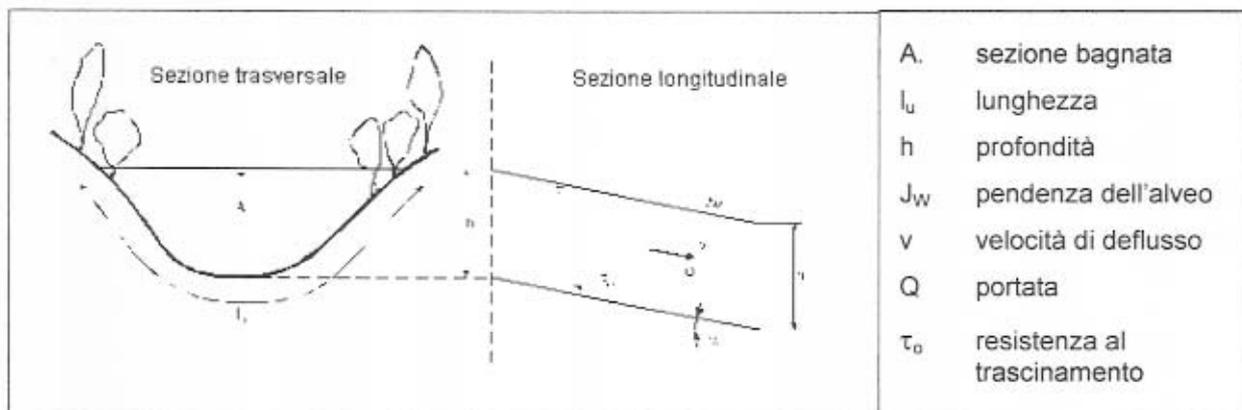


Fig. 18: Descrizione dei principali parametri che caratterizzano l'alveo e la sua portata

#### 4.4.1 Portata e velocità di deflusso

Le due formule più usate nel calcolo idraulico della velocità media di deflusso e della portata sono le equazioni di *Manning-Strickler* e di *Darcy Weisbach*.

$v_m = k_{St} \cdot R^{2/3} \cdot J^{1/2}$ (Strickler)	$g$	[m/s <sup>2</sup> ]	Accelerazione di gravità [9,81m/s <sup>2</sup> ]
	$J$	[-]	Pendenza ( $\approx J_E$ )
$v = \left(\frac{8g}{\lambda}\right)^{1/2} \cdot R^{1/2} \cdot I^{1/2}$ (Darcy-Weisbach)	$k_{St}$	[m <sup>1/3</sup> /s]	Coefficiente di scabrezza secondo Strickler
	$R$	[m]	Raggio idraulico $R=A/U$
	$A$	[m <sup>2</sup> ]	Sezione
	$U$	[m]	Contorno bagnato
$Q = A \cdot v_m$	$v_m$	[m/s]	Velocità media
	$Q$	[m <sup>3</sup> /s]	Portata
	$\lambda$	[-]	Indice di resistenza

L'equazione a cui più facilmente si fa ricorso è generalmente la formula di *Manning-Strickler* per la sua semplice applicazione. Il coefficiente di Strickler (coefficiente di scabrezza)  $k_{St}$  sintetizza le grandezze quali la scabrezza dell'alveo, la morfologia della sezione e l'andamento longitudinale del corso d'acqua. Il vantaggio nell'utilizzo di questo procedimento risiede nell'elevato riscontro sperimentale e conseguente taratura del coefficiente di Strickler. Si deve in ogni caso tenere conto del fatto, che il coefficiente cambia con il variare della sezione bagnata. Nella seguente tabella vengono proposti i valori di  $k_{St}$  per situazioni differenti.

Secondo INDLEKOFER (2003) e RAUCH (2004) si indicano per i tratti vegetati approssimamente i seguenti coefficienti di scabrezza:

- |  |   |
|--|---|
| ○ tappeto erboso soprapassato dall'acqua | $k_{St} = 30-40 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ |
| ○ specie legnose elastiche               | $k_{St} = 15-20 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ |
| ○ specie legnose fitte e rigide          | $k_{St} = 3-4 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$   |

	$k_{St}$		$k_{St}$
<b>1. Alveo naturale</b>		Pietre grossolanamente squadrate.....	65
Con fondo compatto, senza irregolarità.....	40-42	Scarpate lastricate, fondo in sabbia e ghiaia.....	45-50
Con trasporto solido moderato ...	35-38	<b>5. Alveo artific. in calcestruzzo</b>	
Con vegetazione erbacea.....	30-35	Pavimentazione in cemento.....	100
Con ciottoli e irregolarità .....	30	Calcestruzzo con casseforme metalliche .....	90-100
Con forte trasporto solido. ....	28-30	Calcestruzzo con intonaco.....	90-95
Ambiti planiziali, secondo la vegetazione .....	20-25	Calcestruzzo lisciato .....	90
Torrenti montani con grosse pietre e materiale stazionario ....	25-28	Calcestruzzo con casseforme in legno, con intonaco.....	80-90
Torrenti montani con ciottoli grossolani e materiale in movimento.....	19-22	Calcestruzzo con casseforme in legno, senza intonaco.....	65-70
<b>2. Alveo artificiale in terra</b>		Calcestruzzo vecchio, superficie liscia.....	60-65
Materiale compatto, liscio .....	60	Calcestruzzo ruvido.....	55
Sabbia compatta con un po' d'argilla o pietrisco .....	50	Superfici irreg. in calcestruzzo....	50
Sabbia e ghiaia, scarpata lastricata .....	45-50	<b>6. Canaline in legno</b>	
Ghiaiutto 10 – 30 mm.....	40	Canali nuovi e lisci .....	95
Ghiaia media 20 – 60 mm.....	35	Assi in legno lavorate, ben sistemate .....	90
Limo in zolle .....	30	Assi in legno grezze.....	80
Con grosse pietre.....	26-30	Vecchi canali in legno .....	65-70
Sabbia, limo o ghiaia con un forte mantello vegetale.....	20-26		
Fondo e scarpate rivestite di asfalto .....	70-75		
<b>3. Alveo artificiale in roccia</b>			
Con lavorazione accurata .....	25-30		
Con lavorazione media .....	20-25		
Con lavorazione grossolana .....	15-20		
<b>4. Alveo artificiale in muratura</b>			
Muratura in pietra da taglio .....	80		
Muratura accurata in pietra da cava .....	70		
Muratura normale.....	60		

Tab. 8: Coefficienti di scabrezza  $k_{St}$  secondo Gaukler-Manning-Strickler (RÖSSERT, 1974)

Diversamente dalla formula empirica di *Manning-Strickler* la legge di *Darcy-Weisbach* si basa su fondamenti teorici del moto turbolento. Questo procedimento tiene conto della scabrezza quale misura geometrica tramite il coefficiente di resistenza  $\lambda$ . Il calcolo si rivela però più complesso e non è immediata la quantificazione della resistenza al deflusso imposta dalla vegetazione riparia. DITTRICH (1997) propone metodi di analisi relativi all'influenza della vegetazione sulla portata. Negli alvei naturali la profondità dell'acqua e la scabrezza variano (localmente) spesso notevolmente e con esse anche le velocità di deflusso. La presenza di vegetazione aumenta le interazioni e gli scambi energetici tra la corrente e l'alveo, creando turbolenze che aumentano notevolmente gli attriti interni alla corrente e ne riducono così la velocità media di deflusso. Queste interazioni a loro volta non sono distribuite uniformemente lungo l'asse della sezione, ma sono confinate principalmente nella zona di passaggio fra alveo vegetato e non vegetato.

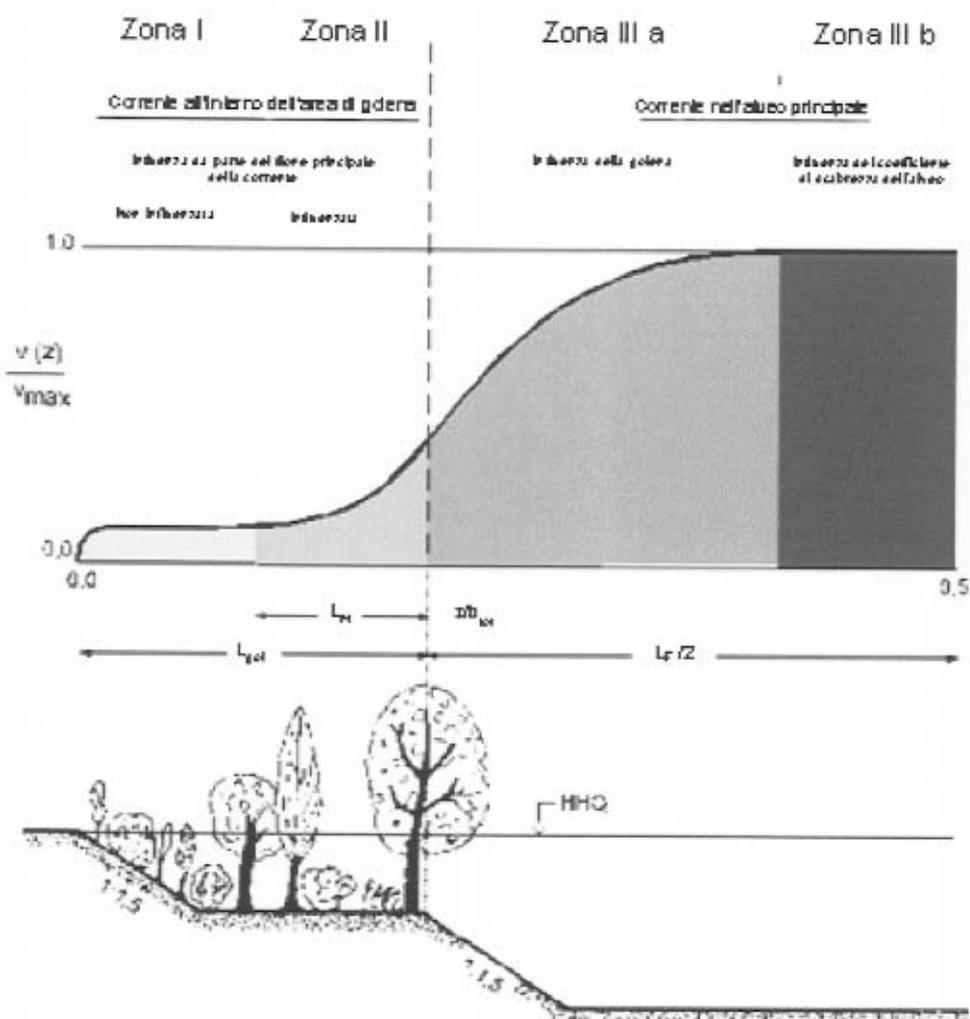


Fig. 19: Suddivisione teorica di una sezione fluviale secondo la scabrezza (PASCHE, 1984, pag.26)

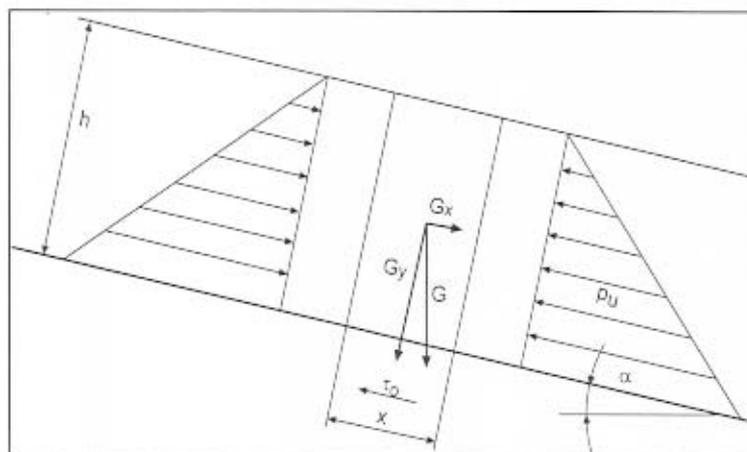
In via generale si può affermare che con l'aumentare della larghezza dell'alveo diminuisce l'influenza della vegetazione riparia. È quindi possibile esprimersi in modo attendibile a proposito delle complesse condizioni all'interno della corrente di deflusso solo dopo avere svolto accurati rilievi e calcoli approfonditi. Per questo motivo ci si dovrebbe sempre affidare alla consulenza specifica di un ingegnere idraulico esperto.

Per la messa in sicurezza delle scarpate fluviali tramite opere di ingegneria naturalistica è necessario soprattutto ridurre la velocità di deflusso. Come conseguenza della diminuzione della velocità dell'acqua presso la sponda si riducono gli sforzi di taglio, esercitata dalla corrente sulle scarpate.

#### 4.4.2 Resistenza al trascinamento

Dalla resistenza al trascinamento ( $\tau_0$ ) si ricava la resistenza contro la forza dell'acqua che agisce sul fondo e sulle sponde; con " $\tau_{crit}$ " si definisce lo sforzo di trascinamento critico, oltre il quale si ha inizio di trasporto solido. Ciò accade quando gli sforzi di taglio della corrente superano la resistenza del materiale nel letto fluviale. L'effetto di  $\tau$  è funzione del peso proprio della colonna d'acqua.

Se si analizza una colonna d'acqua ideale in un corso d'acqua idealizzato (vedi figura) essa è soggetta a pressioni idrostatiche uguali sia da monte che da valle.



$G$	Peso della colonna d'acqua	$\rho_w$	Peso specifico dell'acqua
$G_x, G_y$	Componenti del peso	$I_e$	pendenza
$\tau_0$	resistenza al trascinamento	$h$	Profondità
$\alpha$	Pendenza dell'alveo	$\Delta x \cdot \Delta B$	Area di appoggio
$g$	Accelerazione di gravità	$p_u$	Pressione idrostatica da valle

Fig. 20: Definizione della resistenza al trascinamento ( $\tau_0$ ) come componente del peso

La colonna d'acqua stessa è una forza che agisce sul piano di riferimento tramite il peso proprio  $G$ , espresso come il prodotto tra il peso specifico dell'acqua ed il volume della colonna. Mettendo in relazione il peso  $G$  con l'area del piano di riferimento si ottiene lo sforzo di taglio. Supponendo condizioni ideali gli sforzi di taglio si possono esprimere nel seguente modo:

Nella prassi si sostituisce alla cadente dell'energia  $I_E$  la pendenza del fondo dell'alveo  $I_S$ . Un'ulteriore approssimazione in caso di assenza di trasporto solido è data da  $\rho_w \cdot g \approx 10000$ . Per corsi d'acqua stretti (larghezza della sezione  $B \leq 30 \cdot h$ ), infine, la profondità dell'acqua  $h$  viene sostituita con il raggio idraulico  $R$  (BOLLRICH, 1996, pag. 266).

$$\tau_0 = \rho_w \cdot g \cdot R \cdot I_e \quad (B/h < 30) \qquad \tau_0 = \rho_w \cdot g \cdot h \cdot I_e \quad (B/h > 30)$$

I risultati ottenuti da questa semplice espressione indicano solo gli sforzi di taglio medi lungo tutta la sezione. Ciò significa che i valori massimi possono effettivamente essere molto più alti. La valutazione delle tensioni agenti sulle scarpate fluviali risulta però molto complessa, in particolare quando le sponde sono coperte da vegetazione legnosa, la quale rallenta la velocità di deflusso della corrente e ne devia una parte.

#### 4.4.3 Forza della corrente

La forza della corrente  $F_W$  che agisce su di un oggetto rigido (p.es. un albero), può essere approssimata tramite la legge di Newton:

$$F_w = \frac{1}{2} \rho \cdot C_D \cdot A \cdot v^2$$

$C_D$  coefficiente di resistenza

A seguito di prove sperimentali in canaletta Oplatka (1998) ha potuto dimostrare, che piante elastiche, se sommerse, a seguito di un incremento della velocità della corrente, riducono la propria superficie di contatto con l'acqua. Allo stesso tempo diminuisce anche la forza di trascinamento dell'acqua a cui sono soggette. In questo caso la forza della corrente aumenta linearmente con la velocità.

Quando all'aumentare della velocità, la superficie di contatto delle piante diventa costante (massima flessione dei fusti ed allineamento delle foglie), la forza della corrente aumenta con il quadrato della velocità (come nel caso di oggetti rigidi).

Nel laboratorio sono state misurate forze di 0,6-1,2 N con velocità di 4 m/s, in caso di salici sommersi.

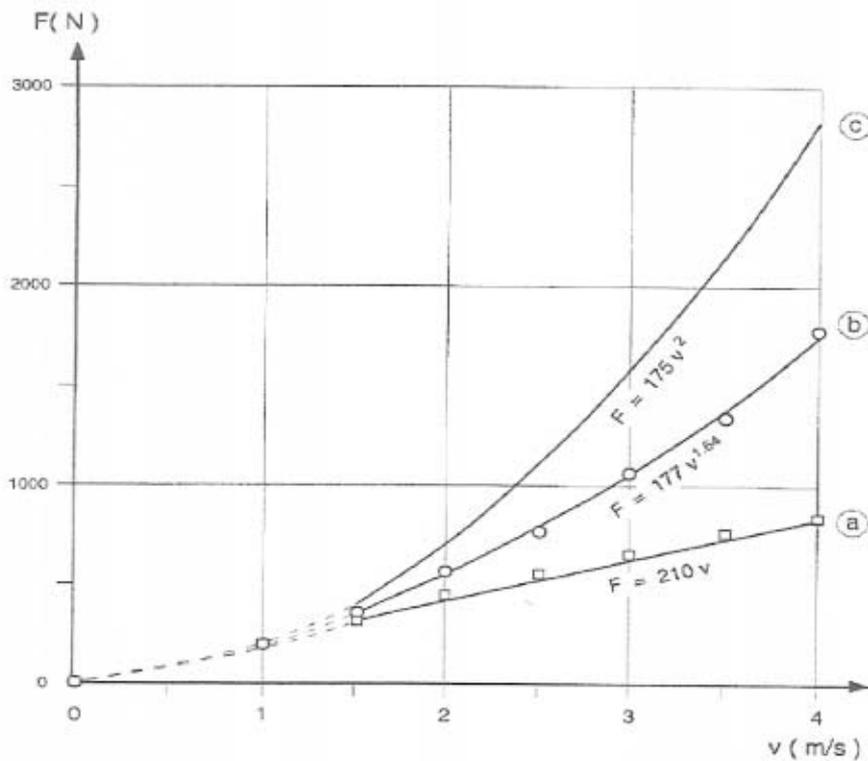


Fig. 18: Resistenza alla corrente di un singolo salice (VISCHER/OPLATKA, 1998)

a) flessibile

b) legato con dei fili

c) completamente rigido

## 4.4.4 Valori di resistenza delle opere d'ingegneria naturalistica

Nella letteratura specifica vengono riportati molti valori di resistenza relativi ai vari sistemi costruttivi basati sulle tecniche d'ingegneria naturalistica, che spesso differiscono vistosamente gli uni dagli altri per lo stesso tipo di opera. Sono pochi gli autori che riportano valori dedotti da sperimentazioni personali mentre molti dati sono stati copiati o semplicemente modificati ad hoc (Gerstgraser, 1998a). Nella tabella seguente sono riportati solo valori, che possono effettivamente essere ritenuti rappresentativi:

N.	Tipologia	Autore	$\tau$ [N/m <sup>2</sup> ]	v [m/s]
1	Copertura diffusa	Florineth (1982)	195 - 218	----
2	Copertura diffusa	Florineth (1995)	309*	----
3	Viminata	Steiger (1918)	50	----
4	Viminata	Gerstgraser (1998b)	100 - 120	3,2 - 3,5
5	Fascinata morta	LfU (1996)	70 - 100	2,5 - 3,0
6	Fascinata viva	LfU (1996)	100 - 150	3,0 - 3,5
7	Fascinata viva	Gerstgraser (1998b)	150 - 200	3,3 - 3,8
8	Parete di fascine	Gerstgraser (1998b)	180 - 240	3,5 - 4,0
9	Fascinate di salice su gradonate vive	Gerstgraser (1998b)	120 - 150**	2,0 - 2,5*
10	Gradonata viva su stuoia di geotessile	Gerstgraser (1998b)	120 - 160**	3,0 - 3,5*
11	Stuoia di geotessile con talee di salice	Gerstgraser (1998b)	80 - 120**	2,2 - 2,8*
12	Talee di salice	Witzig (1970)	165	----
13	Talee di salice	LfU (1996)	100 - 150	3,0 - 3,5
14	Saliceto arbustivo	Witzig (1970)	100	----
15	File di ceppaie	Gerstgraser (1998b)	50 - 80**	1,5 - 2,0*
16	Prato	Witzig (1970)	50 - (100)	----
17	Semina di erbacee	LfU (1996)	40	1,8
18	Cotica erbosa	LfU (1996)	>60	>3,5

(Costruzioni con \*: danneggiate; con \*\*: distrutte)

**Tab. 9: Valori di resistenza di opere di ingegneria naturalistica**

La resistenza di costruzioni in ingegneria naturalistica dipende sia da diversi fattori dinamici, con elevati gradienti locali, che dallo sviluppo vegetativo delle piante nel tempo. Molti di questi fattori non possono però essere definiti né quantitativamente né qualitativamente. I valori presentati in Tab. 9 rappresentano quindi una base di confronto per valutare gli sforzi massimi a cui possono essere soggette le opere di cui sopra.

Lo schema qui riportato presenta i fattori d'influenza principali, che determinano la stabilità d'opere d'ingegneria naturalistica.

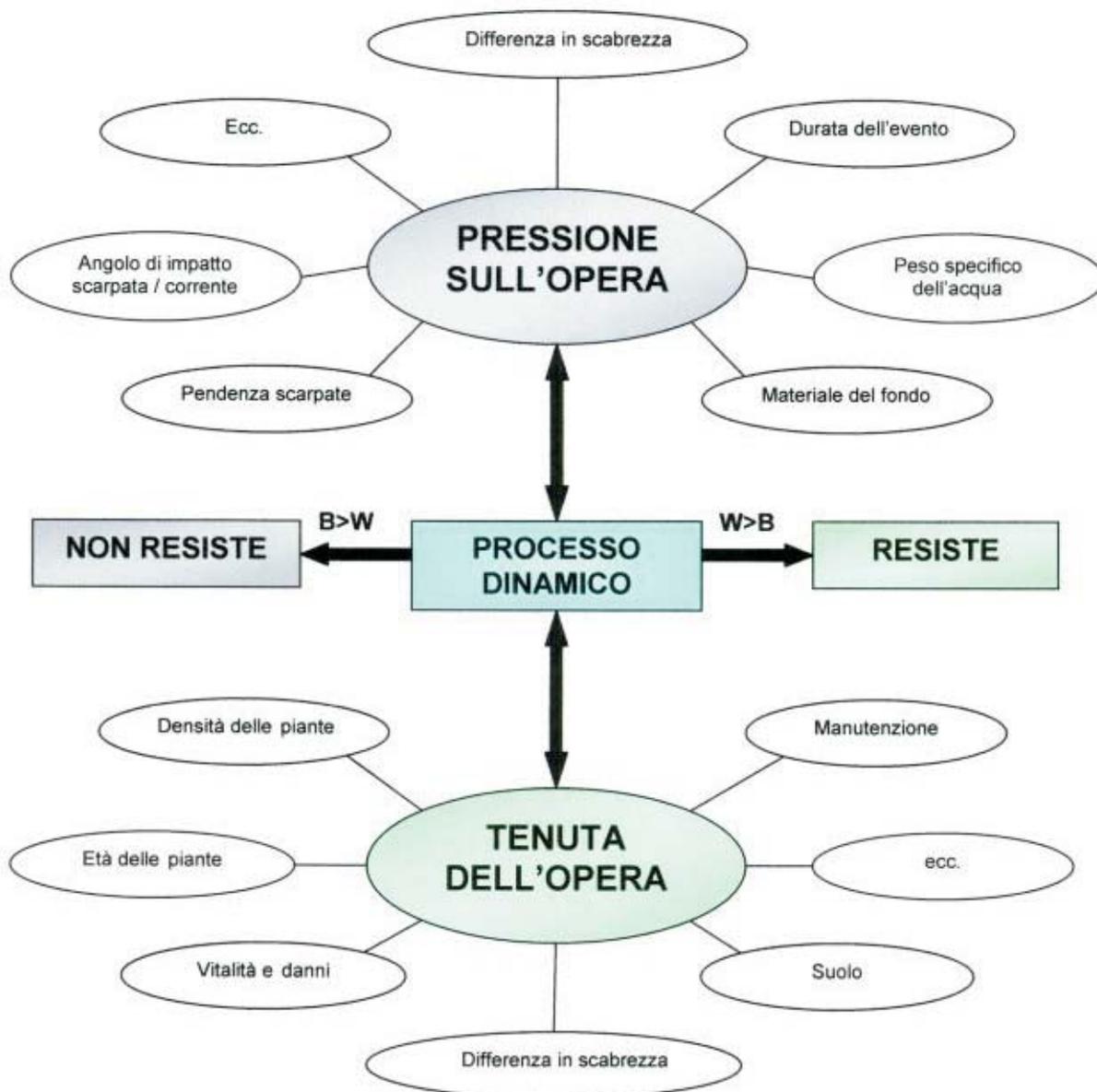


Fig.: 19: Principali fattori che influenzano la stabilità di opere d'ingegneria naturalistica durante un evento di piena

#### **4.5            *TECNICHE DI INGEGNERIA NATURALISTICA PER IL CONSOLIDAMENTO DI SPONDE FLUVIALI – OPERE LONGITUDINALI***

##### **4.5.1            Copertura diffusa di salici**

Il metodo più applicato per la sistemazione idraulica delle sponde è la copertura diffusa di salici, che produce velocemente una vegetazione ripariale fitta e regolare. La costituzione della copertura diffusa avviene tramite la messa a dimora delle piante trasversalmente alla direzione dell'acqua. Gli astoni saranno quindi legati con del filo metallico o della corda di juta a paletti di legno inseriti nel terreno. La corda di juta presenta lo svantaggio di degradarsi rapidamente (entro un anno e mezzo) e di allungarsi, se bagnata, non esercitando più la pressione necessaria sugli astoni di salice. L'intera copertura deve essere leggermente ricoperta di terra o ghiaia sabbiosa (3-4 cm), badando a non superare questa misura, per permettere ai giovani fusti di forare il ricoprimento.

Il consolidamento al piede è fondamentale per la tenuta dell'opera ed avviene tramite dei massi o una palificata semplice, una fascinata sommersa o l'utilizzo di alberi grezzi.

Questa copertura protegge la scarpata come un mantello e rappresenta, dopo l'ultimazione, un'efficace protezione meccanica. Con il passare degli anni, i salici aumentano la loro capacità di consolidamento e difesa delle scarpate, se vengono mantenuti sufficientemente elastici attraverso interventi mirati di ceduzione.

Coperture diffuse di salici dovrebbero essere costruite nel tardo autunno, per permettere ai salici di radicare rapidamente ed assicurare già nella primavera successiva una prima valida protezione contro le eventuali piene provocate dal disgelo.

A causa della loro crescita veloce, già dopo pochi mesi i salici riducono la velocità della corrente e di conseguenza la forza di trascinamento dell'acqua. Già dopo 1-2 anni i salici mostrano una resistenza al trascinamento di  $300 \text{ N/m}^2$ , e nel caso di una struttura completa con blocchi di pietra, la resistenza opposta sale fino a  $480 \text{ N/m}^2$ .

## COPERTURA DIFFUSA

con massi come protezione al piede

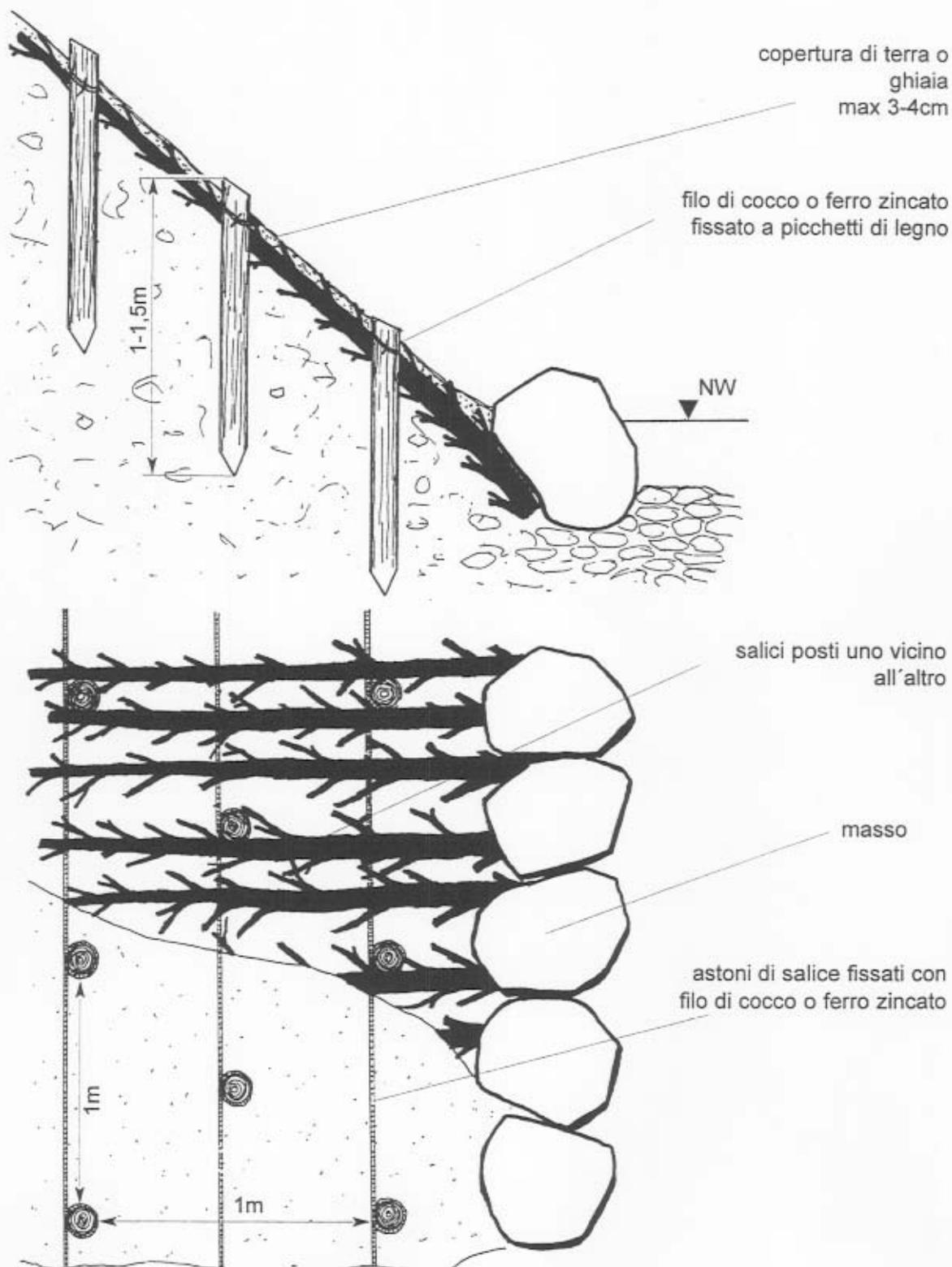


Fig. 19: Copertura diffusa con massi ciclopici al piede

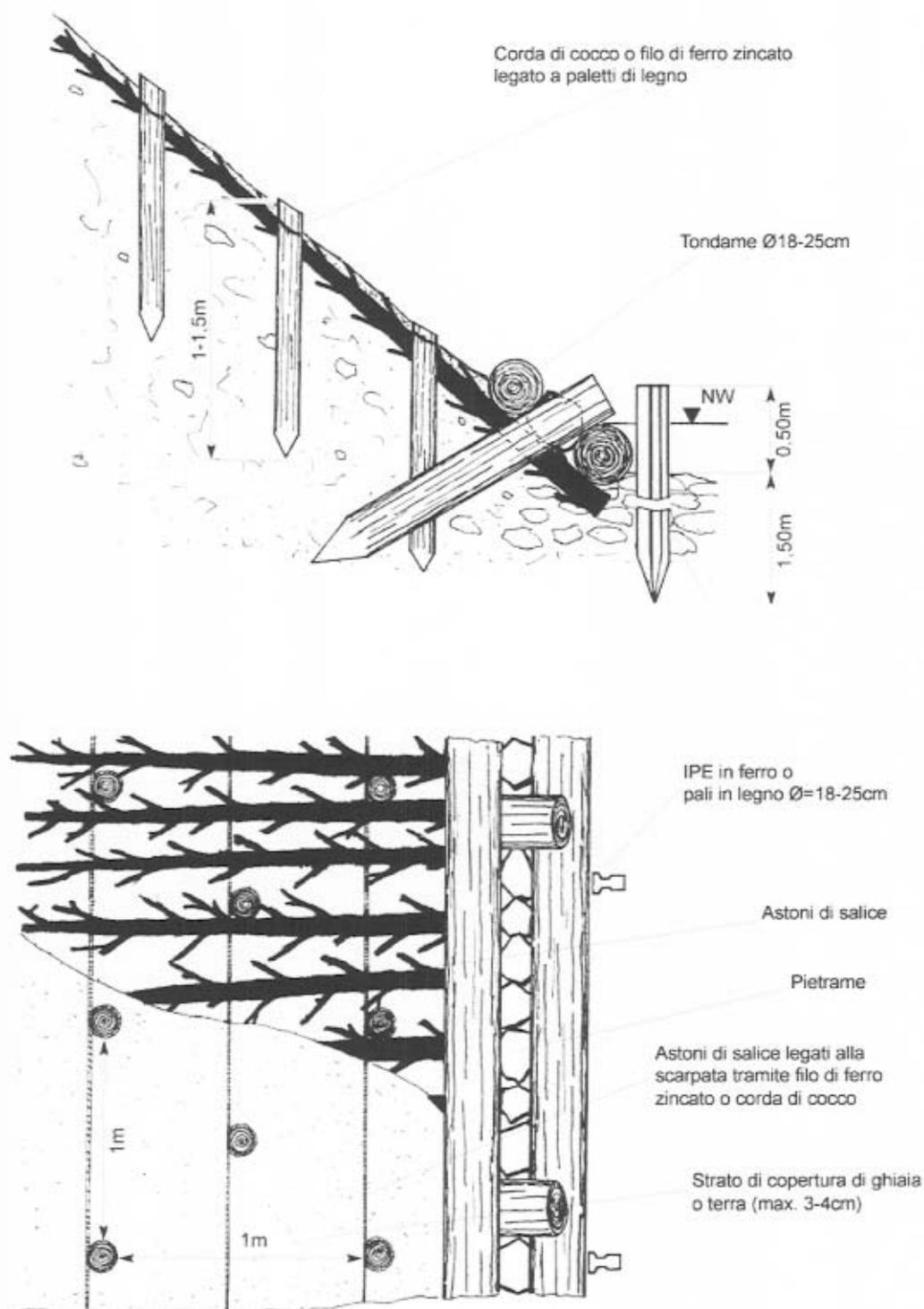


Fig. 20: Copertura diffusa di salici con palificata semplice di protezione al piede

#### 4.5.2 Fascinata di salici, fascinata sommersa e parete di fascinate

I corsi d'acqua che presentano resistenze al trascinarsi limitate a meno di 200 N/m<sup>2</sup> possono essere consolidati con delle **fascine di salici**, elementi lineari cilindrici costituiti da astoni di salice, legati insieme con un filo di ferro zincato (diametro 30-50 cm). Durante la fase di costruzione, gli astoni vengono posati su dei distanziatori di legno e legati con del filo di ferro ogni 1,0 m di lunghezza. La lunghezza ammissibile della singola fascina dipende in gran parte dal numero di operatori a disposizione per il trasporto della fascina dal luogo di costruzione al luogo d'impianto. La fascina dovrà essere posata in tal modo da avere le punte dei salici rivolte nella direzione di deflusso.

Esse saranno legate a pali di legno precedentemente battuti con un battipalo al piede della sponda o saranno ancorati alla scarpata tramite dei paletti di legno lunghi 1,0 – 1,5 m. Una metà della fascina sarà interrata nella scarpata, mentre l'altra metà verrà ricoperta da uno strato di terreno spesso non più di 3-4 cm.

La fascina di salici può essere utilizzata come difesa al piede di una scarpata o integrata in altre tipologie di difesa spondale.

La **fascinata di salici** è composta da più file di fascine posate parallelamente sulla scarpata fino a ricoprirla completamente.

Le **fascinate sommerse** (fascina dal diametro di 30 – 60 cm) sono costituite in gran parte da ramaglia morta, appesantita al centro da pietrame sciolto per farle affondare nell'acqua; questi cilindri vengono ancorati a pali di legno infissi davanti alla sponda e rappresenta un'ottima difesa al piede, su cui possono essere posate delle fascine vive.

La **parete di fascine** è composta da diverse file di fascine vive posate una sopra all'altra fino a costituire una parete verticale. Esse vengono legate a forti pali di legno (18-25 cm) infissi davanti alla sponda. Alla base dell'opera viene inserita una fascinata sommersa.

Con questo sistema si possono proteggere efficacemente e molto velocemente sponde verticali o molto ripide, alte non più di 1,0 m. A causa della verticalità della tipologia e del conseguente ombreggiamento delle fascine inferiori da parte di quelle superiori, la vitalità delle prime sarà particolarmente ridotta. Anche per questo motivo è consigliabile utilizzare questa tecnica solo quando sussiste un'assoluta mancanza di area su cui lavorare. Un ulteriore svantaggio da considerare è la forte dipendenza della funzione protettiva dalla durata dei piloti di legno, a cui sono legate le singole fascine.

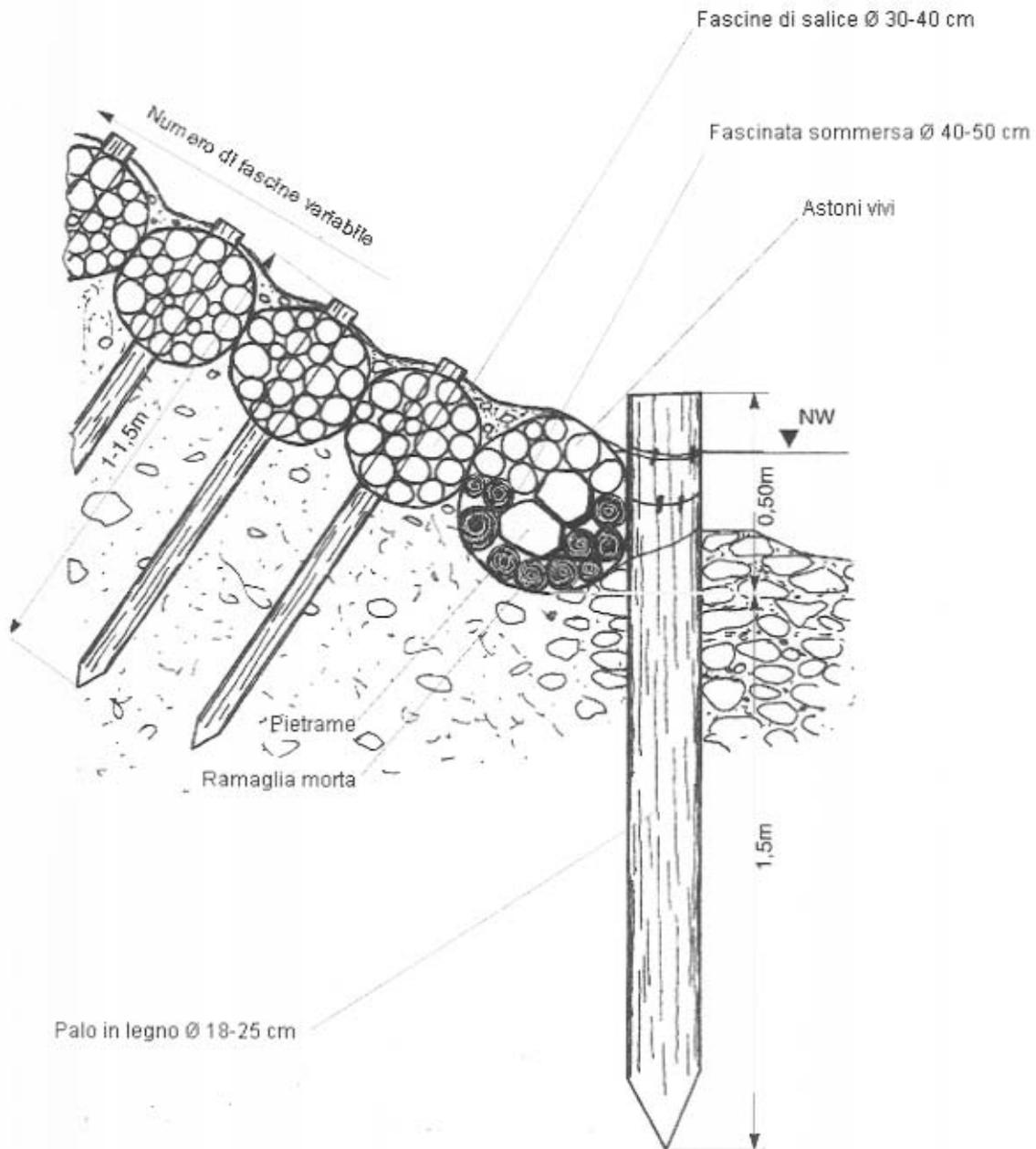


Fig. 21: Fascinata viva di salici con una fascina sommersa come difesa al piede

## PARETE DI FASCINATE

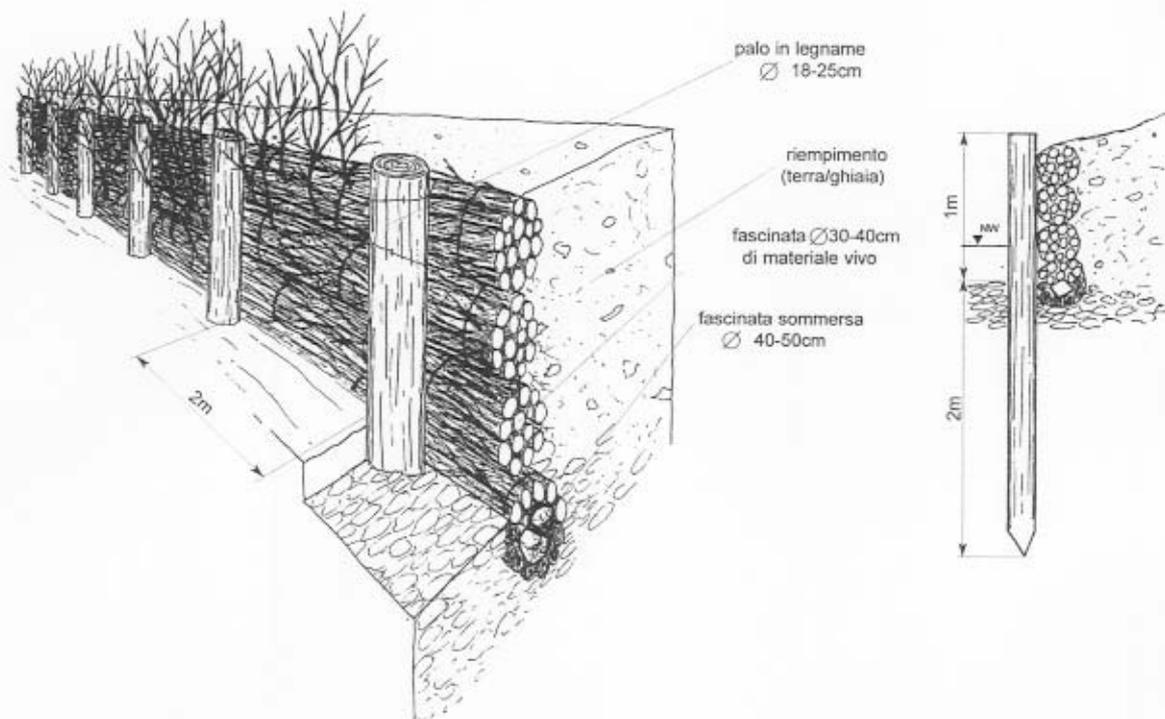


Fig. 22: Parete di fascinate

## 4.5.3 Fascinata di salici su gradonata viva (ribalta viva)

Si tratta di una combinazione tra la fascinata viva e la gradonata viva, molto impegnativa nella sua esecuzione; vengono posate in opera alternativamente file di fascine e gradoni coperti da talee di salici. Le talee devono essere spesse da 3 a 8 cm e lunghe da 100 a 150 cm. Esse vengono fissate tramite il peso delle fascine, che lasciano liberi i primi 20–60 cm delle talee. Le fascine vengono ancorate tramite dei paletti di legno. Al piede di questa sistemazione può essere inserita una fascinata sommersa per maggiore stabilità.

Le punte delle talee di salice creano forti turbolenze che portano al dilavamento del materiale terroso tra le fascine. Non è quindi consigliabile scegliere questa tecnica nella parte di scarpata, che può essere interessata dalla portata di piena.



#### 4.5.4 Rullo di canne o rullo con ramaglie e sassi

I rulli, al contrario delle fascinate, sono completamente ricoperti da filo metallico o da una rete geotessile.

I rulli con ramaglie e sassi sono cilindri di ghiaia tenuta insieme da una rete di ferro zincata, con astoni vivi di salici nella parte superiore, che vengono ricoperti di un sottile strato di terra dopo la posa del rullo.

Questa opera é dispendiosa, ma si adatta molto bene come protezione della base di opere d'ingegneria naturalistica longitudinali.

### RULLO CON RAMAGLIA E SASSI

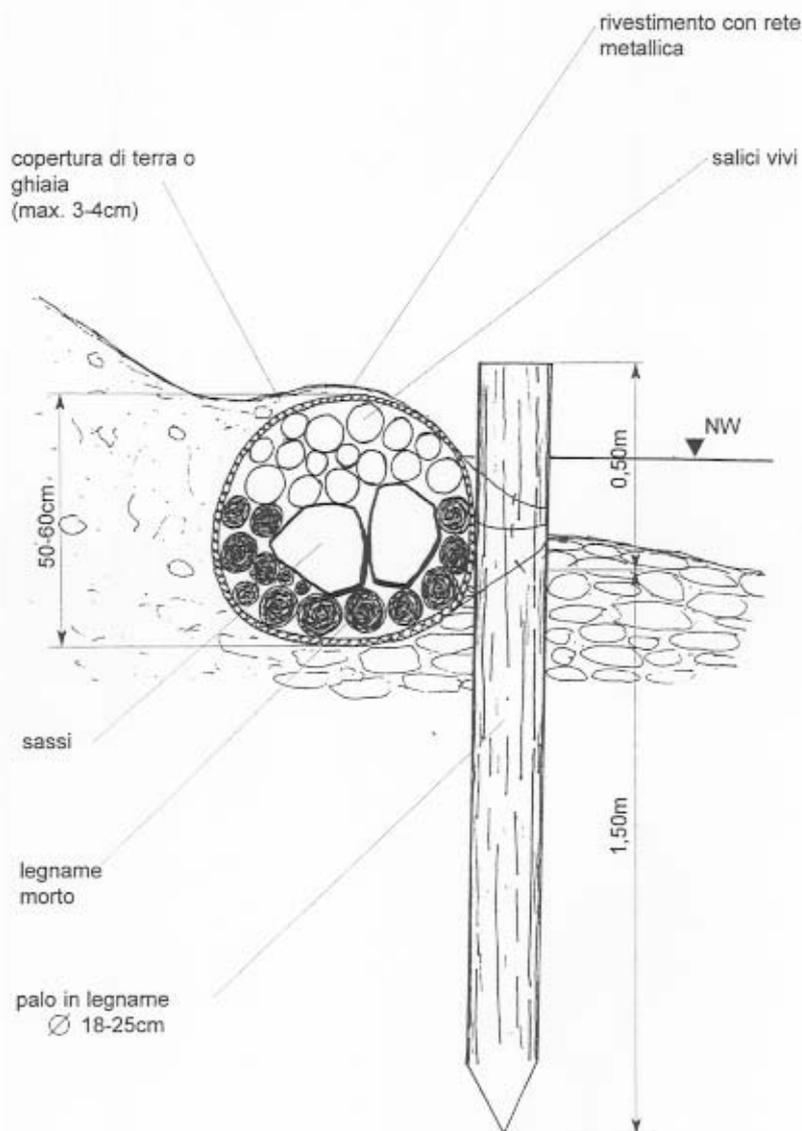


Fig. 24: Rullo con ramaglia e pietrame

I rulli con canna di palude o piante simili vengono riempiti con ghiaia per i due terzi del loro volume mentre nella parte finale vengono sistemati i fusti di canna di palude o di tife. Infine le reti metalliche o di geotessile vengono cucite insieme; al contrario delle fascinate, questa tecnica viene usata in corsi d'acqua lenitici, a deflusso lento e senza trasporto di materiale detritico (al massimo sabbia fine).

## RULLO DI CANNE

con gabbionata cilindrica come protezione al piede

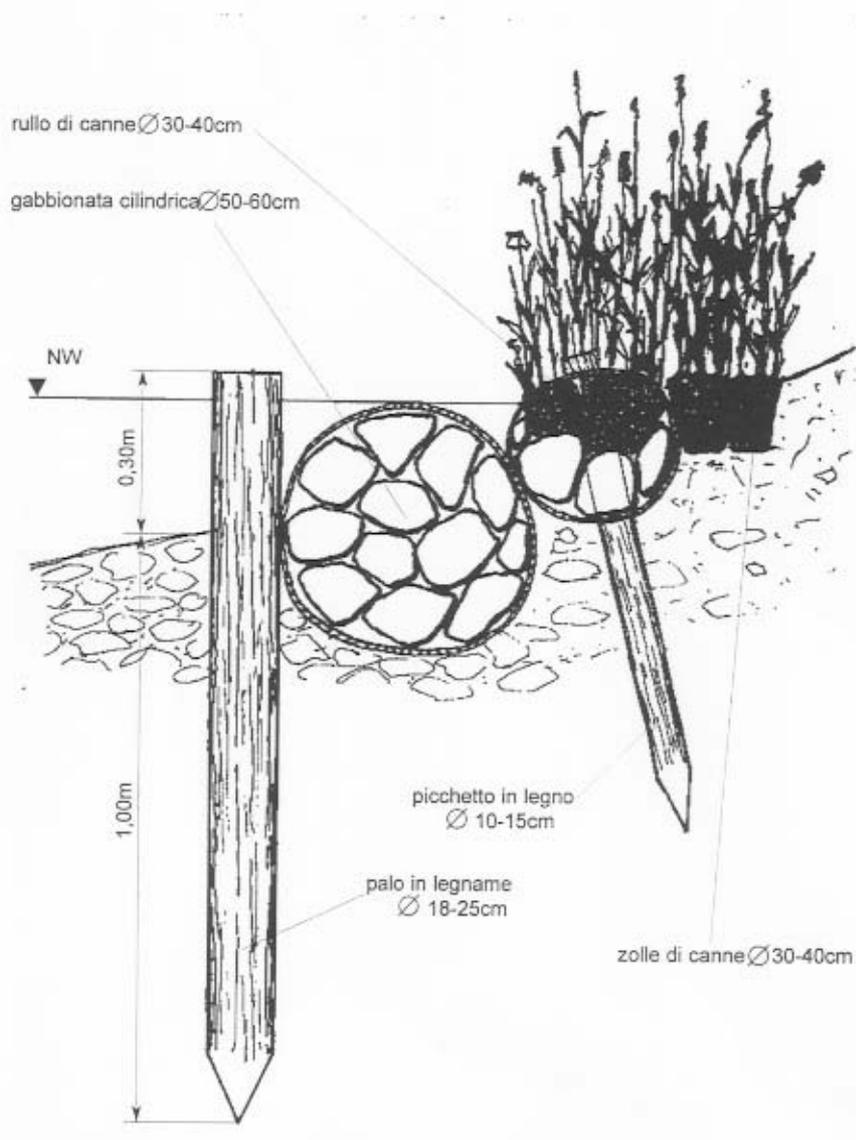


Fig. 25: Rullo di canne con una gabbionata cilindrica come difesa al piede

#### 4.5.5 Viminata di salici

Le viminate sono state usate molto frequentemente nel passato contro l'erosione superficiale nella sistemazione dei pendii. A causa dell'insufficiente copertura con materiale terroso ed il susseguente essiccamento delle piante, però, solo raramente hanno portato allo scopo desiderato. Le viminate si applicano, quindi, molto meglio nel contesto di difese spondali, dove da un lato hanno il terreno in cui radicare e dall'altro trovano sufficiente umidità per crescere rigogliose.

Per motivi di sviluppo delle piante e della funzione di difesa solo lineare, la viminata non dovrebbe mai superare i 50 cm in altezza. Essa può resistere anche a forze di trascinamento relativamente alte, se composta da astoni di buono spessore (3-8 cm). La distanza orizzontale dei piloti in legno infissi davanti alla sponda non deve superare 1,0 – 1,2 m di distanza l'uno dall'altro, per non fare troppo sforzo sui singoli astoni. I piloti in legno devono misurare tra i 10 e i 15 cm di diametro, e possono essere sostituiti da rami di salice vivi dello stesso spessore, quando il substrato non si rivela troppo pietroso.

Si sconsiglia l'uso di ramaglia di *Salix fragilis* per questa tecnica, poiché, come già indica il nome della specie, essa si spezza facilmente durante la flessione dei rami. Gli astoni vengono intrecciati alternativamente intorno ai piloti di legno, badando a tenere gli estremi più spessi verso l'interno della scarpata, e di posare le punte dei rami nella direzione di deflusso. Per garantire poi un buon approvvigionamento di acqua a tutti gli astoni, essi non vengono posati parallelamente al fondo ma diagonalmente ad esso, con l'estremo più forte interrato nel piede della sponda. Partendo da valle e lavorando verso monte si ottiene automaticamente il risultato voluto.

La viminata di salici si presta a lavori di risistemazione di piccoli rivi e a canali d'irrigazione, che non sono caratterizzati troppo di frequente da forti portate.

Questa tecnica è puramente lineare, ma consuma poco materiale ed è semplice e veloce nella costruzione.

## VIMINATA

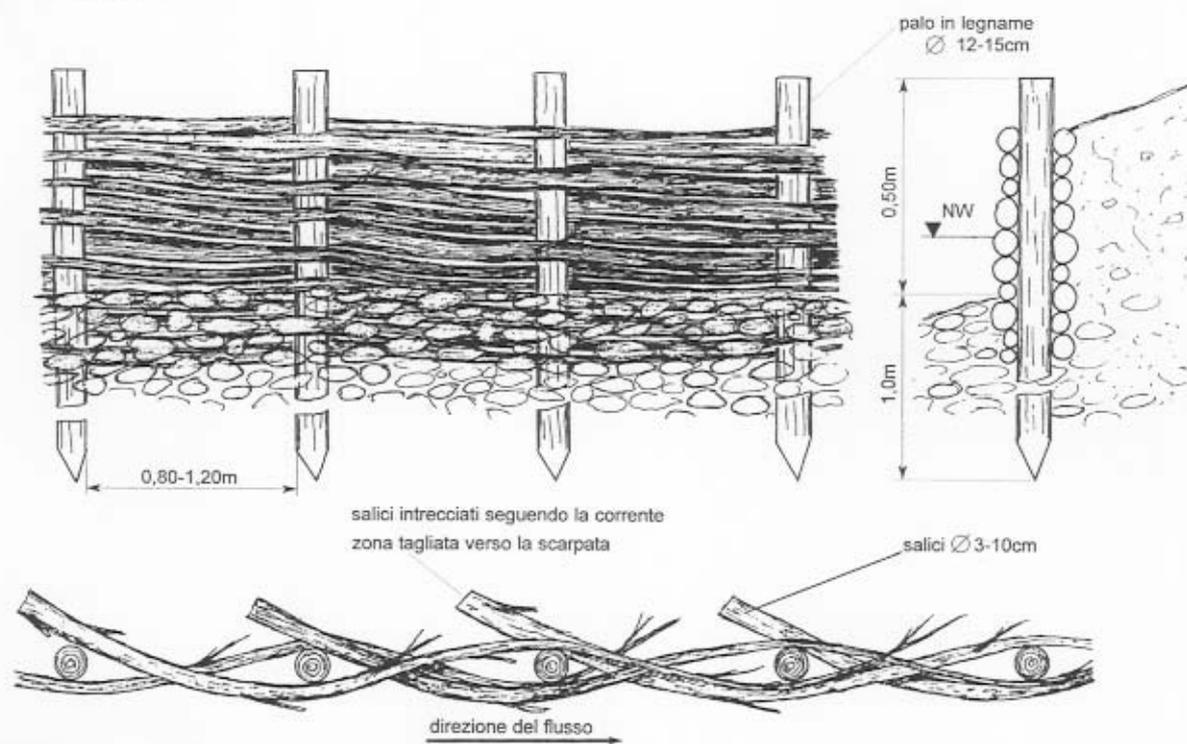


Fig. 26: Viminata viva di salici ad intreccio orizzontale

## VIMINATA SPONDALE

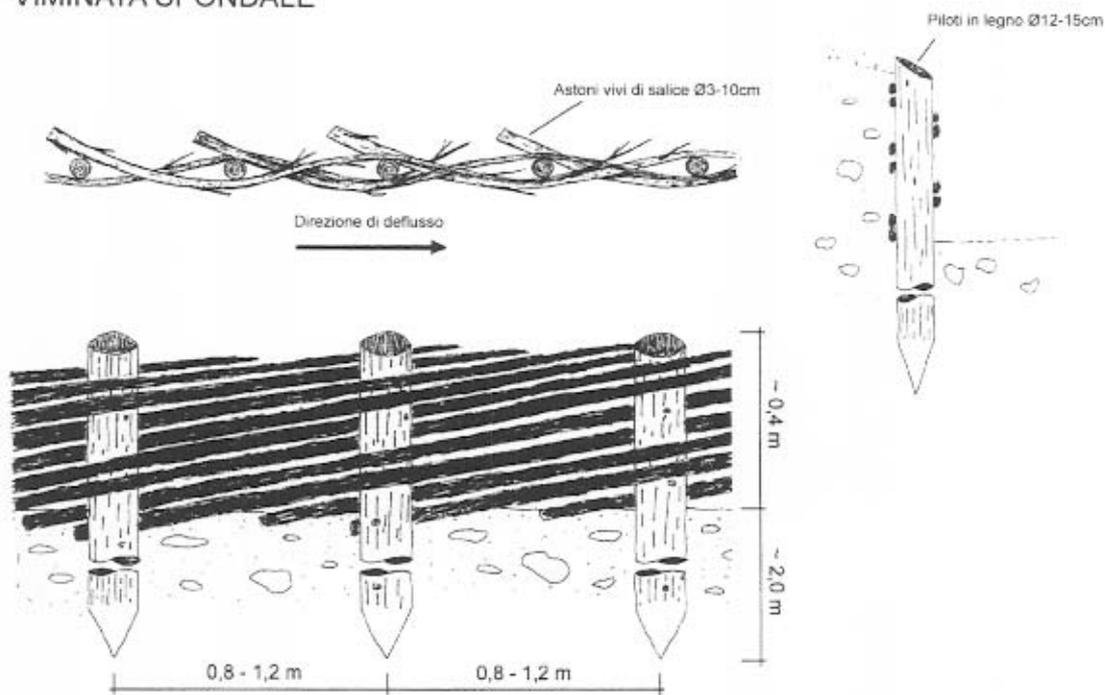


Fig. 27: Viminata viva di salici ad intreccio diagonale

#### 4.5.6 Gradonata di ramaglia viva su stuoia di geotessile

Del materiale di riporto (ghiaia, pietrame, sabbia...) viene raccolto ed avvolto in un tessuto di fibra di cocco (700 g/m<sup>2</sup>) o in un altro tessuto geotessile. Gli strati di terreno così costituiti formano una scarpata di 30-45°, mai superiore all'angolo di natural declivio del riempimento utilizzato. Tra i pacchi di geostuoia vengono posati degli astoni vivi di salici lasciando fuoriuscire solo i primi 30 cm degli astoni, che verranno poi ricoperti da un leggero strato di materiale di riporto.

I salici radicano attraverso le reti geotessili e conferiscono alla scarpata la stabilità, anche dopo la rottura del tessuto. Non è consigliabile l'utilizzo di questa tipologia nel campo d'azione della piena ordinaria, perché le gradonate vive rappresentano una difesa lineare e non per tutta la superficie della scarpata. Possono quindi essere dilavati gli strati intermedi del materiale di riempimento.

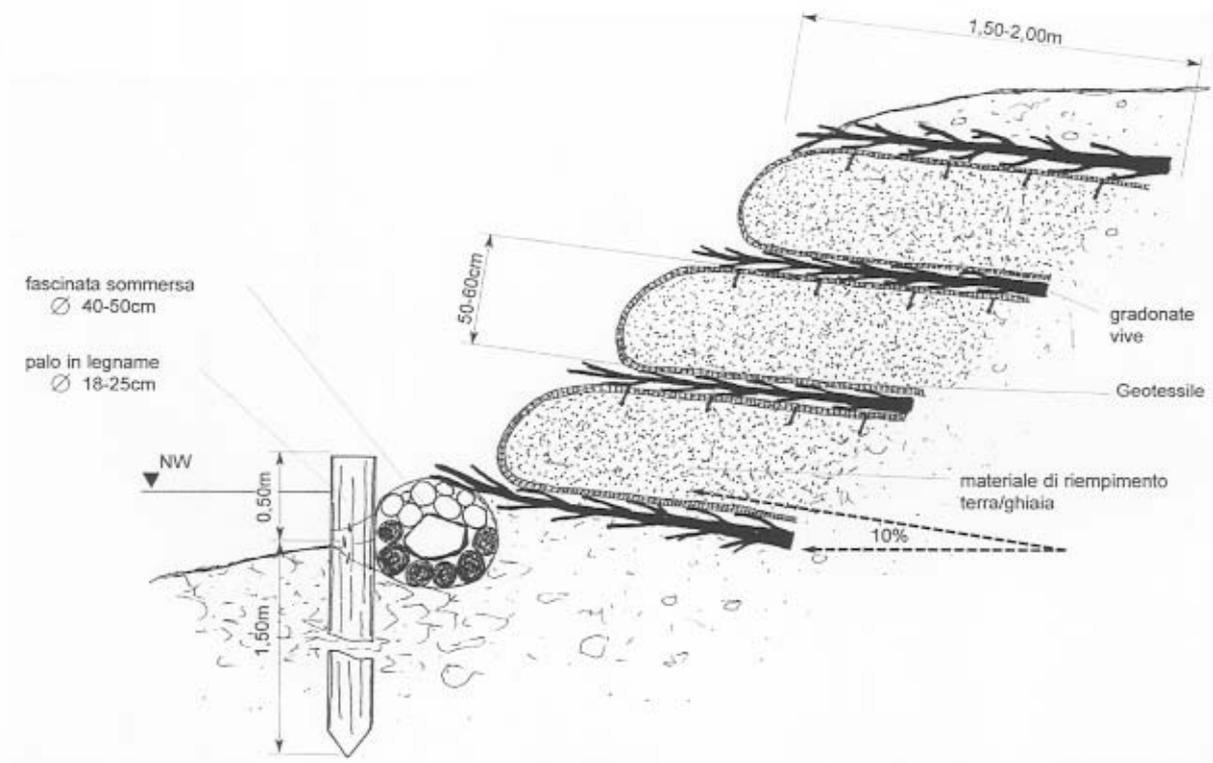


Fig. 28: Gradonata di ramaglia viva su stuoia di geotessili

#### 4.5.7 Fila di ceppaie rafforzata con pali

Ceppaie vive o morte vengono poste in fitte file e fissate con un filo d'acciaio ad un palo di legno anticipatamente infisso nella sponda; lo spazio tra le ceppaie viene riempito con pietrame e materiale di riporto fluviale.

Questa opera, ad alta valenza ecologica grazie alle numerose cavità che crea nella sua parte sommersa, rende le sponde assai scabre, anche se, soprattutto inizialmente, le parti di tronco emergenti producono forti turbolenze, indebolendone la struttura.

Le ceppaie possono essere utilizzate per la sistemazione puntuale di scarpate molto dolci o come elementi strutturali in interventi di riqualificazione spondale. Esse debbono comunque essere ben inserite nelle scarpate e non fuoriuscirne per più di 20 cm.

#### FILA DI CEPPAIE

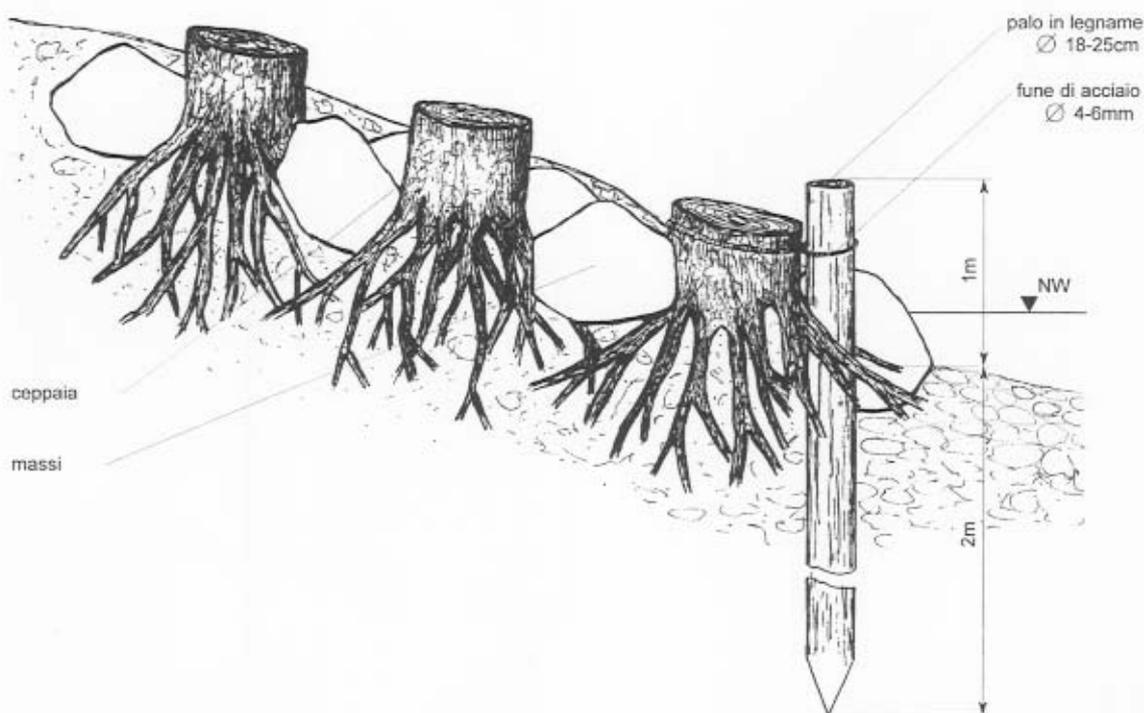


Fig. 29: Fila di ceppaie

#### 4.5.8 Palificata spondale viva

La palificata spondale viva è una tecnica conosciuta ed applicata da centinaia d'anni. A pali di legno infissi verticalmente per i due terzi della loro lunghezza davanti alla sponda (sono utilizzati pali lunghi 3 m), vengono inchiodati orizzontalmente dei pali sul lato rivolto verso la sponda. Questi pali "correnti" si appoggiano su dei "traversi", che entrano nella scarpata perpendicolarmente alla direzione della corrente.

Nella parte sommersa della costruzione gli spazi di risulta tra il tonnage vengono riempiti con pietrame o fascine di materiale morto. Gli stessi spazi sopra al livello dell'acqua vengono chiusi tramite delle fascine vive. Le fascine devono essere ricoperte di terra per poter germogliare e poter sostenere la scarpata anche dopo il cedimento del legname.

Questa sistemazione permette di risparmiare molto spazio, ma è poco funzionale dal punto di vista ecologico, e presenta una ridotta funzione di consolidamento per la struttura verticale e scabra.

#### Palificata spondale viva

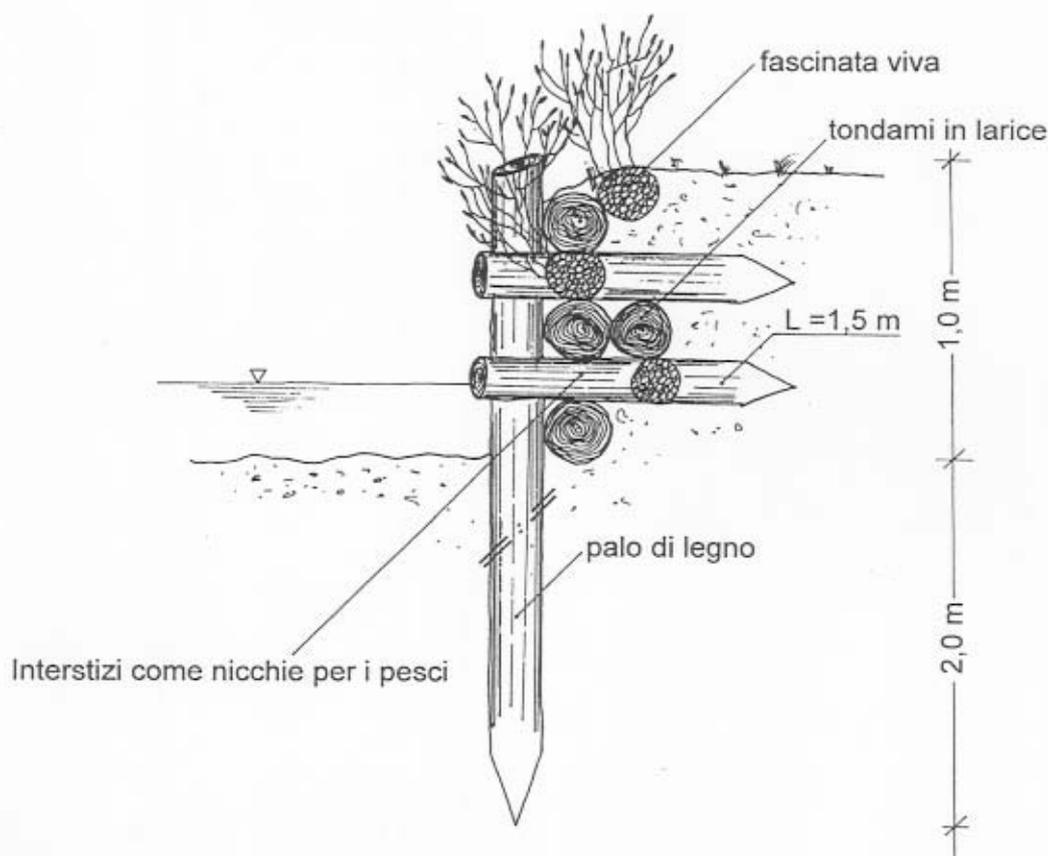
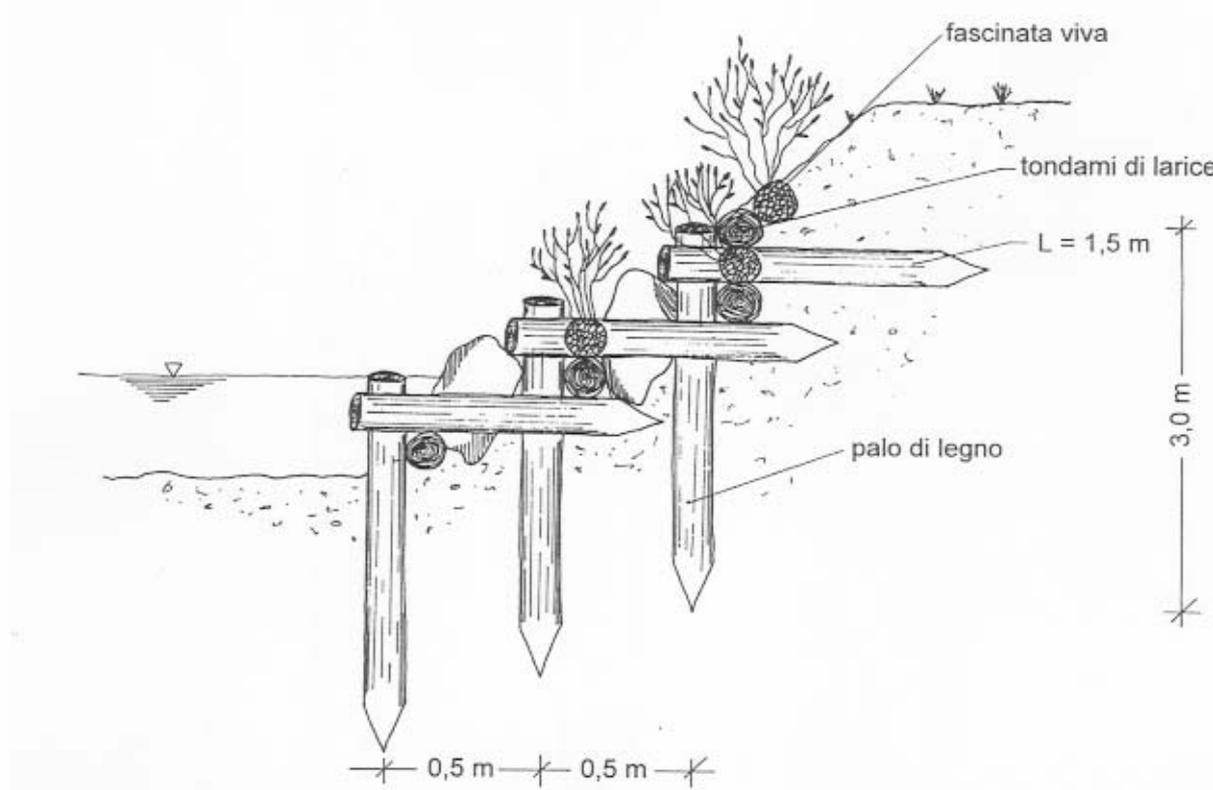


Fig. 30: Palificata spondale semplice verticale

### Palificata spondale viva a gradini



**Fig. 31: Palificata spondale semplice a gradini**

La palificata spondale può essere realizzata anche a gradini, raggiungendo una più alta stabilità, una connessione migliore con la sponda ed un passaggio più dolce al territorio circostante.

#### 4.5.9 Palificata spondale a parete doppia (alla carniolica)

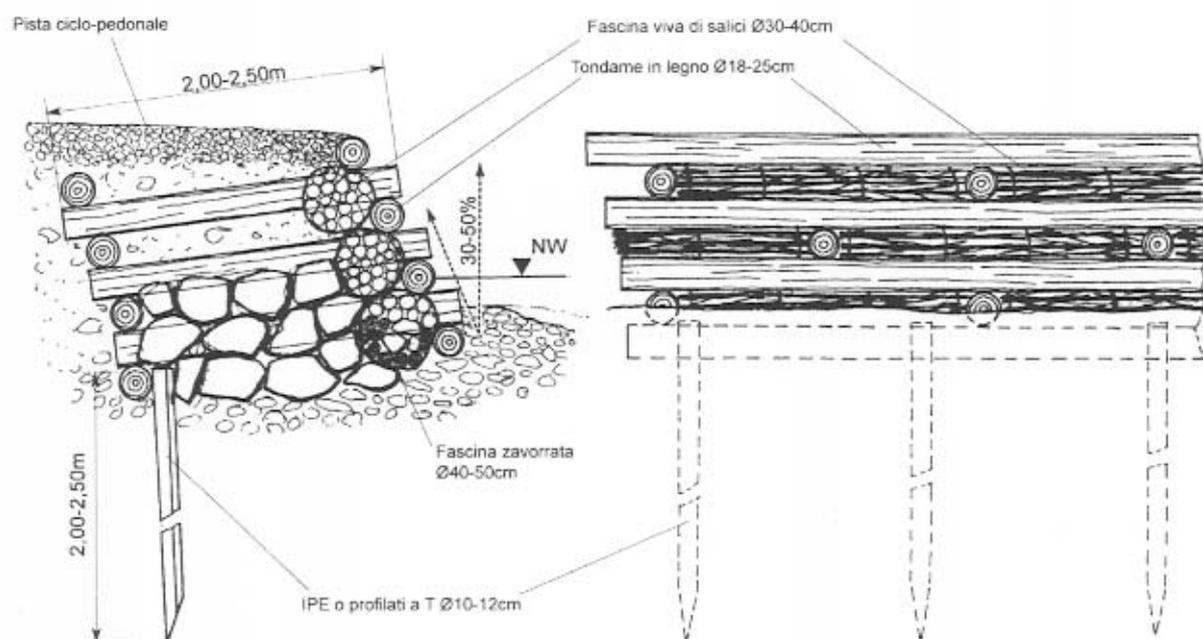
Pali di legno spessi da 18-25 cm, "correnti" e "traversi" vengono inchiodati alternativamente l'uno sopra all'altro fino a formare una cassa di legno.

Gli spazi tra i pali rivolti verso la corrente vengono riempiti con delle fascine vive di salici, che radicano nel riempimento di materiale ghiaioso-sabbioso riportato all'interno della palificata. Le fascine devono infine essere ricoperte di materiale terroso, per garantire un buono sviluppo dei salici.

Nella sua parte sommersa la palificata può essere riempita con piccoli massi o con fascine di materiale vegetale morto.

Gli spazi tra i pali vengono riempiti di fascine e non di gradonate perché queste vengono dilavate durante forti eventi di piena.

## PALIFICATA SPONDALE A PARETE DOPPIA



**Fig. 32: Palificata spondale a parete doppia con fondo antidilavamento**

#### 4.5.10 Palizzata in legname

Come per la palificata spondale semplice anche la costruzione della palizzata viva prevede l'inserimento di pali verticali al piede della scarpata, a cui vengono poi inchiodati sul lato rivolto verso la sponda dei pali "correnti", poggiati l'uno sopra l'altro. La parte posteriore della struttura viene poi colmata con del materiale di riporto.

In questo modo non si creano gli interspazi, in cui potevano essere inserite le fascine di salice. Per questo motivo è assolutamente necessaria la piantumazione di piantine radicate nel terreno sopra alla struttura.

In questo tipo di struttura viene a mancare la connettività terra – acqua. Ciò comporta uno svantaggio dal punto di vista ecologico che deve essere minimizzato costruendo la palizzata la più bassa possibile.

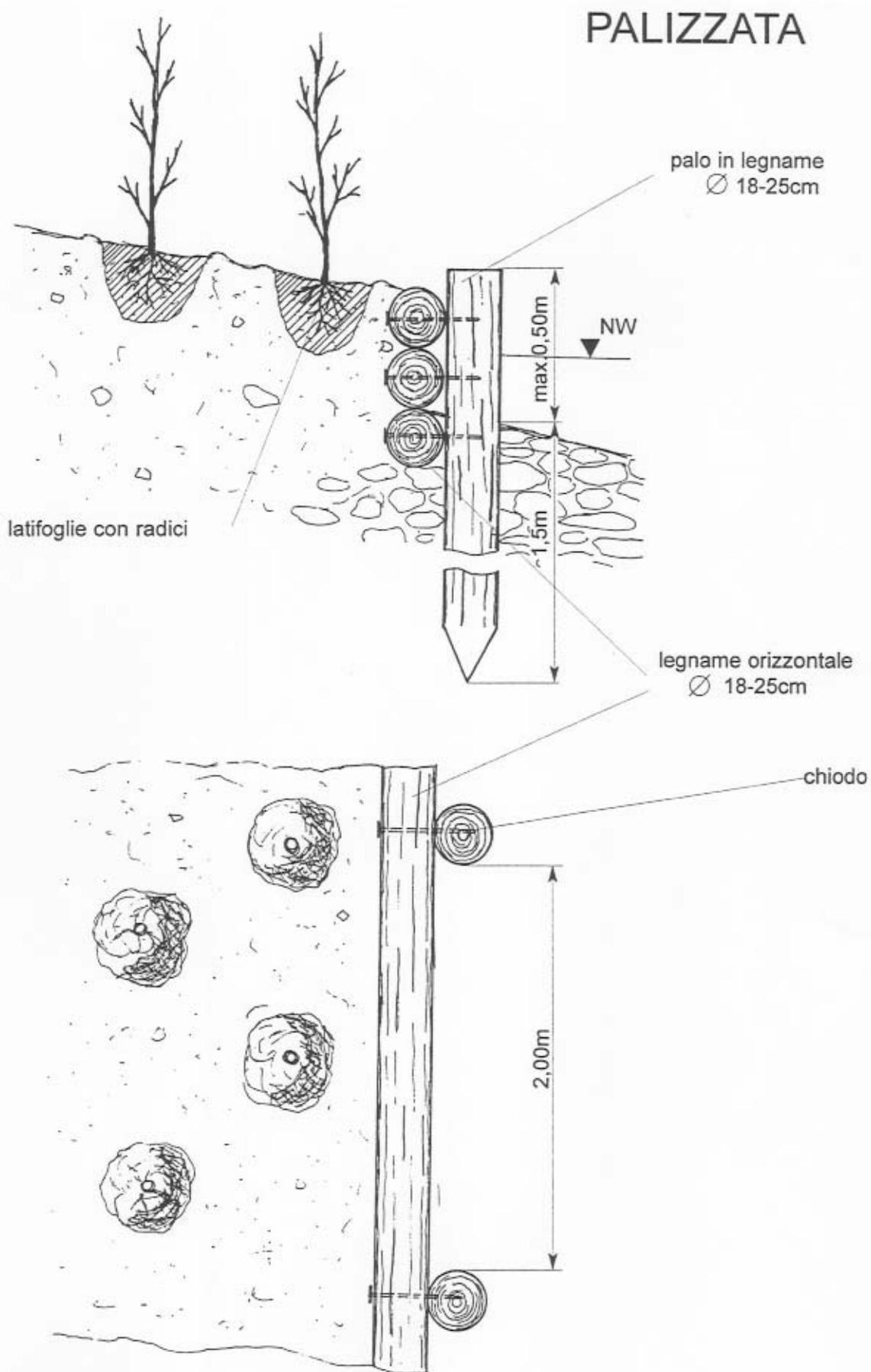


Fig. 33: Palizzata in legname

#### 4.5.11 Utilizzo di alberi grezzi

Questa tipologia di difesa spondale è la più antica di cui si hanno notizie (utilizzata già in tempi romani). Essa è applicata soprattutto in caso di eventi di piena catastrofici, per proteggere le sponde danneggiate, in via provvisoria, da un'ulteriore erosione.

Gli alberi proteggono la sponda dal più immediato attacco dell'acqua, diminuendone la velocità di deflusso e facendo sì che vi si depositino dei detriti.

Per questo metodo sono più adatte le conifere dalla copertura d'aghi più folta e più elastiche (in particolare l'abete rosso), che vengono sistemate con la chioma nella direzione della corrente, e fissati con corde e picchetti alla sponda intatta (possono eventualmente essere utilizzate anche le latifoglie).

La protezione attuata da questo genere d'opera è temporanea: l'albero grezzo deve essere sostituito o integrato da opere d'ingegneria naturalistica più durature.

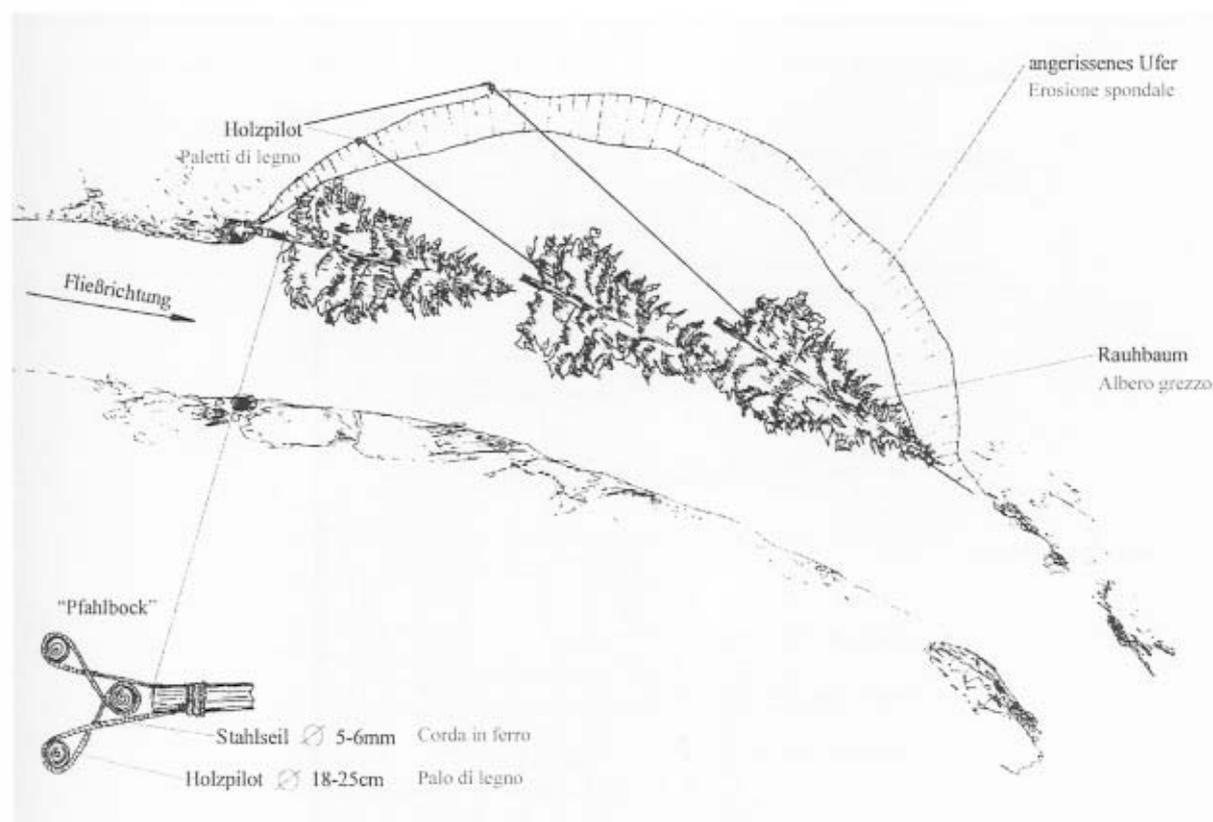


Fig. 34: L'utilizzo di alberi grezzi come intervento di difesa spondale provvisorio

## ALBERO INTERO CON ASTONI E TALEE

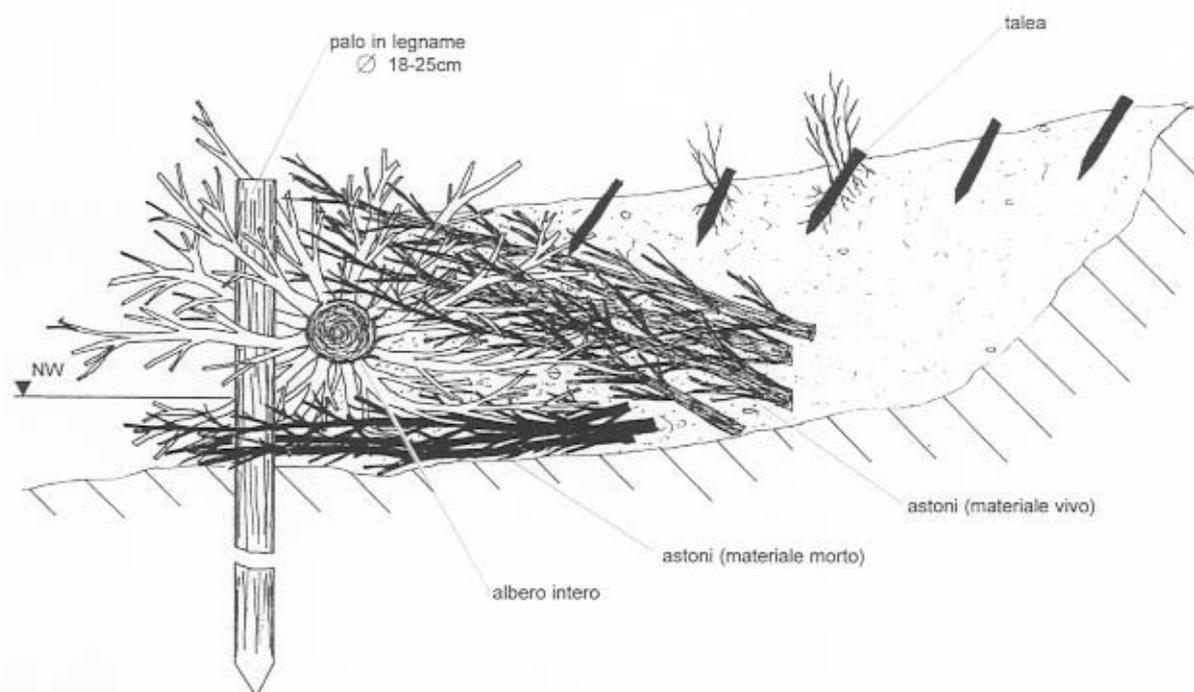


Fig. 34: Albero grezzo con astoni e talee

## 4.5.12 Graticciata a strati con ramaglia e ghiaia

La graticciata con ramaglia e ghiaia si applica per il ripristino di sponde con erosioni fresche, e consiste nella sovrapposizione di ramaglia varia e di materiale fluviale, sistemati in strati alterni.

Gli strati di ghiaia terminano verso la corrente con una fascina viva di salici, per evitarne il dilavamento. Durante la costruzione, gli strati di ramaglia (materiale vegetale anche morto) devono essere ricoperti dal materiale di riporto in tal modo da riempire perfettamente tutti gli spazi tra i rami. Ciò evita successivi movimenti d'assestamento dell'opera. La ramaglia nello strato superiore è viva e viene infine ricoperta da 3-4 cm di materiale.

## GRATICCIATA DI RAMAGLIA E GHIAIA A STRATI

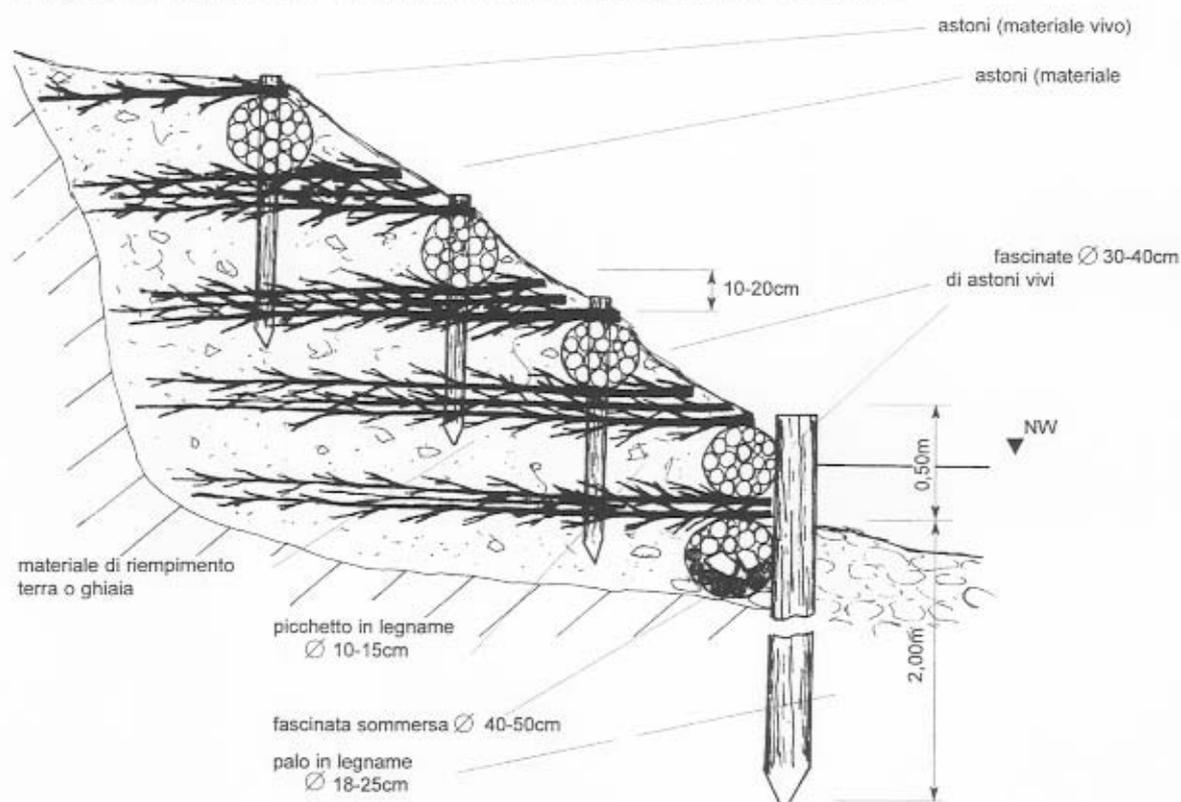


Fig. 36: Graticciata a strati con ramaglia e ghiaia

## 4.5.13 Graticciata di ramaglia intrecciata

Questo metodo ideato da R. Prückner (1965), consiste di vari strati di ramaglia posati alternativamente e perpendicolarmente gli uni rispetto agli altri. Essi vengono legati tramite del filo di ferro, fissato a pali di legno infissi sul fondo, ed inoltre appesantiti con del pietrame adatto. Il materiale utilizzato può essere morto, ma gli strati superiori ed esterni devono essere vivi.

Anche la graticciata di ramaglie intrecciata si presta alla sistemazione di erosioni fresche. La ramaglia frena la velocità di deflusso dell'acqua ed innesta un processo di deposito del materiale fine.

La scelta tra le due ultime tecniche presentate (12 e 13) dipende in gran parte dalla disponibilità del materiale necessario.

## GRATICCIATA DI RAMAGLIA INTRECCIATA

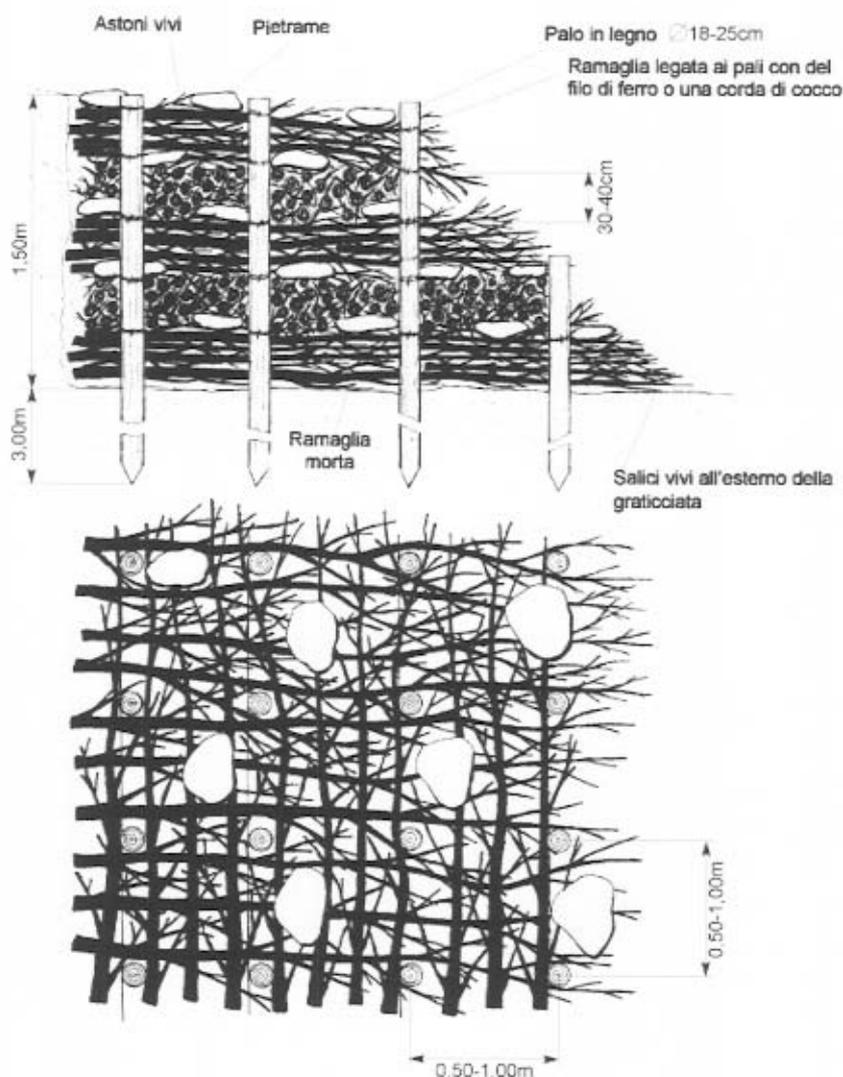


Fig. 37: Graticciata di ramaglia intrecciata

#### 4.5.14 Recinzione di interrimento

Questo metodo (R. Prückner) prevede la costruzione di un recinto lungo la direzione della corrente ed eventualmente anche di tratti trasversali ad essa, che dal recinto principale raggiungono la sponda. La recinzione é costituita da pali di legno (diametro 18-25 cm) infissi nel fondo del corso d'acqua ogni 2,0 m. Questi vengono poi collegati orizzontalmente tramite aste di legno alte 10-12 cm, inchiodate ai pali su diverse file. La distanza tra una fila e l'altra di aste dipende principalmente dalla granulometria dei detriti trasportati. La recinzione devia la corrente dell'acqua proteggendo la sponda dall'attacco diretto del flusso d'acqua e permettendo allo stesso tempo il deposito di materiale dietro alla stessa opera.

La recinzione si adatta alla ricomposizione ed all'interrimento naturale di una sponda erosa (soprattutto all'esterno di ampie curve di torrenti con un forte trasporto solido). Nella fase iniziale di deposito si creano importanti zone a corrente lenta.

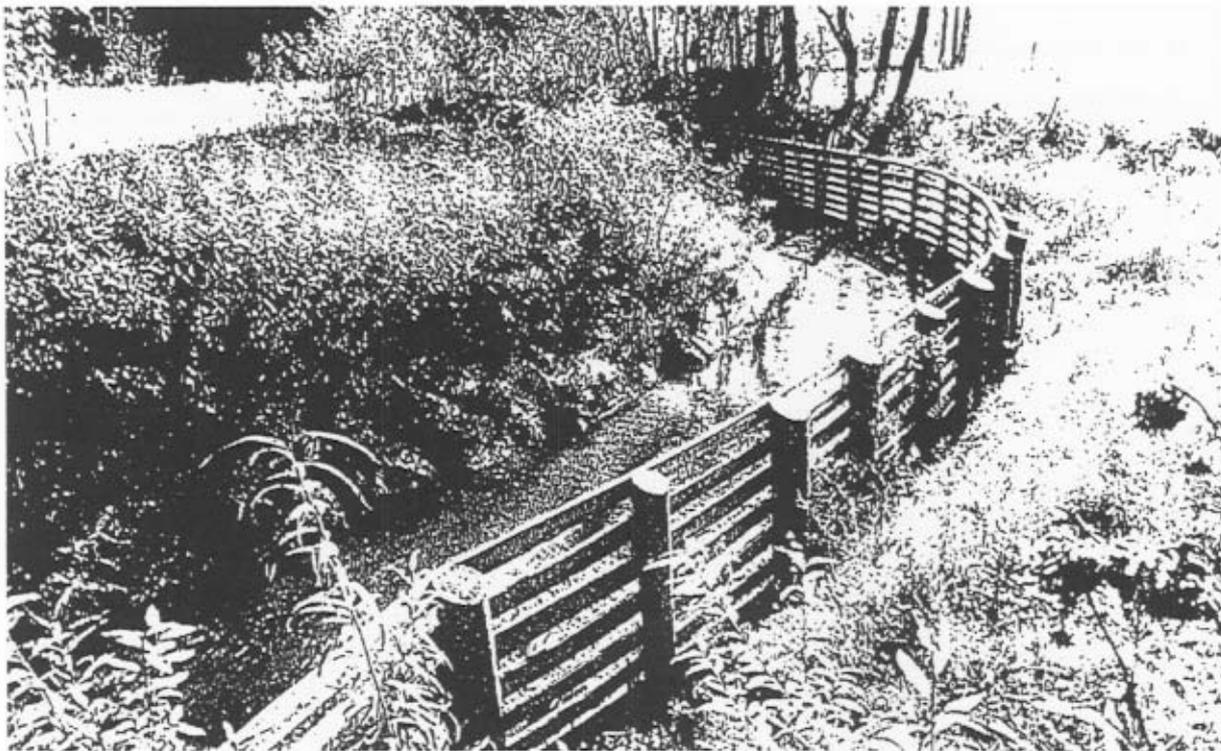


Fig. 38: Recinzione di interrimento sul torrente Lungitz in Stiria (Austria)

#### 4.5.15 Frangiflutto vegetato

Questa tecnica, molto utilizzata nel settentrione della Germania, è adatta alla protezione delle sponde di laghi o di canneti da forti moti ondosi, provocati p.es. dal vento o da motoscafi.

Vengono inseriti nel fondo del lago due file di pali di legno distanti 40 – 50 cm l'una dall'altra. Lo spazio tra le due file viene riempito con fascinate sommerse, fascine vive, ramaglia o del tondame, legando bene la fascina superiore ai pali verticali con del filo di ferro zincato o una corda d'acciaio.

Quando al posto delle file di pali viene eseguita una viminata, si parla di una "palizzata longitudinale intrecciata".

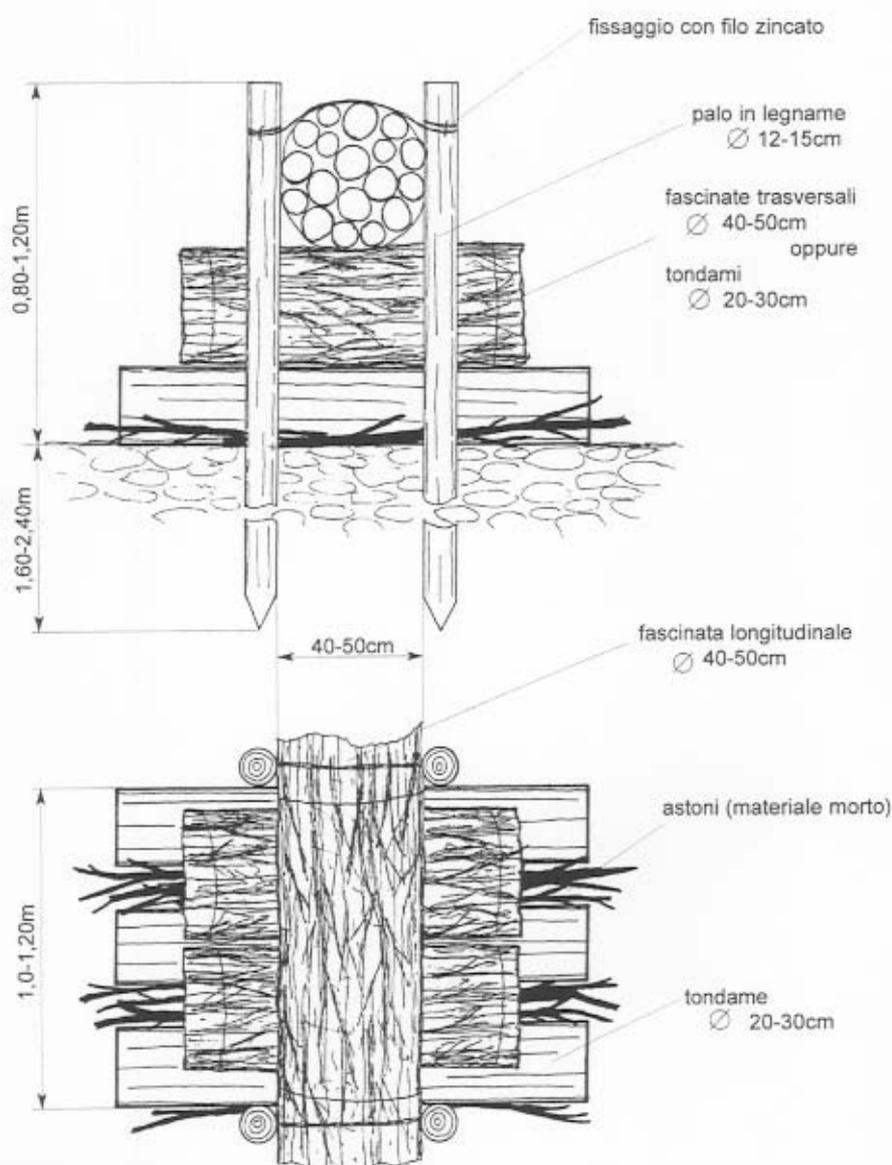


Fig. 39: Frangiflutto vegetato

#### **4.6            *TECNICHE DI INGEGNERIA NATURALISTICA PER IL CONSOLIDAMENTO DI SPONDE FLUVIALI – OPERE TRASVERSALI***

##### **4.6.1            Repellenti vivi (pennelli vivi)**

I repellenti vivi sono opere trasversali rispetto alla direzione della corrente, che partendo da un buon allacciamento alla sponda si portano all'interno dell'alveo. Al contrario delle opere longitudinali essi svolgono la loro funzione solo localmente, in modo puntiforme. Questa tecnica può essere applicata nei corsi d'acqua più ampi (alveo largo più di 10 m), dove svolge la funzione di protezione e risanamento di sponde erose.

Secondo la funzione per loro prevista, i repellenti si suddividono in pennelli di magra, pennelli di morbida e pennelli di piena. Secondo la loro inclinazione rispetto alla direzione di deflusso, si definiscono inclinanti (contro il verso della corrente) o declinanti (nel verso della corrente). Particolarmente efficaci per la stabilizzazione delle sponde si sono rivelati i pennelli inclinati con un angolo di 75-80° contro la direzione della corrente, perché deviano il flusso della corrente verso il centro del fiume.

Se utilizzati in serie i singoli repellenti non devono distare più di 1,5-2,5 volte della loro lunghezza l'uno dall'altro, per evitare che la corrente possa nuovamente raggiungere la sponda, erodendola. Tra un repellente e l'altro, si creano delle zone di ristagno dove vengono depositati grandi quantità di detriti (sabbia, legname,...). I campi tra i repellenti hanno quindi un importante significato ecologico, in cui si possono trovare appunto zone di ristagno idrico o di corrente rallentata, habitat idonei alla fregola o per lo sviluppo dei pesci più giovani. Lo sviluppo di queste zone dipende unicamente dalla successione naturale e può essere colonizzata da molte specie animali e vegetali.

Costruiti con ordine alterno su entrambe le sponde del fiume ad una distanza pari a 5 - 7 volte la larghezza dell'alveo, nei periodi di magra i gruppi di repellenti daranno vitalità strutturale al fiume ed al suo corso.

Varietà di repellenti	
Secondo l'inclinazione 75°-80°	verticale – ortogonale verso valle – declinante verso monte – inclinante
Secondo la sua altezza	pennello di magra pennello di morbida pennello di piena
Secondo la forma planimetrica	a triangolo a rettangolo arrondato ad uncino
Secondo la tipologia di costruzione	repellenti di massi vegetati repellenti di gabbioni vegetati repellenti di ramaglia repellenti di alberi grezzi repellenti di fascine repellenti di ghiaia con copertura diffusa repellenti palificata repellenti ad intreccio (viminata)

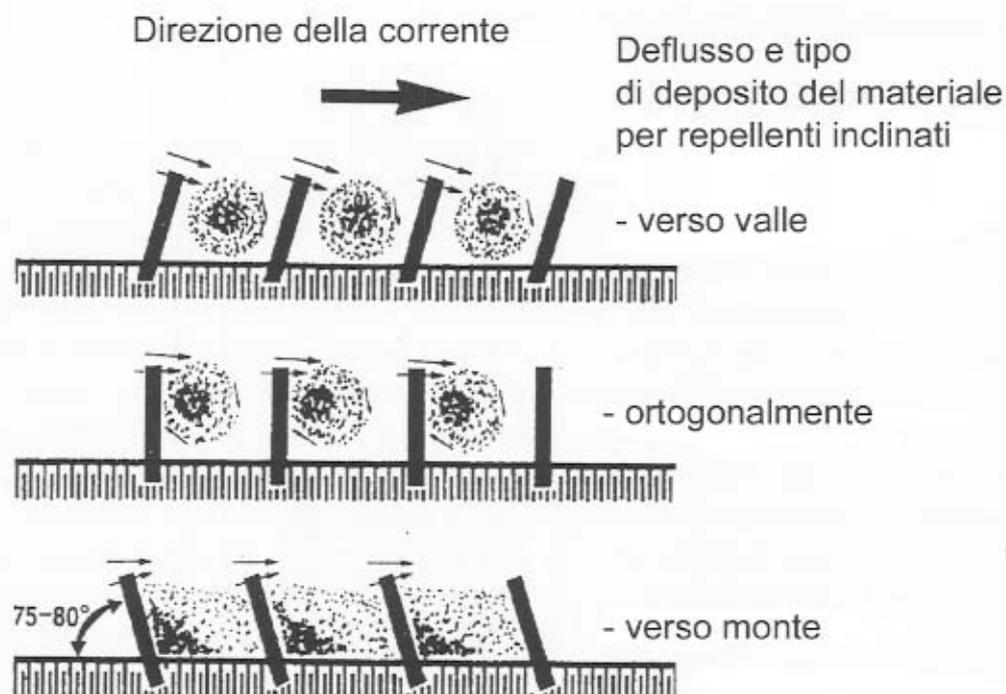


Fig. 40: Effetti dei diversi repellenti sulle condizioni di deflusso e sul deposito di materiale solido

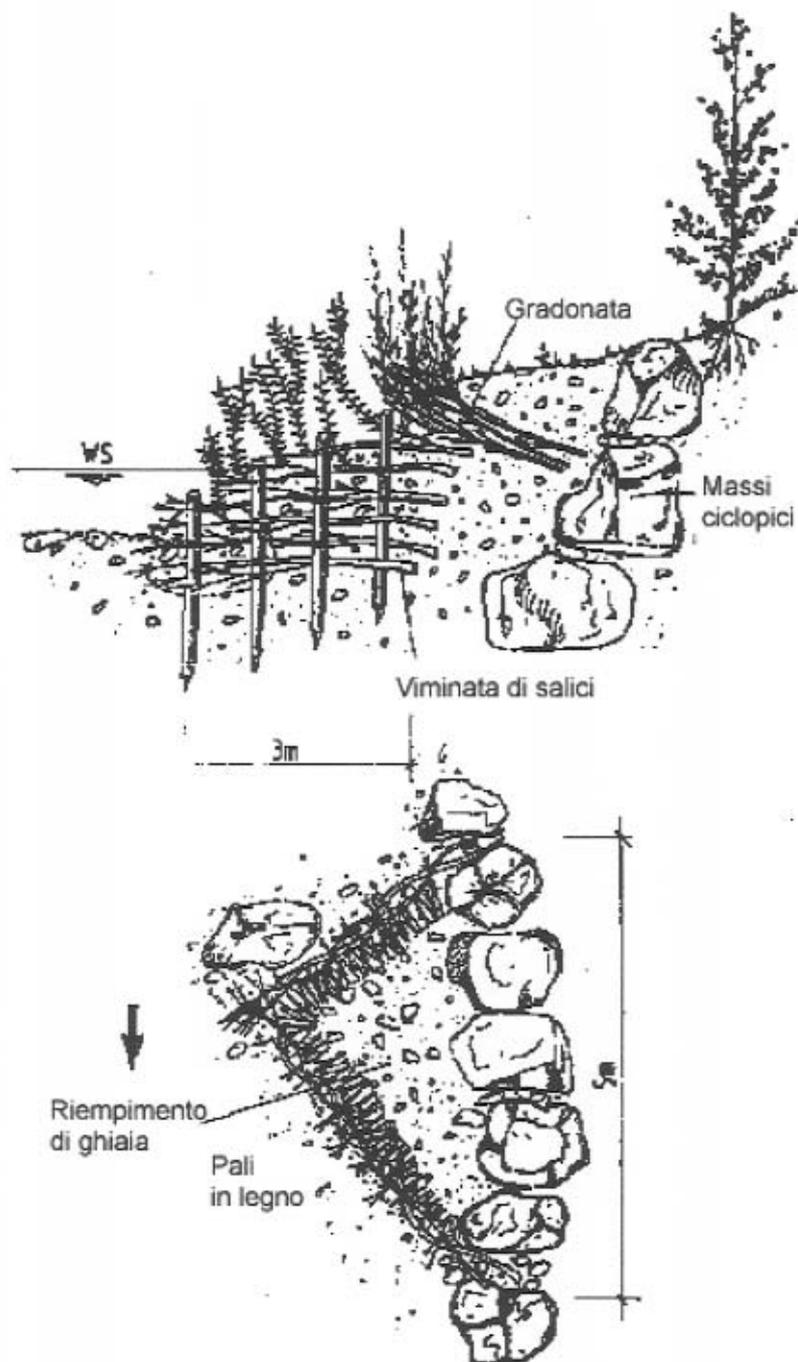


Fig. 41: Repellente ad intreccio (viminata)

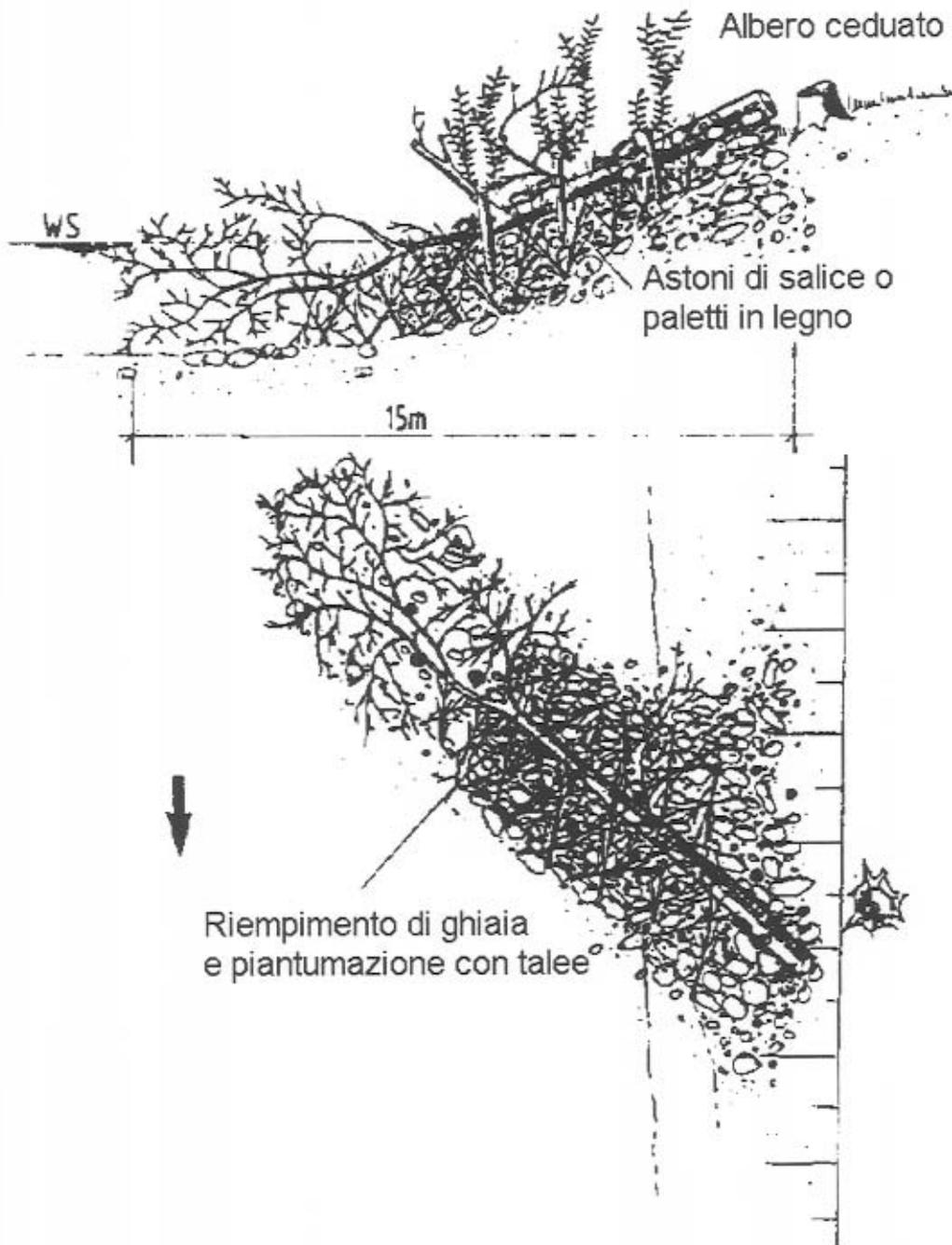


Fig. 42: Repellenti di alberi grezzi

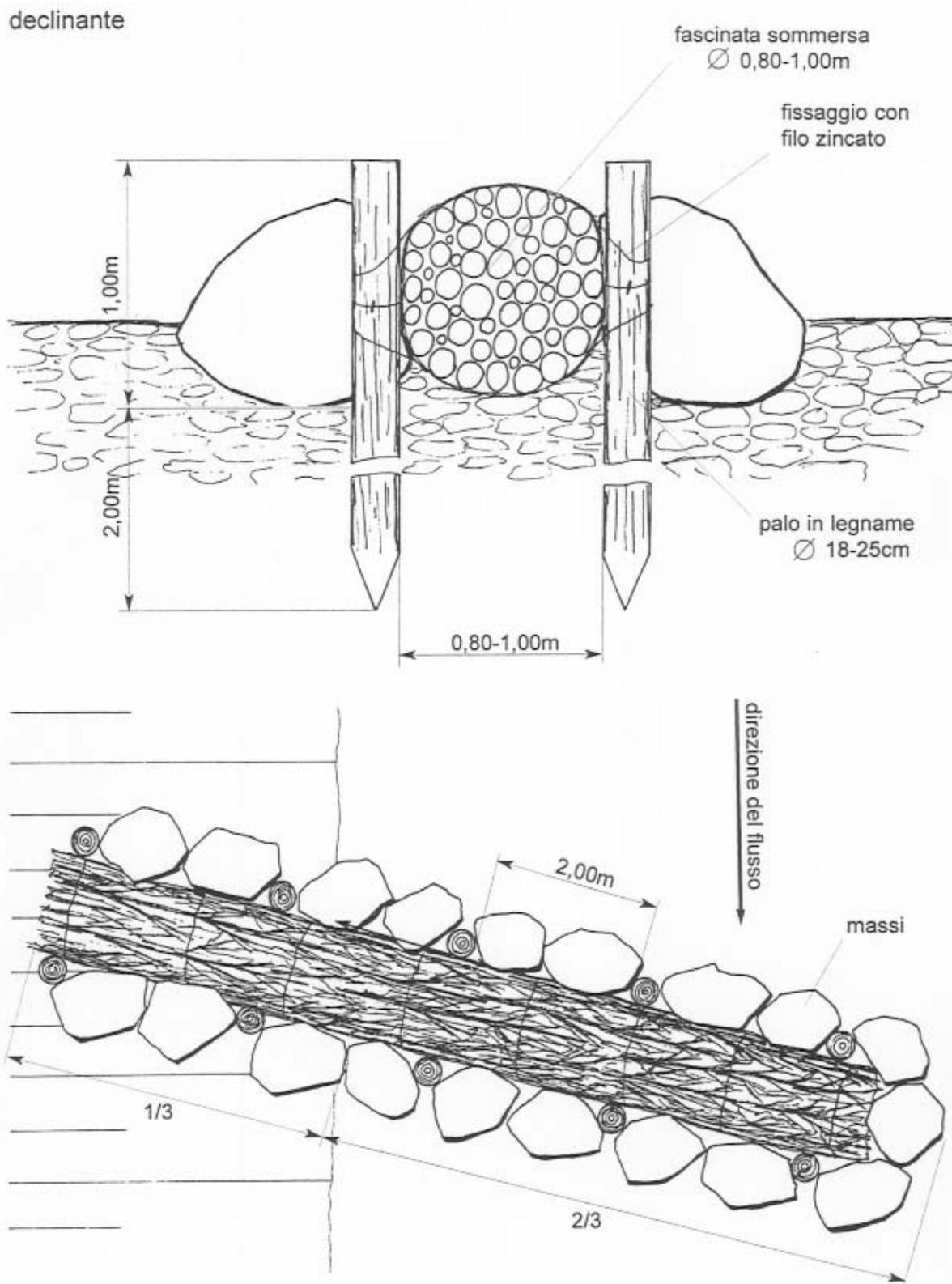


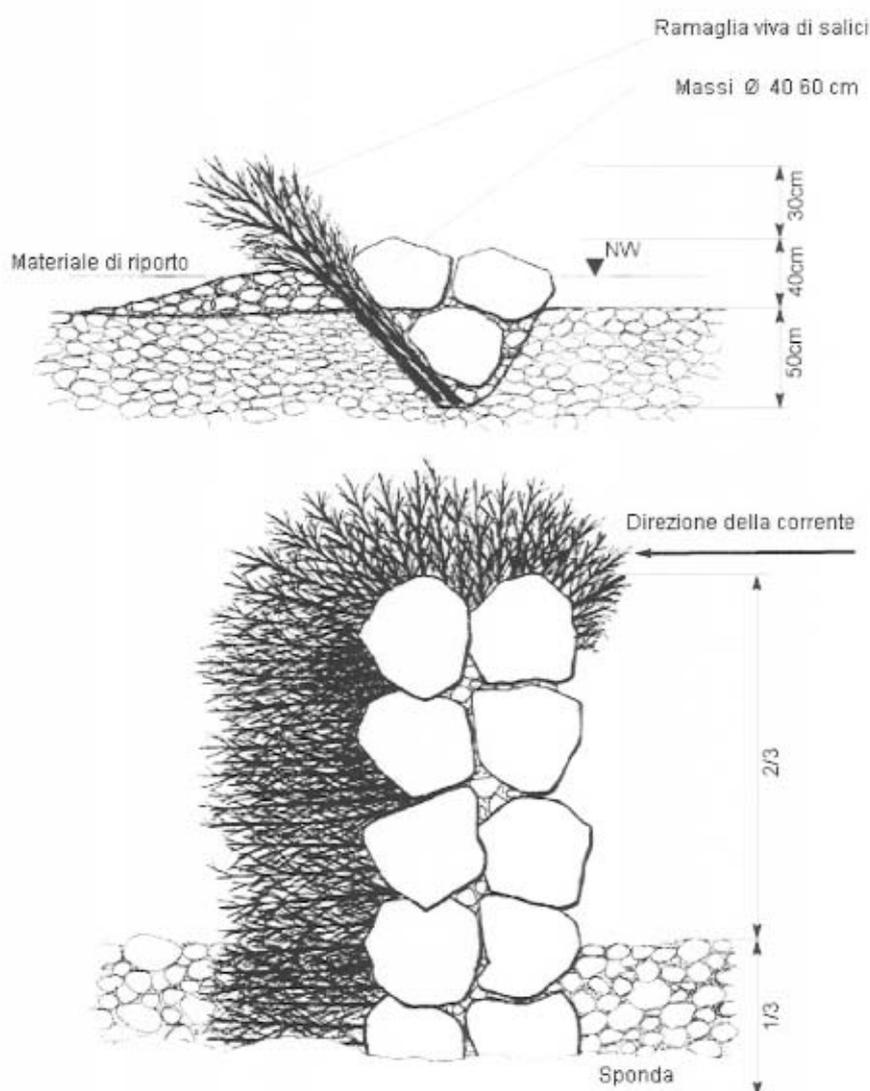
Fig. 43: Repellente di fascine

## 4.6.2 Traversa di arbusti

Ideata da Josef SCHEMERL, ma già proposta da PRÜCKNER nel 1965, la traversa di ramaglie è un'opera trasversale che viene utilizzata per ricostituire una sponda erosa.

Durante l'esecuzione dell'opera si scavano delle fosse trasversalmente alla direzione della corrente, che vengono poi riempite con ramaglia di salice. I salici vengono coperti con del materiale fluviale per favorirne una migliore radicazione. Per concludere, la traversa deve essere messa in sicurezza appesantendola tramite dei massi o dei rulli di ramaglia e pietrame.

Queste traverse, situate ad una distanza pari ad una volta e mezza la loro lunghezza, riducono la forza di trascinarsi dell'acqua e portano così ad una sedimentazione dei detriti laddove si desidera un innalzamento del fondo dell'alveo.



**Fig.44: Traversa di arbusti con appesantimento in massi**

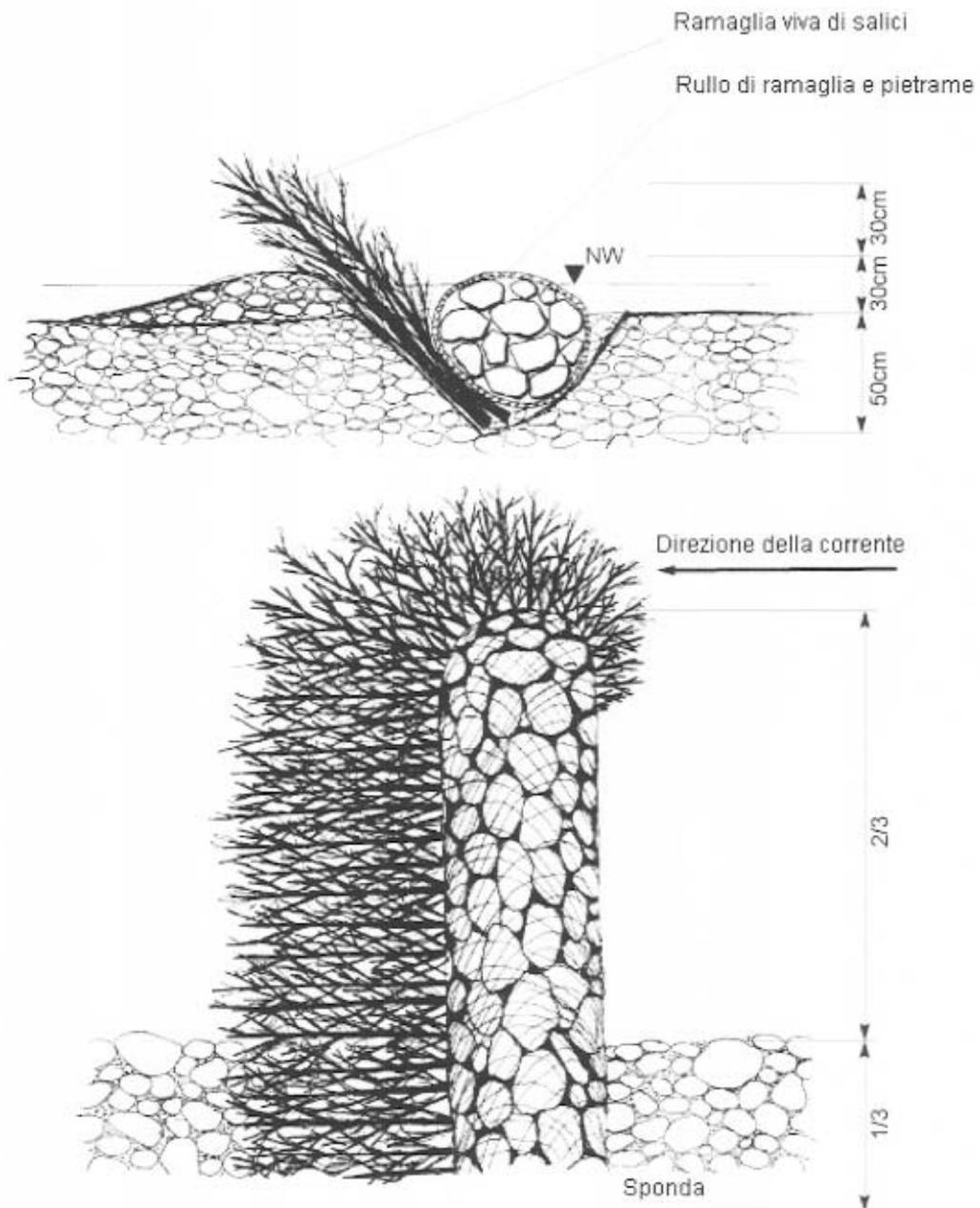
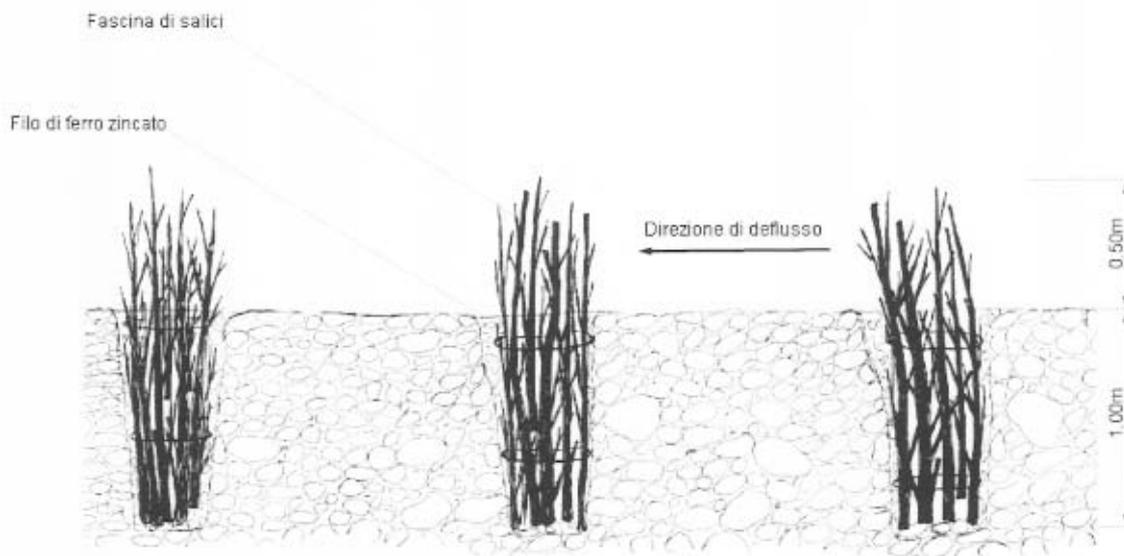


Fig. 45: Traversa di arbusti con l'appesantimento di un rullo con pietrame

#### 4.6.3 Spazzola viva e pettine vivo

La spazzola viva consiste in file di fascine parallele, incastrate nell'alveo trasversalmente alla direzione della corrente. Anche questa tipologia d'opera aiuta efficacemente a rialzare il livello dell'alveo o a ricostruire una parte di sponda erosa precedentemente. Il loro impiego ideale risiede nell'integrazione delle traverse di ramaglia, che sono più impegnative nell'esecuzione. Le spazzole vive, infatti non presentano una forte resistenza al trascinarsi.

Il pettine vivo è costituito da forti talee di salice infisse verticalmente nel suolo; l'impiego è lo stesso della spazzola viva.



**Fig. 46 Spazzola viva di salici**

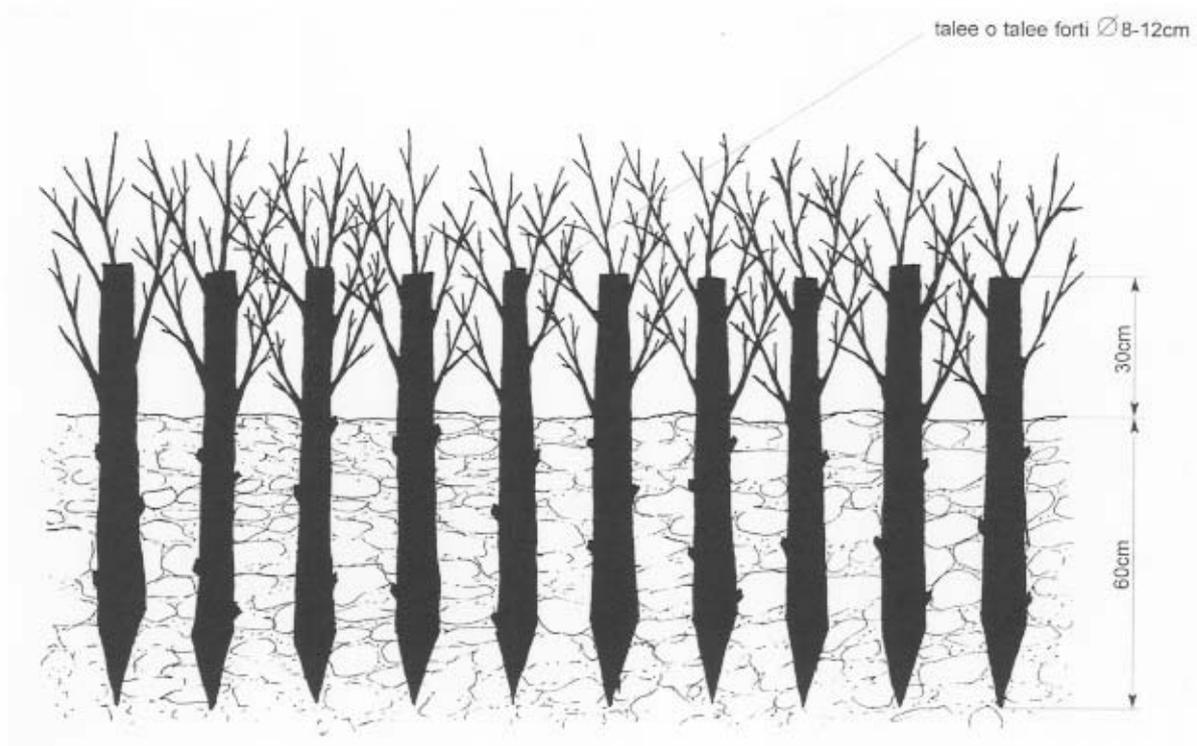


Fig. 47: Pettine vivo di salici

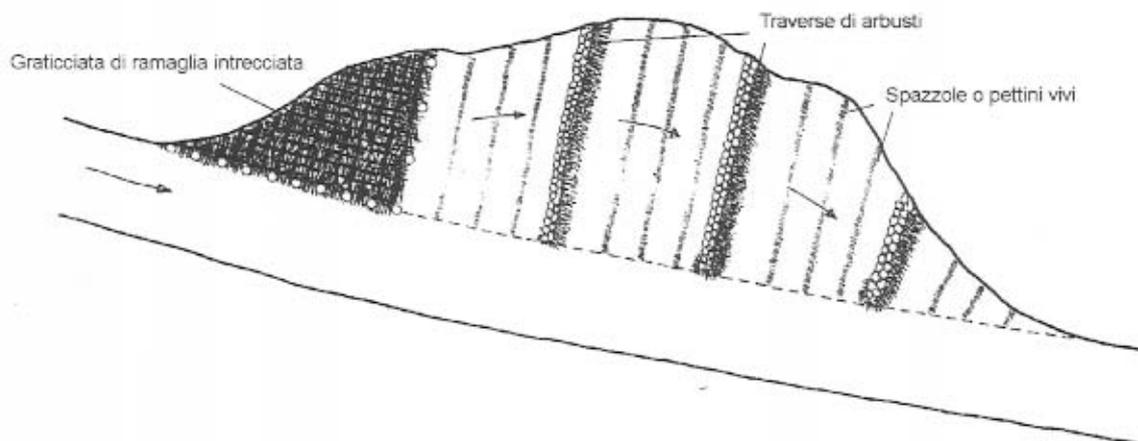


Fig. 48: Utilizzo di varie tecniche per la ricostituzione di una sponda: graticciata di ramaglia intrecciata, traverse di arbusti, spazzole vive, pettini vivi

#### 4.7 RIVITALIZZAZIONE DI CORSI D'ACQUA CANALIZZATI

Lo scopo di qualsiasi rivitalizzazione è il ripristino della funzionalità fluviale di un corso d'acqua.

I passi da intraprendere per raggiungere questo scopo, sono il ripristino del:

- ⇒ Continuum longitudinale (connessione longitudinale)
- ⇒ Continuum con la piana alluvionale (connessione trasversale)
- ⇒ Continuum verticale (connessione verticale)
- ⇒ Creazione di siti a sviluppo pioniero
- ⇒ Sostegno alla dinamica naturale

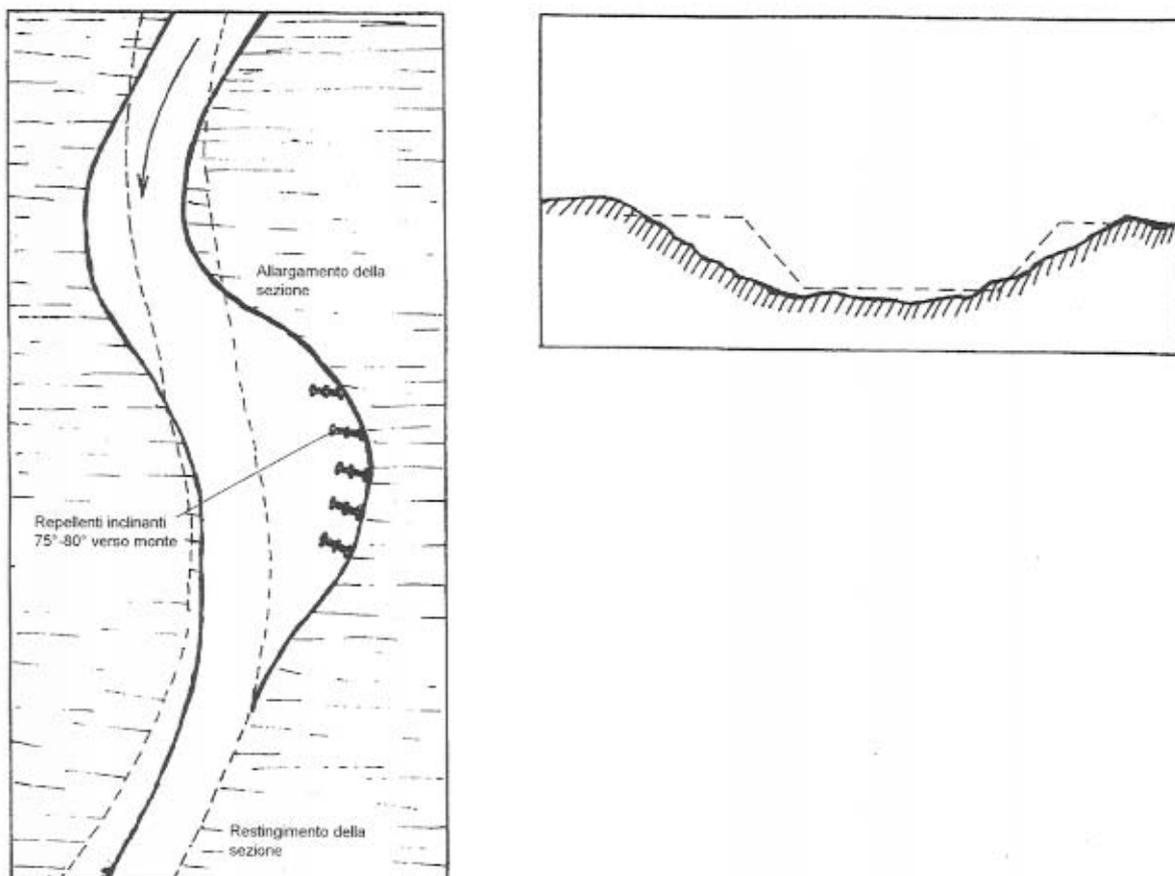


Fig. 49: Cambiamento della sezione e del corso del fiume

Come può l'ingegneria naturalistica concorrere alla rinaturazione di un corso d'acqua?

- Inserimento di opere strutturanti: costruzioni trasversali
- Ricostituzione della vegetazione ripariale
- Costruzione di opere di difesa spondale, che introducano nuovi siti pionieri e che incrementino lo sviluppo e la dinamica naturali: opere longitudinali

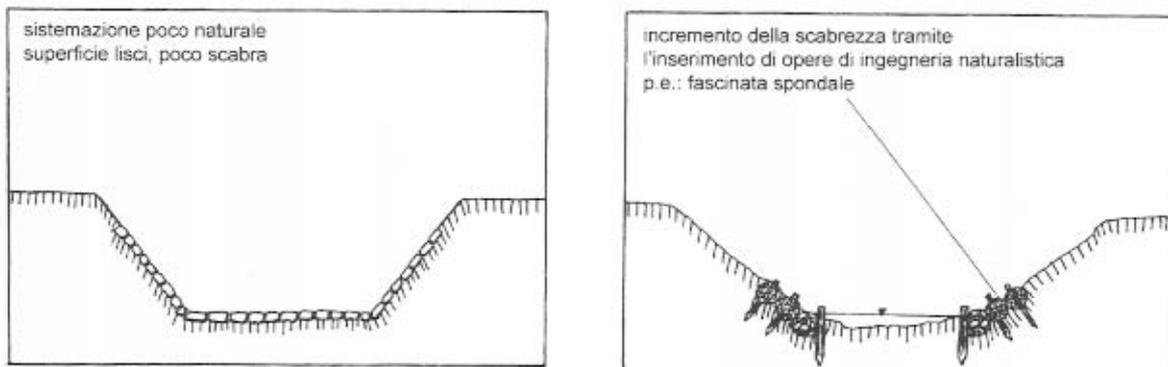


Fig. 10: Modifica delle caratteristiche del letto e delle scarpate fluviali

Le misure da adottare dipendono in gran parte dal regime fluviale (piene ordinarie influiscono in misura maggiore sulla morfologia del letto che piene centennali) e dalla struttura del letto del corso d'acqua. I parametri da considerare sono:

- la portata che disegna effettivamente la struttura del letto
- la pendenza del profilo longitudinale
- tipo e struttura del terreno / del letto (stratigrafia, granulometria, contenuto d'argilla)
- apporto di sedimenti

Ciò influisce:

- sulla planimetria del corso d'acqua
- sul profilo longitudinale
- sulle sezioni (rapporto tra larghezza e profondità)
- sulla conformazione del letto

Esempi:

- più aumenta il contenuto d'argilla nella granulometria del letto, più diminuisce il rapporto tra larghezza e profondità (il fiume si incassa)
- il corso del fiume diventa sempre più lineare, quanto più aumenta la pendenza del profilo.

## 5 TECNICHE DI INGEGNERIA NATURALISTICA PER LA STABILIZZAZIONE DI PENDII E SCARPATE

Fino ad un secolo fa il legno e le piante rappresentavano gli unici materiali da costruzione conosciuti dall'uomo, per la messa in sicurezza di pendii e scarpate. Per secoli, quindi, i versanti sono stati stabilizzati con viminate, tondame, palificate di sostegno e ramaglia.

Diverse delle tecniche applicate già allora vengono oggi riscoperte, modificate ed adattate alle moderne condizioni operative. Le metodologie più recenti sono quelle, che utilizzano unicamente materiali vivi, quali talee ed astoni di salice e piantine radicate.

Le seguenti tecniche di ingegneria naturalistica sono utilizzate per la stabilizzazione dei pendii e delle scarpate:

### 5.1 TECNICHE DI INERBIMENTO CONTRO L'EROSIONE SUPERFICIALE

La semina si applica su versanti dove il problema principale si individua nell'erosione superficiale del terreno e non in movimenti di scivolamento o smottamenti.

Si conoscono i seguenti metodi di semina:

#### 5.1.1 La semina a spaglio

##### 5.1.1.1 Semina a spaglio semplice

Si intende la distribuzione separata di semente e fertilizzante (organico), manualmente o con l'ausilio di una macchina, a secco e senza l'impegno di ulteriori materiali. La semina a spaglio semplice può essere adottata con successo su stazioni pianeggianti, ma si applica anche a pendii con superficie scabra.

##### 5.1.1.2 Semina a spaglio con fiorume

In questo caso si sostituisce la semente commerciale con del fiorume (semente della paglia seccata, che si trova sul fondo del fienile). Non conoscendone la facoltà germinativa, questa è da appurare prima della semina e, se dall'esame di germinazione risultasse necessario, dovrà essere utilizzata una quantità maggiore di semente.

Semente commerciale	10 - 25 g/m <sup>2</sup>	(a seconda della pendenza del versante)
Fertilizzante organico	100 g/m <sup>2</sup>	
Fiorume:	0,1-2 kg/m <sup>2</sup>	(a seconda della germinabilità)
Semente da trebbiatura	20 - 100 g/m <sup>2</sup>	(a seconda della germinabilità)

Tab. 10. Quantità necessarie per la semina a spaglio

### 5.1.1.3 Semina con seme di fieno da trebbiatura

Un altro metodo efficiente è l'utilizzo di semente da trebbiatura proveniente da superfici prative idonee. Per "semenza da trebbiatura" si intende la semente che si ottiene dalla trebbiatura meccanica dello sfalcio di prati vicini al sito d'intervento e coerente con il suo contesto ambientale. Il materiale vegetale può risultare di ottima qualità, quando il periodo di sfalcio corrisponde a quello di maturazione di buona parte delle specie, che compongono il prato. La quantità raccolta è stimabile in 200 kg/ha, mentre il rapporto tra area di raccolta ed area da rinverdire è di circa 1:1 o 1:2.

Se non risultasse possibile utilizzare lo sfalcio immediatamente dopo la raccolta, si dovrà immagazzinarlo in un luogo particolarmente asciutto.

**Quantità necessaria: 0,1-1 kg/m<sup>2</sup>**

### 5.1.1.4 Semina con copertura di cereali

Nel caso di stazioni ripide la semente viene protetta tramite una ulteriore semina di specie cerealicole. Segale invernale o orzo (la seconda si adatta solo alle stagioni primaverili ed estive) vengono seminate e mischiate al terreno (specie con germinazione al buio) per poi poter eseguire la semina a spaglio della semente principale.

Segale invernale / Orzo	10 g/m <sup>2</sup>
Semente commerciale	15 g/m <sup>2</sup>
Fertilizzante organico	100 g/m <sup>2</sup>

Tab. 11. Stima delle quantità di materiale necessario per la semina con cerealicole di copertura

Una possibile variante alla semina di copertura con cerealicole è rappresentata dalla **semina a righe con cerealicole** secondo **Franz HUTER** (1981).

La segale viene seminata in stretti solchi formati, parallelamente e diagonalmente sul versante, con un piccone (o in alternativa con le punte della benna di un escavatore). I campi tra le righe dovranno misurare circa 50 cm e saranno rinverdite con un miscuglio di sementi.

Nei siti a bassa quota la copertura di segale dovrà essere sfalciata precocemente (la segale non deve superare i 30 cm di altezza) ed asportata, per evitare che inibisca la crescita della vegetazione perenne e che si creino ampie aperture nella coltre protettiva di erbacee dopo la scomparsa della segale. Nel caso in cui la zona d'intervento presenti dei pascoli o prati, potenziali donatori di spore, si può fare a meno della semente commerciale, non asportando lo sfalcio delle cerealicole. Ciò permette di trattenere la semente trasportata dal vento.

### 5.1.1.5 Semina a secco di piante legnose

Questo tipo di semina si addice a siti poco ripidi, con una superficie molto scabra, ma stabile, quindi senza pericolo di erosione. Si mischia la semente di piante arboreo-arbustive con della sabbia (rapporto semente/sabbia = 1:3). La semina avviene su tutta

la superficie dell'area interessata, in buche o in solchi, simili a quelli utilizzati per la semina con solchi e cerealicole.

### 5.1.2 Tecniche di idrosemina

Versanti, che presentano una forte pendenza, la superficie liscia e condizioni climatiche favorevoli (in particolare siti boschivi), possono essere rinverditi tramite l'idrosemina; questa è una soluzione acquosa contenente fertilizzante, materiale organico pacciamante e collanti, con cui viene mischiata la semente in una botte. Lo spargimento sulla scarpata interessata ( $2l/m^2$ ), avviene mediante delle pompe collegate alla botte. Si tratta della tecnica a cui le imprese ricorrono più di frequente, per la sua rapidità di applicazione. Dove la pendenza del versante non consente l'utilizzo delle idroseminatrici a botte, il miscuglio di semente – fertilizzante – pacciamante – collante - acqua può essere sparso anche da elicottero. L'idrosemina si applica soddisfacentemente anche allo spargimento di semente di piante legnose (**Idrosemina di piante legnose**), senza l'aggiunta delle erbacee che ne ostacolerebbero la crescita. I collanti sono sostanze derivanti dalle alghe o da altri materiali organici.

Semenza	25 g/m <sup>2</sup>
Concimi organici	100 g/m <sup>2</sup>
Cellulosa / torba / paglia molto corta	80 g/m <sup>2</sup>
Collante organico	20-100 g/m <sup>2</sup>
Altri collanti	20-30 g/m <sup>2</sup>

Tab. 12. Materiale necessario all'idrosemina

### 5.1.3 Semina a spessore

La semina a spessore si presta all'applicazione su stazioni caratterizzate da condizioni climatiche particolarmente sfavorevoli. Per semina a spessore si intende una semina coperta e protetta da vari materiali organici. Per una crescita ottimale la coltre protettiva di pacciame non deve mai superare i 3-4 cm in altezza e non deve essere troppo fitta. I materiali utilizzati più di frequente sono il fieno e la paglia.

#### 5.1.3.1 Semina a spessore senza collanti

La semplice semina a spessore con paglia o fieno è applicabile presso stazioni non esposte al vento e non troppo ripide. Dopo lo spargimento della semente, la superficie viene ricoperta di una coltre alta 3-4 cm di paglia o, appunto, di fieno. Il materiale necessario è quantificabile in 500 - 700 g/m<sup>2</sup>. Il fieno presenta una maggiore coerenza a causa degli steli più sottili, la paglia, invece, è di maggiore durata e offre, quindi, una protezione più lunga nel tempo.

Utilizzando del fieno, portato a maturazione e proveniente dalle immediate vicinanze si può evitare la semina di materiale commerciale, come nel caso della semina con fiorume o della semina con cerealicole. Il fieno, infatti, contiene sufficiente semente per una prima colonizzazione e offre una buona protezione contro l'erosione (**Semina con fieno**, MOLDER, 1995).

### 5.1.3.2 Semina a spessore con collanti

La coltre protettiva di paglia può essere utilizzata anche su siti ripidi o particolarmente esposti, quando essa viene legata con del bitume. Si parla quindi della **semina a spessore con bitume** (nero verde) secondo SCHIECHTL (1969). Si sparge la semente ed il fertilizzante e la si copre con una coltre di paglia alta 3-4 cm. Questa viene legata con una emulsione instabile bituminosa, spruzzata sulla paglia tramite una specifica pompa. Oltre alla funzione protettiva di tipo meccanico, la coltre di paglia ha l'effetto di una serra, in quanto l'emulsione bituminosa nera assorbe il calore necessario alla crescita sopra al limite del bosco. Questo sistema non viene utilizzato con il fieno, che, troppo esile, non resiste allo spargimento del bitume e si schiaccia contro il terreno. Anche i collanti utilizzati nell'idrosemina possono trovare applicazione al posto dell'emulsione bituminosa. Essi sono incolori e vengono utilizzati laddove il colore nero del bitume risulti in un impatto visivo troppo evidente. Sperimentazioni a Merano 2000 (GRAISS, 2000, WALDNER, 1999) hanno comunque evidenziato il migliore effetto protettivo dell'emulsione bituminosa.

Fieno / paglia lunga	500/700 g/m <sup>2</sup>
Semente	25 g/m <sup>2</sup>
Fertilizzante organico	100 g/m <sup>2</sup>
Emulsione bituminosa	700 g/m <sup>2</sup>
Collanti incolori	20-100 g/m <sup>2</sup>

Tab. 13. Stima delle quantità di materiale necessario per la semina a spessore con collante

## 5.1.3.3 Semine a spessore con stuoie

Laddove la pendenza troppo elevata del pendio non permetta l'utilizzo dei collanti si ricorre a delle stuoie di juta inchiodate sulla coltre di paglia (**semina a spessore con stuoia di juta**). La tenuta della juta può variare da 1-2 anni, a seconda delle condizioni meteorologiche. Si può sostituire la juta con una stuoia in fibra di cocco, più resistente, che da garanzie di più lunga durata (4 anni).

Paglia lunga	700 g/m <sup>2</sup>
Semente	25 g/m <sup>2</sup>
Fertilizzante organico	100 g/m <sup>2</sup>
Stuoia di juta o paglia	10% in più rispetto alla superficie da rivestire (Sovrapposizione).
Chiodi per il fissaggio delle stuoie	2,5 chiodi/m <sup>2</sup>

Tab. 14. Stima del materiale necessario per la semina a spessore con stuoia

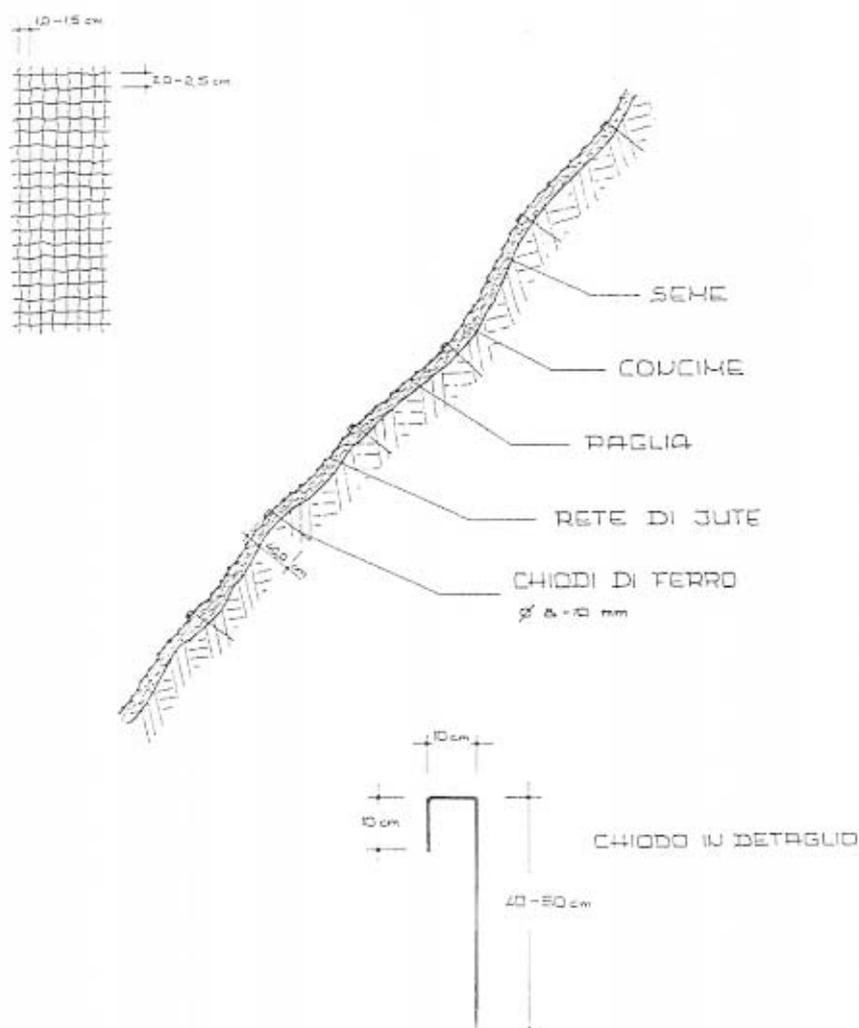


Fig. 51. Rinverdimento mediante semina a spessore con stuoia di juta

Vengono oggi utilizzate anche stuoie in materiale plastico per fissare la paglia. Il vantaggio risiede nella loro lunga durata, ma esse possono rappresentare anche una temibile trappola per gli animali.

Nei siti in cui è possibile una pericolosa caduta di massi, si sostituisce la stuoia di cocco con una rete di ferro zincata (**Semina a spessore con rete di ferro**). Questo tipo di rete si caratterizza per una tenuta di 30 anni.

#### 5.1.4 Biostuoie e piastre in fibra grezza

Sono in commercio diversi tipi di biostuoie, riempite di trucioli di legno, fibra di cocco, canapa o paglia, in genere contenute tra due strati di reti sintetiche molto leggere. La semente è solitamente già contenuta all'interno della stuoia. Queste possono essere posate solo su terreni completamente lisci, visto che devono aderire al suolo in ogni loro punto. Esse trovano applicazione soprattutto nei paesi dell'area mediterranea, e ovunque si riscontrino condizioni di aridità estiva.

Come le zolle erbose, anche le piastre in fibra grezza, composte dalla fibra della pianta del grano, possono essere posate su superfici da rinverdire. Esse misurano 50 x 50 cm e sono alte 2-3 cm; la loro superficie è caratterizzata da buchi, in cui può essere inserita la semente. Per poter posare in modo corretto queste tavolette rigide si dovrà irrigare l'impianto dopo la posa, per farle aderire correttamente e completamente al suolo.

#### 5.1.5 Zolle erbose

Le zolle erbose (o addirittura celle di vegetazione più ampie) asportate durante operazioni di scavo, di appianamento di terreni o durante la costruzione di strade e depositate in modo da evitare l'essiccazione delle stesse, possono essere riutilizzate per il rinverdimento, rapido e coerente con le caratteristiche ambientali del sito, di ferite nella copertura erbacea. Esse devono essere posate dal basso verso l'alto del pendio, coprendo l'intera superficie indifesa. È necessario picchettare le zolle dove il versante è troppo ripido. Si tratta di una tecnica già conosciuta ed utilizzata ai tempi di Albertus MAGNUS (1193-1280).

#### 5.1.6 Posa di terreno superficiale

La posa di uno spessore di 3-5 cm di terreno vegetale, proveniente da un prato stabile o un pascolo nella zona di intervento, è da ritenersi un efficace metodo di rinverdimento senza l'ausilio di semente commerciale. Questa tecnica trova la sua applicazione su terreni pianeggianti, e quando è disponibile del terreno vegetale ricco di diaspore, p.es. nel caso di edificazione o un cambiamento del tipo di coltura.... (MOLDER, 1995).

Si deve utilizzare solamente i primi 20 cm di terreno, ricchi naturalmente di semente autoctona. Si posano 5 – 20 l/m<sup>2</sup> di terreno evitando un deposito intermedio del terreno. Non è necessaria la lavorazione del terreno, mentre su superfici soggette ad erosione si può aggiungere una coltre protettiva di paglia o fieno.

### 5.1.7 Miscugli di semente

Il criterio principale per la riuscita di una semina è un miscuglio di sementi con un'alta diversità di specie ed un buon rapporto (rispetto al peso) tra graminacee, erbacee perenni e leguminose. I miscugli vengono composti con i seguenti criteri:

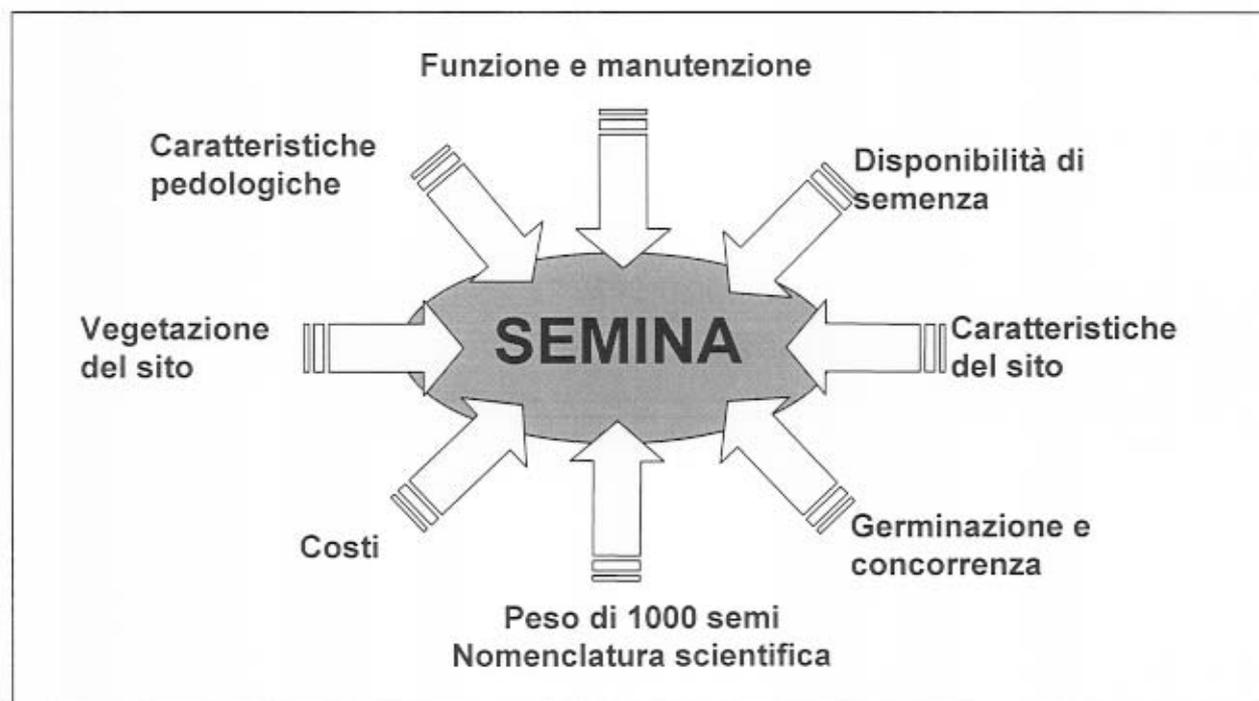


Fig. 52. Criteri per la scelta del miscuglio di semente

Lolium perenne	5%
Dactylis glomerata	5%
Phleum pratense	3%
Trifolium pratense	4%
Medicago sativa	2%
Vicia ssp.	2%

Tab. 15. Limiti massimi percentuali di graminacee ed erbacee perenni che sopprimono altre specie

Nella seguente tabella vengono riportati i pesi di 1000 grani delle specie erbacee più importanti che si possono trovare in commercio. Inoltre sono presentati miscugli di sementi utilizzati presso l' "Istituto per l'Ingegneria Naturalistica e la Costruzione del Paesaggio" dell'Università BOKU di Vienna.

GENERE e SPECIE	PESO [g]
Achillea millefolium	0.13
Agrostis capillaris L. (Agrostis tenuis)	0.08
Agrostis stolonifera L.	0.08
Alopecurus pratensis L.	0.80
Anthoxanthum odoratum L.	0.60
Anthriscus sylvestris (L.) Hoffm.	2.20
Anthyllis vulneraria L.	2.50
Arrhenatherum elatius (L.)	3.00
Bromus erectus Ruds.	3.90
Bromus inermis Leyss.	3.30
Carum carvi	3.00
Coronilla varia L.	3.40
Cynosurus cristatus L.	0.55
Dactylis glomerata L.	1.10
Daucus carota L.	0.85
Deschampsia cespitosa (L.)	0.10
Deschampsia flexuosa (L.)	0.40
Festuca nigrescens	0.90
Festuca ovina L.	0.90
Festuca pratensis Huds.	2.00
Festuca rubra L.	1.20
Festuca violacea	0.37
Lathyrus sativus L.	180.00
Lolium perenne L.	2.00
Lotus corniculatus L.	1.20
Lupinus angustifolius L.	150-200
Medicago lupulina L.	1.80
Medicago sativa L.	2.00
Melilotus alba	1.90
Melilotus officinalis	1.90
Onobrychis viciifolia Scop. (in Hülse)	20.00
Onobrychis viciifolia Scop. (enthülst)	15.00
Papaver somniferum L.	0.45
Phacelia tanacetifolia Benth.	2.00
Phleum alpinum	0.47
Phleum hirsutum	0.34
Phleum pratense L.	0.40
Poa alpina	0.49
Poa annua L.	0.35
Poa compressa L.	0.20
Poa nemoralis L.	0.15
Poa pratensis L.	0.25
Poa trivialis L.	0.20
Prunella vulgaris	0.56
Salvia pratensis	1.54
Sanguisorba minor	9.50
Sinapis alba	6.00
Trifolium dubium Sibth.	0.45
Trifolium hybridum L.	0.75
Trifolium incarnatum L.	3.30
Trifolium pratense L.	1.60
Trifolium repens L.	0.60
Trisetum flavescens (L.)	0.50
Vicia sativa L.	0.55

**Tab. 16. Peso di 1000 semi di specie erbacee**

Risulta di primaria importanza la scelta delle specie per il miscuglio, che deve essere coerente con l'uso del terreno rinverdito (prati o pascoli, specie più o meno alte...).

Agrostis alba	2 %
Agrostis tenuis	2 %
Anthoxantum odoratum	0,5%
Arrhenatherum elatius	10%
Dactylis glomerata	5 %
Festuca pratensis	22%
Festuca rubra	18%
Phleum pratense	3 %
Poa pratensis	10%
Trisetum flavescens	8 %
Achillea millefolium	1,5%
Anthriscus silvestris	0,1%
Carum carvi	1,5%
Daucus carota	0,3%
Leucanthemum vulgare	0,1%
Lotus corniculatus	4 %
Sanguisorba minor	2 %
Trifolium hybridum	4 %
Trifolium pratense 2n	1 %
Trifolium pratense 4n	1 %
Trifolium repens	4 %
Trifolium repens (Milka)	3 %

Tab. 17. Miscuglio per prati su substrati acidi ed ad alta quota

Agrostis tenuis	3 %
Deschampsia cespitosa	3 %
Deschampsia flexuosa	2 %
Festuca rubra	23%
Festuca rubra	25%
Festuca tenuifolia	10%
Lolium perenne	5 %
Phleum pratense	3 %
Poa nemoralis	7 %
Lotus corniculatus	2 %
Onobrychis viciifolia	2 %
Trifolium hybridum	3 %
Trifolium pratense	2 %
Trifolium repens	10%

Tab. 18. Miscuglio per pendii ripidi, boschivi con forte ombreggiamento a bassa quota

<i>Festuca duriuscula</i>	10%
<i>Festuca ovina</i>	20%
<i>Festuca rubra</i>	15%
<i>Festuca rubra</i>	20%
<i>Festuca tenuifolia</i>	5 %
<i>Poa compressa</i>	2 %
<i>Poa pratensis</i>	8 %
<i>Achillea millefolium</i>	1 %
<i>Anthyllis vulneraria</i>	2 %
<i>Coronilla varia</i>	3 %
<i>Lathyrus pratensis</i>	1 %
<i>Leucanthemum vulgare</i>	0,2%
<i>Lotus corniculatus</i>	6 %
<i>Medicago lupulina</i>	1 %
<i>Papaver rhoeas</i>	0,1%
<i>Phacelia tanacetifolia</i>	0,1%
<i>Plantago lanceolata</i>	0,5%
<i>Salvia pratensis</i>	0,1%
<i>Sanguisorba minor</i>	1 %
<i>Trifolium repens</i>	4 %

Tab. 19. Miscuglio di sementi a lento accrescimento per scarpate fluviali e suoli alcalini

<i>Agrostis tenuis</i>	1 %
<i>Dactylis glomerata</i>	3 %
<i>Festuca duriuscula</i>	8 %
<i>Festuca ovina</i>	15%
<i>Festuca rubra</i>	15%
<i>Festuca rubra</i>	20%
<i>Lolium perenne</i>	4 %
<i>Phleum pratense</i>	2 %
<i>Poa pratensis</i>	7 %
<i>Achillea millefolium</i>	2 %
<i>Lathyrus pratensis</i>	1 %
<i>Lotus corniculatus</i>	4 %
<i>Lupinus perennis</i>	1 %
<i>Medicago lupulina</i>	2 %
<i>Onobrychis viciifolia</i>	2 %
<i>Sanguisorba minor</i>	2 %
<i>Trifolium hybridum</i>	3 %
<i>Trifolium pratense</i>	2 %
<i>Trifolium repens</i>	6 %

Tab. 20. Miscuglio per pendii ripidi e suoli acidi dove è prevista una piantagione

Agrostis tenuis	1 %
Dactylis glomerata	5 %
Festuca duriuscula	8 %
Festuca ovina	10%
Festuca pratensis	10%
Festuca rubra	10%
Festuca rubra	15%
Lolium perenne	5 %
Phleum pratense	3 %
Poa pratensis	7 %
Achillea millefolium	1 %
Lathyrus pratensis	1 %
Lotus corniculatus	4 %
Lupinus perennis	1 %
Medicago lupulina	1 %
Medicago sativa	2 %
Onobrychis viciifolia	2 %
Sanguisorba minor	2 %
Trifolium hybridum	3 %
Trifolium pratense	2 %
Trifolium repens	5 %
Vicia sativa	1 %
Vicia villosa	1 %

**Tab. 21. Miscuglio per stazioni particolarmente ripide e suoli acidi senza previsione di un'ulteriore piantagione**

### 5.1.8 Inerbimenti sopra al limite del bosco

Inerbimenti a quote superiori dei 2000 m vengono qui trattati separatamente a causa delle condizioni climatiche particolarmente avverse (neve e gelate possono presentarsi anche a luglio o agosto) e della durata della stagione vegetativa assai corta (solo 3-4 mesi).

Un presupposto per una buona riuscita del rinverdimento è l'uso della tecnica appropriata di semina. Diverse di queste sono state oggetto di studio da parte dell'Istituto di Ingegneria Naturalistica e Costruzione del Paesaggio dell'Università BOKU di Vienna (Austria). I risultati ottenuti da siti di sperimentazione in Austria ed in Sudtirolo, sono raccolti nelle seguenti tesi di laurea: Andreas WILD, 1998, Anton WALDNER, 1999, Wilhelm GRAISS, 2000, Monika STAMPFER, 2001, Hartmuth REICH, 2001, Martina JUDA, 2002, Florian MAYERHOFER, 2003.

A queste quote diventa rilevante "l'effetto serra" prodotto dalla coltre protettiva (paglia o fieno) per una rapida crescita delle erbacee. Solo la semina "a spessore con collanti" può quindi garantire la riuscita del rinverdimento, sottolineando la doppia funzione dell'emulsione di bitume, che non solo funge da collante per la paglia o il fieno, ma assorbe anche grandi quantità di calore per via del suo colore nero. Risultati soddisfacenti vengono ottenuti utilizzando anche altri materiali collanti.

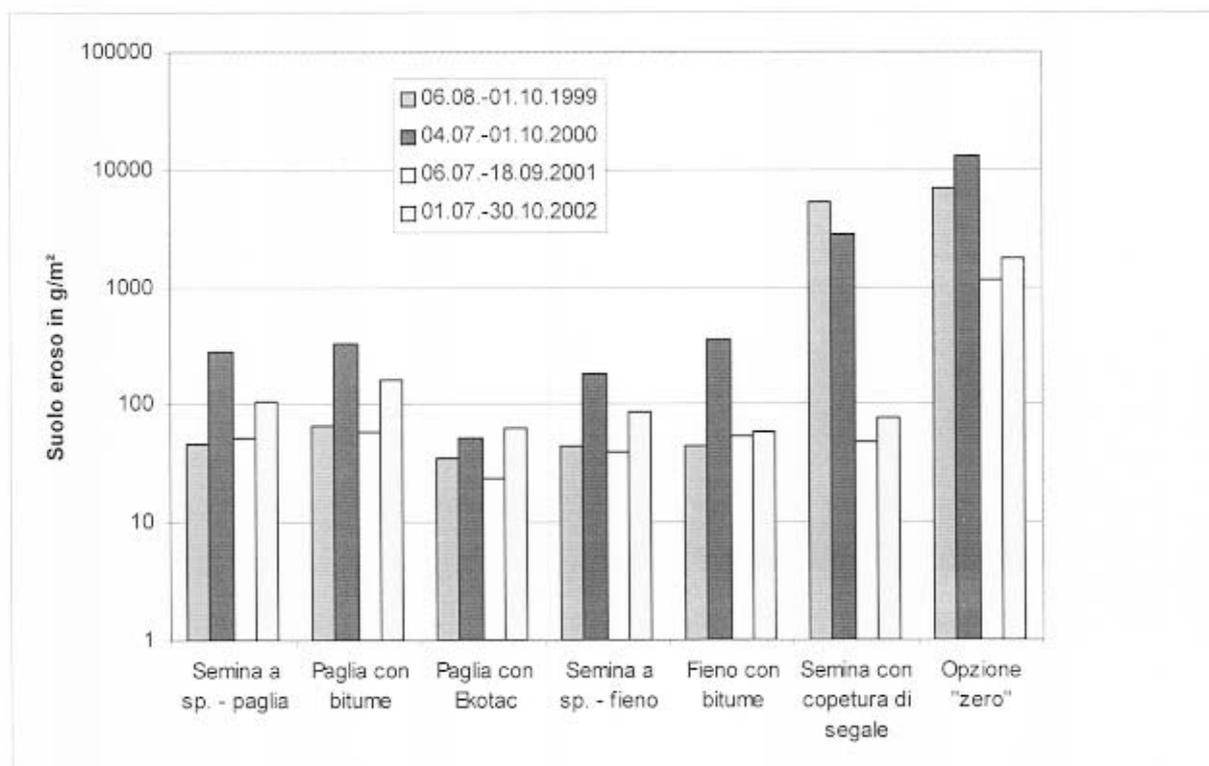
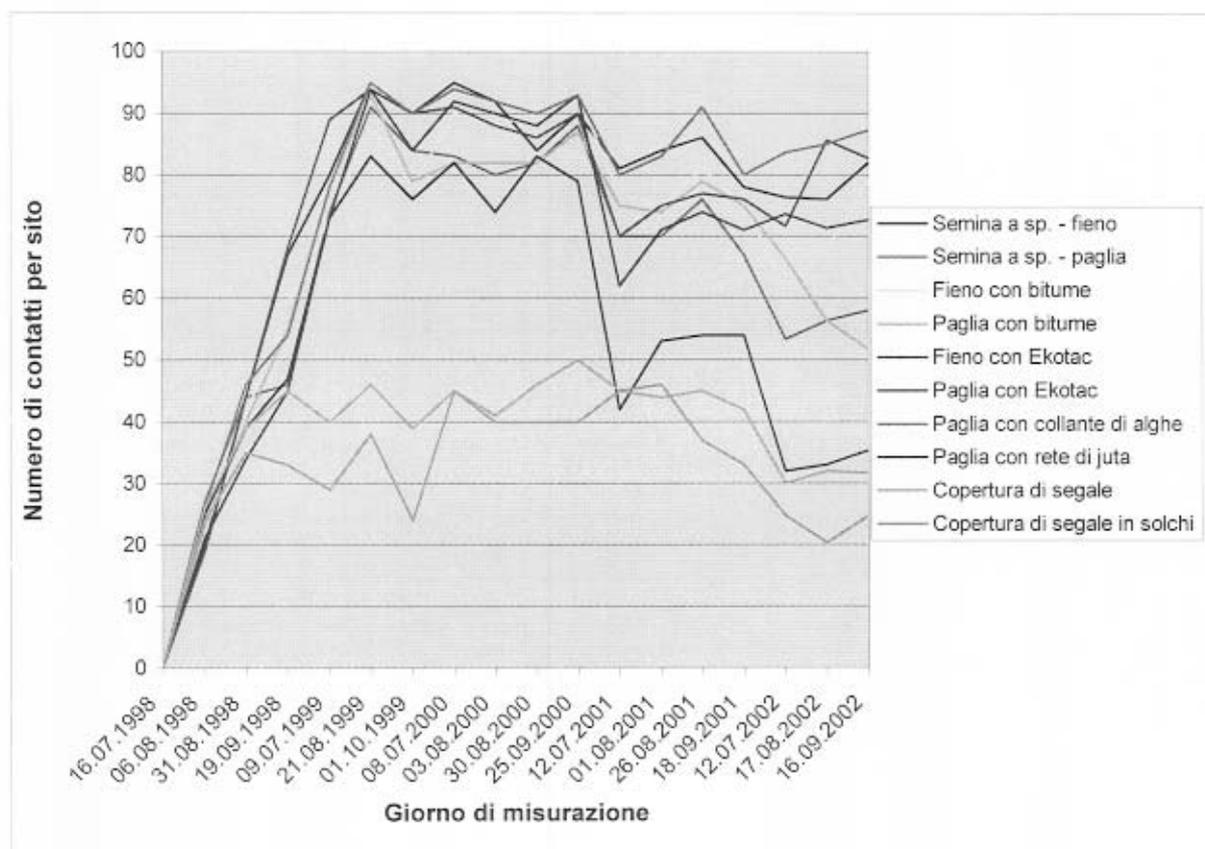


Fig. 53. Indice di copertura del terreno espresso come media dei contatti fisici tra piante per tipologia di semina (sopra), e erosione del suolo in quattro periodi vegetativi sui siti di ricerca a Merano 2000/Sudtirolo

Ancor più importante risulta l'utilizzo di un miscuglio di sementi adatto e duraturo e di sementali appropriate, in modo da garantire per molti anni una buona copertura erbacea, a quote, in cui la propagazione naturale avviene molto lentamente.

Il successo di un rinverdimento duraturo e coerente con la stazione necessita quindi dei seguenti accorgimenti:

- Utilizzo di sementi commerciali adattate alla quota, composte da specie coerenti con il sito d'inserimento.
- Utilizzo di fiorume proveniente dai pascoli alpini.
- Raccolta e propagazione di semente proveniente dalla stessa località del rinverdimento.
- Propagazione vegetativa e produzione di graminacee alpine.
- Raccolta di semente (di erbe da fiore) del luogo e conseguente propagazione generativa di giovani piantine.

Nei test eseguiti ad oggi su semente commerciale di diverse specie a 2500 m di altitudine *Festuca rubra* si è dimostrata essere la più resistente. Specie che si propagano tramite stoloni e rizomi crescono meglio rispetto alle graminacee a pulvino; sorprendentemente, anche diverse varietà di *Poa pratensis* hanno dato ottimi risultati.

Delle erbacee perenni ad oggi solo *Achillea millefolium* è sopravvissuta per più di 10 anni. Le altre specie e varietà testate sono da considerarsi a carattere pionieristico.

Oggi la propagazione e produzione di semente d'alta quota riesce a dare una buona varietà di specie, almeno per ciò che riguarda le graminacee (vedi anche i miscugli d'alta quota proposti più avanti nel testo).

#### **Utilizzo di fiorume proveniente da pascoli alpini:**

Sperimentazioni condotte con il fiorume di pascoli adiacenti al sito da rinverdire, hanno portato a risultati particolarmente soddisfacenti, quando il coefficiente di germinabilità della stessa semente lo consentiva. Lo spessore aggiunto di una copertura di fieno da inoltre una protezione di tipo meccanico contro l'erosione e favorisce la crescita delle piante.

#### **Raccolta di e riproduzione da semente della stazione interessata**

Fino a trent'anni fa non era ancora possibile acquistare semente adatta alle stazioni di alta quota. Per questo motivo, in Sudtirolo, nel 1978 fu raccolta la semente di *Poa pratensis* (a seconda delle condizioni meteorologiche presenta dal 30 – 85% di germinabilità) per la successiva produzione di giovani piantine. A partire dal 1986 *Poa pratensis* poté essere aggiunta ai miscugli di semente in percentuali rilevanti.

Oggi anche *Dechampsia flexuosa* e *D. cespitosa* sono in commercio quali specie di alta quota.

*Festuca nigrescens*, una delle erbacee alpine più importanti nella protezione dei versanti contro l'erosione, è in commercio dal 1994, e compone per oltre il 50% i miscugli utilizzati in Sudtirolo. Le specie "commerciali" ancora presenti nel miscuglio per alte quote sono *Festuca rubra* ECHO, KOS, due specie di trifogli e *Achillea millefolium*.

Specie	Percentuale in peso [%]
<i>Deschampsia cespitosa</i>	3
<i>Deschampsia flexuosa</i>	7
<i>Festuca nigrescens</i>	55
<i>Festuca rubra</i>	9
<i>Poa alpina</i>	15
<i>Achillea millefolium</i>	5
<i>Lotus corniculatus</i>	2
<i>Trifolium hybridum</i>	4

Tab. 22. Miscuglio di sementi per rinverdimenti ad alte quote di ambiti erosi sopra il limite del bosco

Sono ancora in corso tentativi di propagazione rispetto a *Festuca halleri*, *violacea* e *norica*, *Anthoxanthum alpinum*, *Phleum hirsutum* e *alpinum*, e con le erbacee perenni *Trifolium alpinum*, *Anthyllis vulneraria* (alte quote), *Lotus alpinus* e *Potentilla aurea*. Alcune di queste specie sono state testate con successo nella Stiria (Austria) ed introdotte in miscugli per le alte quote.

Nella tabella seguente sono riportati esempi di miscugli d'alta quota (KRAUTZER) della "Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft" (Centro Nazionale per l'Agricoltura Alpina) di Gumpenstein in Stiria (A).

<i>Festuca nigrescens</i>	41,0 %
<i>Poa alpina</i>	15,0 %
<i>Trifolium repens</i>	14,0 %
<i>Deschampsia flexuosa</i>	10,0 %
<i>Agrostis tenuis</i>	7,0 %
<i>Lotus corniculatus</i>	5,0 %
<i>Poa annua</i>	3,0 %
<i>Poa violacea</i>	2,0 %
<i>Achillea millefolium</i>	2,0 %
<i>Festuca supina</i>	0,9 %
<i>Phleum alpinum</i>	0,1 %

**Tab. 23. Miscuglio d'alta quota per ambiti acidi**

<i>Festuca nigrescens</i>	37,9 %
<i>Poa alpina</i>	30,0 %
<i>Trifolium repens</i>	10,0 %
<i>Agrostis tenuis</i>	5,0 %
<i>Anthyllis vulneraria</i>	5,0 %
<i>Lotus corniculatus</i>	5,0 %
<i>Achillea millefolium</i>	3,0 %
<i>Poa annua</i>	2,0 %
<i>Festuca violacea</i>	1,5 %
<i>Festuca norica</i>	0,4 %
<i>Phleum hirsutum</i>	0,2 %

**Tab. 24. Miscuglio d'alta quota per substrati calcarei**

### **Riproduzione vegetativa di erbacee alpine e produzione di giovani piantine**

Quando durante un ciclo vegetativo sopra al limitare del bosco le condizioni meteorologiche sono sfavorevoli le piante alpine non portano maturazione i propri semi. Ciò può accadere anche durante le stagioni propizie nel caso delle graminacee. Già nel 1980, perciò, all'Università di Innsbruck (Austria) si cercò di riuscire nella propagazione vegetativa della specie di alta quota.

La tecnica migliore, anche se quasi esclusivamente per le graminacee, risultò essere la divisione del pulvino in singoli fusti (MAIR, 1986 e STIMPFL, 1985).

URBANSKA (1985 – 1989) ed i suoi collaboratori riuscirono a incrementare la percentuale di successo. Essi sperimentarono la clonazione con singoli fusti (*Einzeltriebklonierung*) e la clonazione con gruppi o fasci di fusti (*Triebbüschelklonierung*) (STC = single-tiller-cloning e la MTC = multiplier-tiller-cloning).

Alcune graminacee crescono rapidamente, quando singoli fusti vengono separati dal clone ed impiantati (STC), altre invece mostrano una crescita maggiore quando sono fasci interi ad essere separati dalla pianta madre (MTC). Ciò viene confermato da WILHALM (1990) nella laurea a proposito del comportamento rigenerativo di specie alpine.

Per la riproduzione in vivaio si può comunque prendere in considerazione solo le graminacee, considerato il grande quantitativo di materiale vegetale necessario alla riproduzione delle erbe perenni.

#### **In natura la riproduzione avviene nel seguente modo:**

Durante il primo autunno vengono asportate dal sito di intervento delle piote erbose contenenti le specie erbacee desiderate. Esse vengono trasportate in vivaio, dove saranno tenute in serra per circa un mese bagnandole leggermente. In novembre, le piote devono essere divise in fasci, piantati successivamente su delle apposite griglie con un miscuglio di terra, sabbia e torba. Questa prima divisione porta ad una crescita notevole e rapida dei fasci, di circa 3 cm in larghezza in tre mesi.

In febbraio questi fasci già robusti, saranno divisi nei singoli getti e piantati nei root-trainers, dove potranno crescere fino al loro inserimento nei siti di intervento. Solo quando saranno passate le ultime gelate, le piantine potranno essere trasferite in un vivaio ad alta quota. In estate, infine, le piantine vengono inserite laddove la semina non è riuscita.

☉	<i>Agrostis schraderiana</i>
☉	<i>Poa alpina</i>
☉	<i>Festuca halleri</i>
☉	<i>Festuca pseudodura</i>
☉	<i>Festuca nigrescens</i>
☉	<i>Festuca trachyphylla</i>
☉	<i>Festuca varia</i>
☉	<i>Festuca norica</i>
☉	<i>Poa violacea</i>
☉	<i>Poa laxa</i>
☉	<i>Koeleria hirsuta</i>
☉	<i>Anthoxantum alpinum</i>
☉	<i>Agrostis alpina</i>
☉	<i>Nardus stricta</i>
☉	<i>Helictotrichon versicolor</i>
☉	<i>Deschampsia flexuosa</i>

Tab. 25. Lista di graminacee alpine, adatte alla riproduzione vegetativa tramite la clonazione dei getti, elencate dalla più adatta alla meno adatta.

Non si è ancora scoperta la tecnica di riproduzione vegetativa per le erbe alpine. Per questo motivo devono ancora essere raccolte le sementi delle erbe interessanti e fatte crescere in serra. La difficoltà non risiede solamente nel trovare una quantità sufficiente di semente matura, ma anche nella germogliazione della stessa. Nel 1994 Willigis GALLMETZER scoprì, che erbe alpine germogliano solo dopo essere state a bagno in una soluzione 0,005 Molare di acido gibberellico per 1-3 giorni. La superficie della semente delle leguminose, invece, deve essere resa scabra strofinandola contro della carta-vetro, prima di poterla piantare.

A partire da una altezza di 2-3 cm i germogli possono essere trapiantati nei root-trainers, dove saranno trattati ed utilizzati come descritto sopra per le graminacee.

## 5.2 *Piantazione su versanti e scarpate*

A garanzia di una migliore radicazione, su versanti precedentemente seminati si usa, di regola, piantare alberi ed arbusti con capacità di radicazione avventizia.

A seconda del versante possiamo utilizzare le seguenti tecniche di piantumazione:

- la piantazione a buchi;
- la piantazione a fessure;
- la piantazione a gradoni;
- tecniche più antiche sono le cordunate e la piantazione a file.

La scelta del materiale vegetale avviene tenendo in considerazione il periodo dell'anno, le condizioni climatiche e l'esposizione del versante:

- Piante a radice nuda
- Piante con zolla
- Piante in vaso o fitocella
- Piante forestali (per interventi di riforestazione)

Piante capaci di creare polloni avventizi si applicano meglio alle situazioni tipiche per un'opera di ingegneria naturalistica, dove le piante possono essere facilmente danneggiate dal vento, dal peso della neve o da valanghe. Dopo il danno, ma anche nel caso di una crescita troppo vigorosa, esse possono essere ceduate e ricacciano dal ceppo. Conifere (soprattutto il larice per la sua radicazione fittonante) vengono utilizzate solo in poche occasioni. Su scarpate a superficie sufficientemente brulla è possibile anche una semina delle essenze legnose.

### 5.3 *Interventi di drenaggio di versanti*

L'acqua di versante e la pressione idrostatica da essa provocata sono la causa più rilevante per frane e movimenti di scivolamento di versanti. Per questo motivo il drenaggio rappresenta la prima azione da intraprendere nel corso di un intervento su di un versante franoso. Le piante legnose svolgono quindi una funzione di primaria importanza, raggiungendo e quindi attingendo anche all'acqua negli orizzonti più profondi del terreno. Quando però la fuoriuscita d'acqua dal versante supera il litro al secondo si è costretti a ricorrere alle metodologie classiche di ingegneria.

Il sistema di drenaggio si basa su tre principi susseguenti:

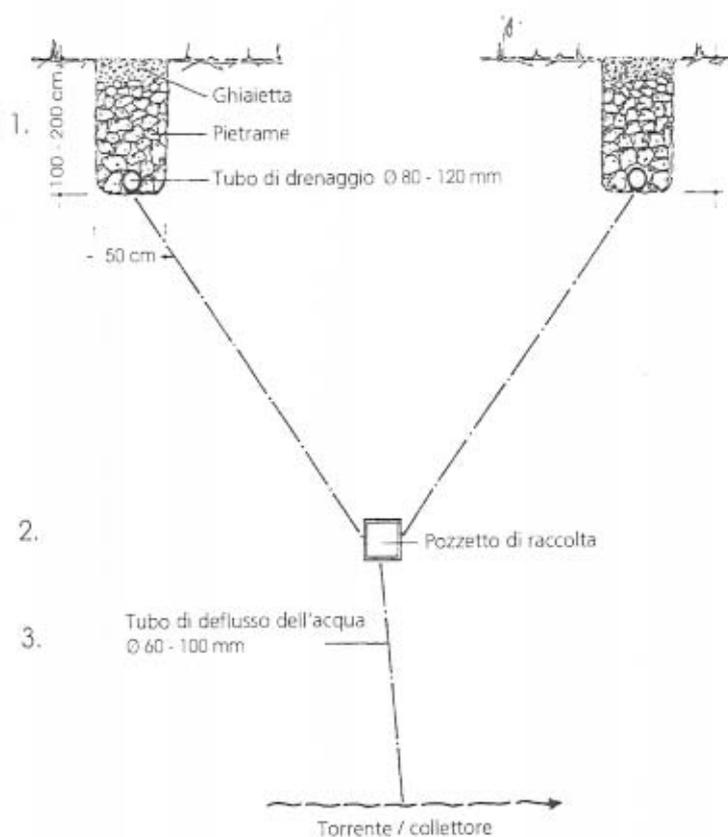
- ➔ La captazione dell'acqua di versante
- ➔ La raccolta dell'acqua di versante
- ➔ La derivazione dell'acqua di versante

#### 5.3.1 Drenaggi tecnici

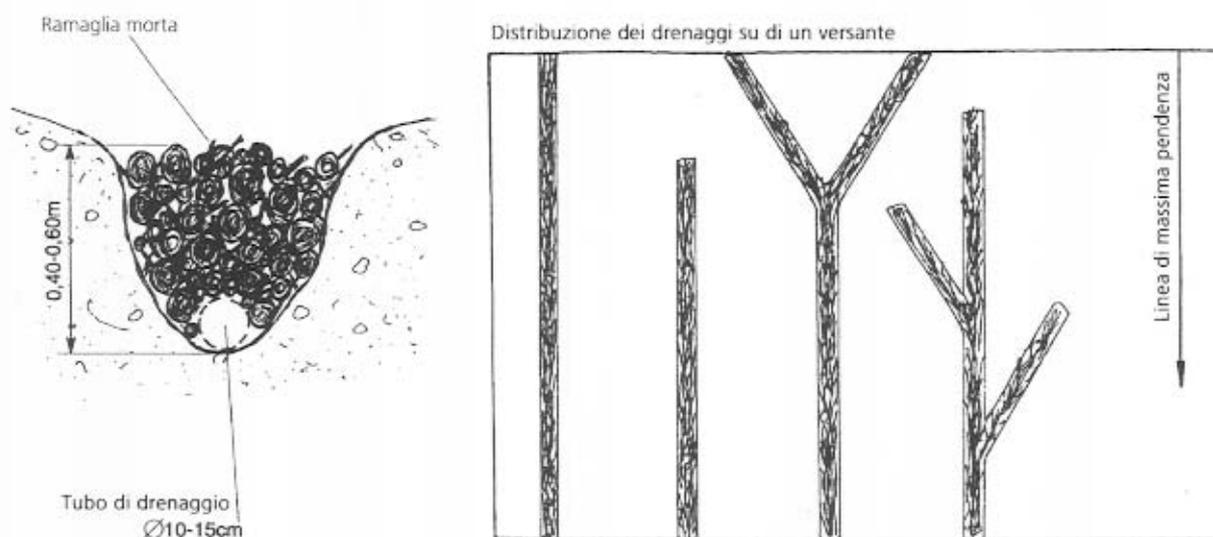
La captazione delle acque di versante avviene tramite la posa di tubi di drenaggio coperti da ghiaia (30/50) o pietrame, fossi di drenaggio o drenaggi in ramaglia.

La raccolta dell'acqua avviene invece in pozzetti in legno (solitamente in legno di larice o a doppia parete, per la raccolta del materiale solido) dove può defluire nelle tubazioni chiuse fino al collettore.

Portate d'acqua maggiori possono essere fatte defluire anche a cielo aperto, in canalette o cunette in legno o tramite un sistema di canali rivestiti di pietra.



**Fig. 54.** Sistema di drenaggio: 1) la captazione dell'acqua, 2) la raccolta dell'acqua e 3) il sistema di deflusso dell'acqua



**Fig. 55.** Tecnica di drenaggio con ramaglia in ambienti ombreggiati

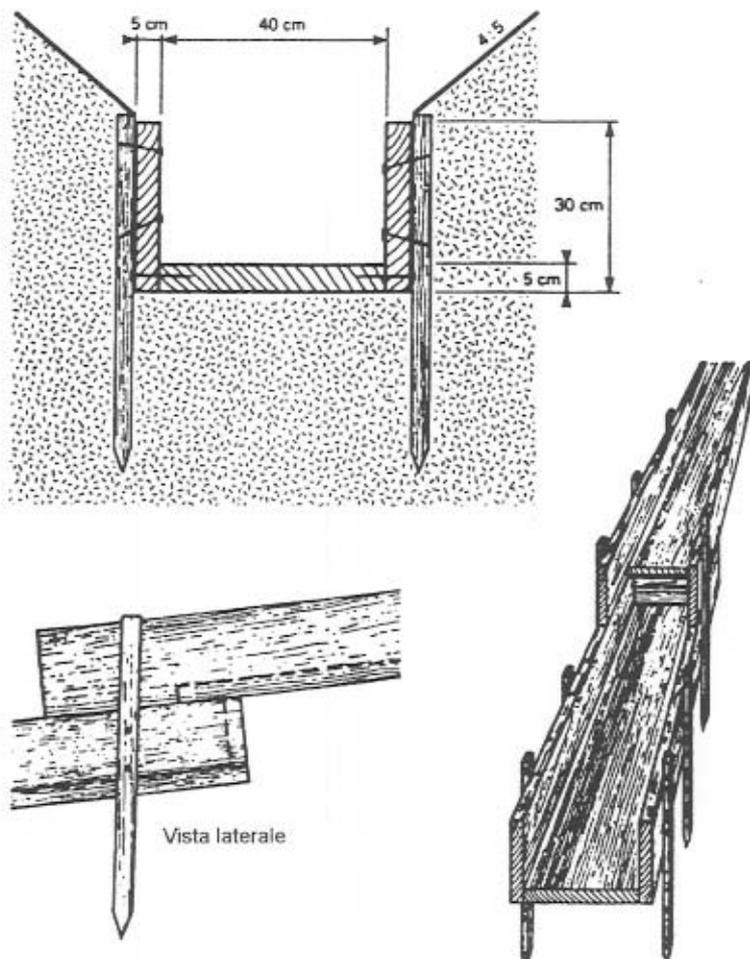


Fig. 56. Canaletta in legno rettangolare per lo smaltimento delle acque

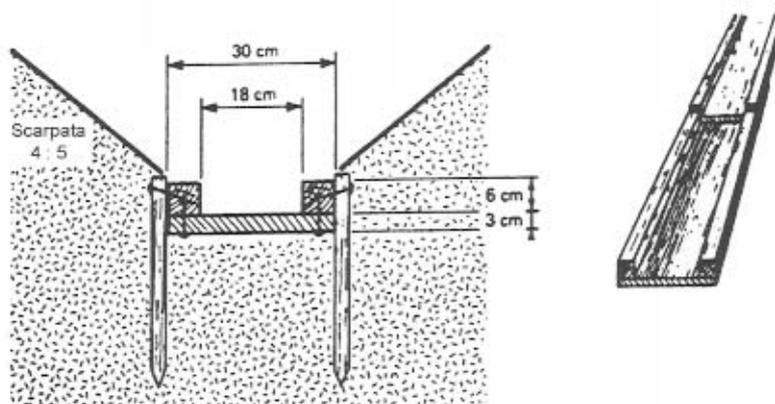


Fig. 57. Canaletta in legno con paletti laterali per lo smaltimento delle acque

### 5.3.2 Drenaggi biologici con fascine vive

In situazioni con portate ridotte, non superiori a 1 l/s, si può optare per drenaggi eseguiti con materiali vivi. Fascine di drenaggio consistono in fascine vive di salici ( $\varnothing = 30 - 40$  cm), posate per il drenaggio di zone umide in piccoli fossi, che si sviluppano lungo le linee di massima pendenza del versante. A questo scopo vengono scavati nel pendio dei piccoli fossi, verticalmente e diagonalmente rispetto alla scarpata. Successivamente vengono inseriti dei paletti di legno lungo i fossi ad una distanza pari a 2 m. Il materiale vivo delle fascine viene quindi posato all'interno degli scavi e fissato ai paletti con del filo di ferro precedentemente legato agli stessi paletti. Infine, le fascine dovranno essere ricoperte con uno strato di materiale terroso (3 - 4 cm).

Nella parte inferiore delle fascine, circa per un terzo del loro spessore, si può utilizzare della ramaglia morta, che permette il defluire dell'acqua nello stesso modo della ghiaia. Il materiale vivo, al contrario, ricaccia creando delle spesse cortine di salice, con un alto potenziale di evapotraspirazione.

Le aree tra le fascine saranno quindi rinverdite con l'idrosemina e piantumate con piante arbustivo-arboree radicate.

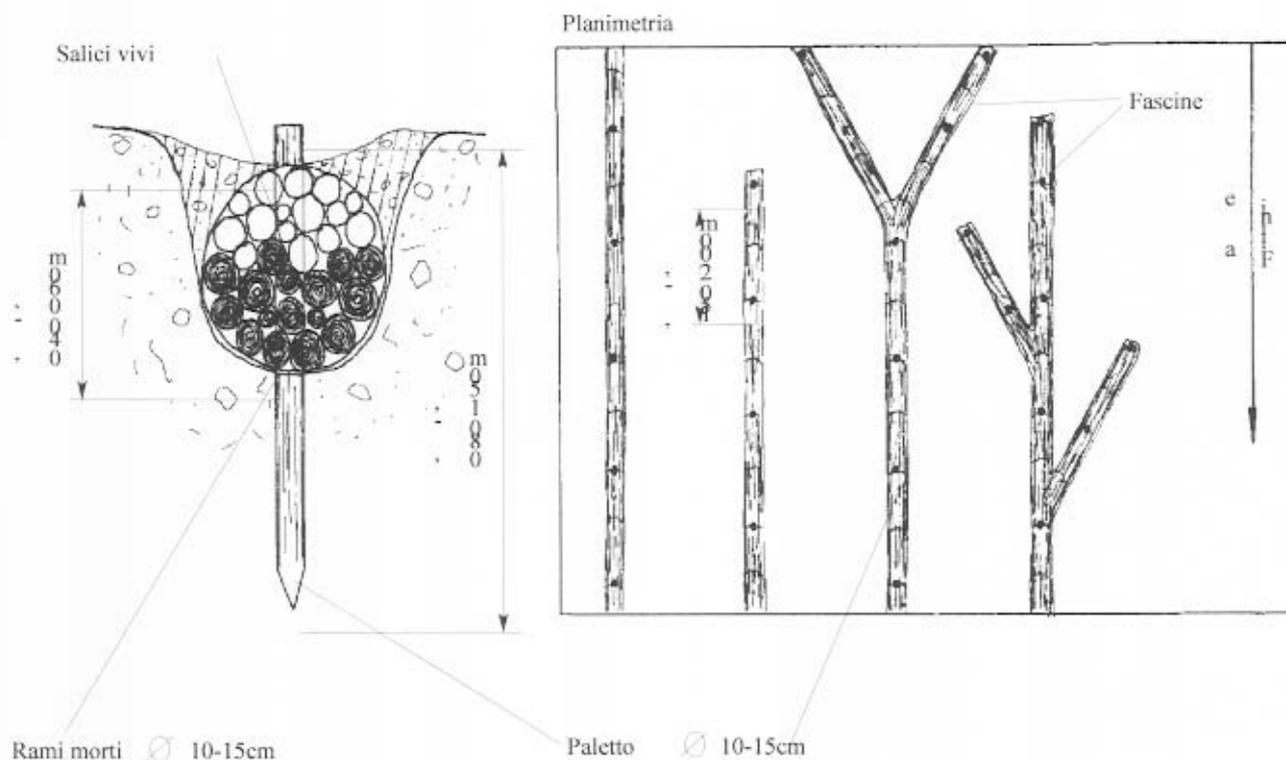


Fig. 58. Fascine vive drenanti

## 5.4 Interventi contro un' instabilità profonda 10-20 cm

### 5.4.1 Fascinata viva di versante

La stabilizzazione di strati di terreno instabile, profondi da 10 a 20 cm, viene raggiunta tramite la costruzione di fascine vive diagonali o di cordionate vive orizzontali. Queste tipologie si adattano meglio alle condizioni dei versanti che non le viminate, che venivano eseguite nel passato. Infatti il legname di cui sono composte le viminate si decompone rapidamente a causa della ridotta area ricoperta da terreno, facilitando quindi i fenomeni erosivi.

Le fascine posate diagonalmente rispetto all'angolo di maggior declivio del versante sono particolarmente adatte in situazioni umide, dove in aggiunta alla loro funzione stabilizzante, esse possono drenare parzialmente il pendio. La funzione di freno allo scivolamento del primo strato di terreno (fino a ca. 20 cm di profondità) viene dapprima espletata meccanicamente, ma, con il passare del tempo, le radici ed i fusti delle piante cresciute aggiungono un ulteriore fattore di stabilità al sistema.

La costruzione delle fascine è del tutto simile al procedimento per la fascina viva di drenaggio. Le uniche differenze risiedono nell'orientamento diagonale delle fascine e nel loro ridotto spessore.

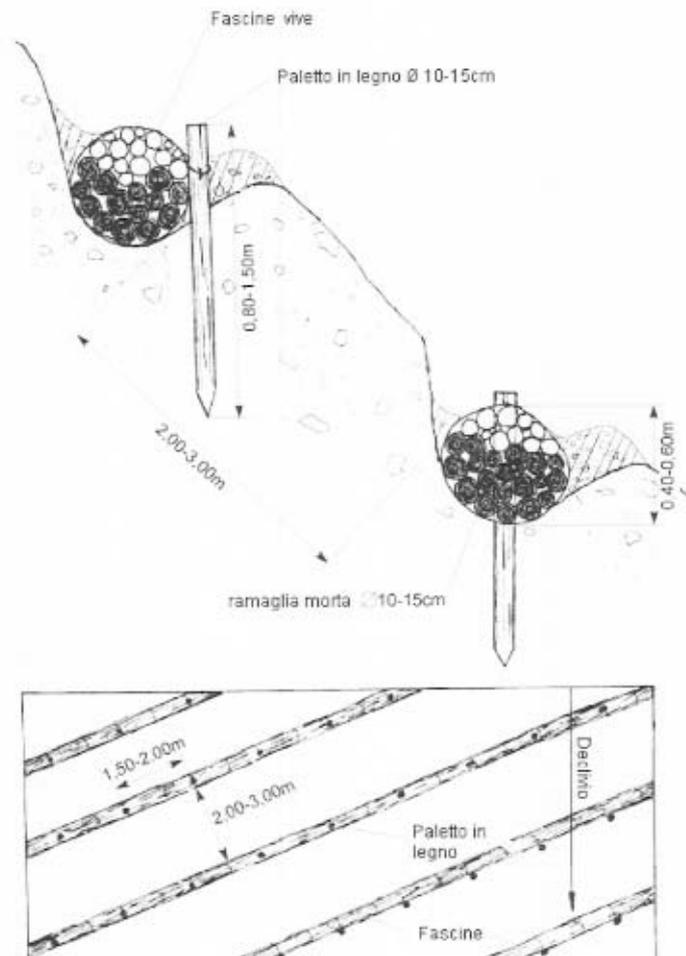


Fig. 59. Fascinata viva di versante

## 5.4.2. Cordonata viva in legname

Su versanti xerici o mesa-xerici al posto delle fascine diagonali, dove esse non presentano un sufficiente fattore di crescita per la ridotta disponibilità di acqua, possono essere utilizzate delle cordonate vive per la stabilizzazione di orizzonti di scivolamento non superiori a 20 cm di profondità. Quest'opera consiste in pali correnti inseriti orizzontalmente nel terreno, che poggiano su piloti in legno o ferro precedentemente battuti verticalmente nel pendio. La costruzione è completata da spezzoni di gradonate vive, poste lungo i pali correnti.

La funzione dell'opera è simile a quella delle fascine sui versanti. Il tondame ed i cespugli frenano il movimento franoso del materiale superficiale ed i cespugli stessi garantiscono la durata dell'opera nel tempo. In alternativa alla gradonata viva nella cordonata viva si possono anche piantare conifere (piantumazione verticale).

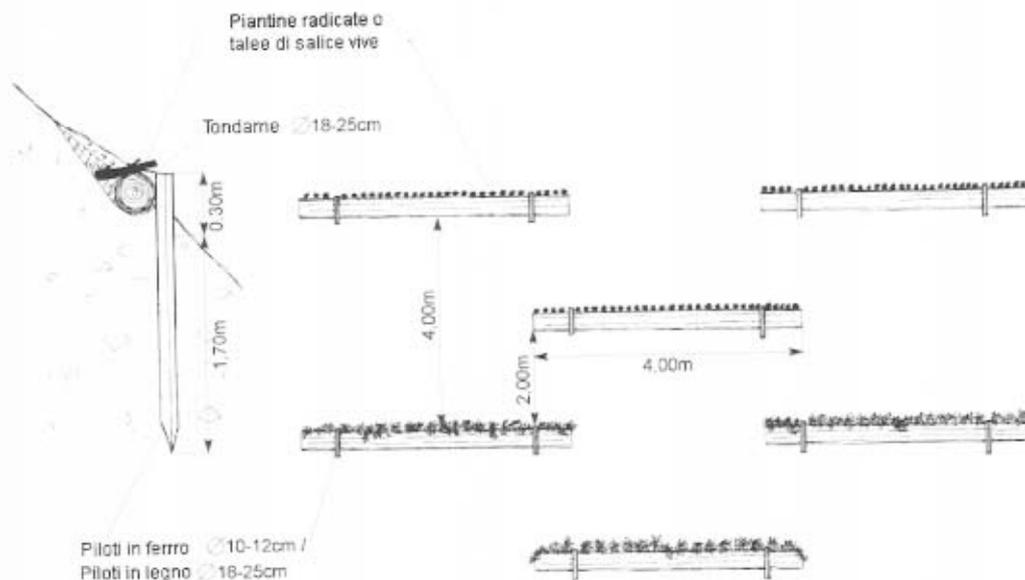


Fig. 60. Cordonata viva in legname

### 5.4.3. Grata viva

Declivi particolarmente ripidi, caratterizzati da uno strato di terreno in movimento - profondo fino a 10 - 20 cm - oppure da materiale molto compatto che non deve essere intaccato, possono essere efficacemente difesi da una grata viva, che si appoggia sulla parete stessa. Su tondeame incuneato verticalmente nel terreno sottostante e stabilmente ancorato si inchioda o avvita del tondeame orizzontale. Procedendo con il riempimento della struttura con materiale terroso si inseriscono delle piantine radicate e/o delle talee vive come in una gradonata al livello dei pali orizzontali.

L'intera struttura viene ancorata al versante tramite delle verghe di ferro. Il sostegno al piede può essere un palo in legno di 30 - 50 cm di diametro o una palificata di sostegno. Opere di sostegno solo puntuali, al contrario, non sono idonee, poiché cedono facilmente sotto la pressione del palo.

La grata viva è una cosiddetta opera di copertura: nei primi mesi dopo l'esecuzione essa non è in grado di stabilizzare in profondità il terreno. Essa svolge una funzione di freno alla erosione superficiale su pendii che sono troppo ripidi per l'inserimento di fascine o cordunate.

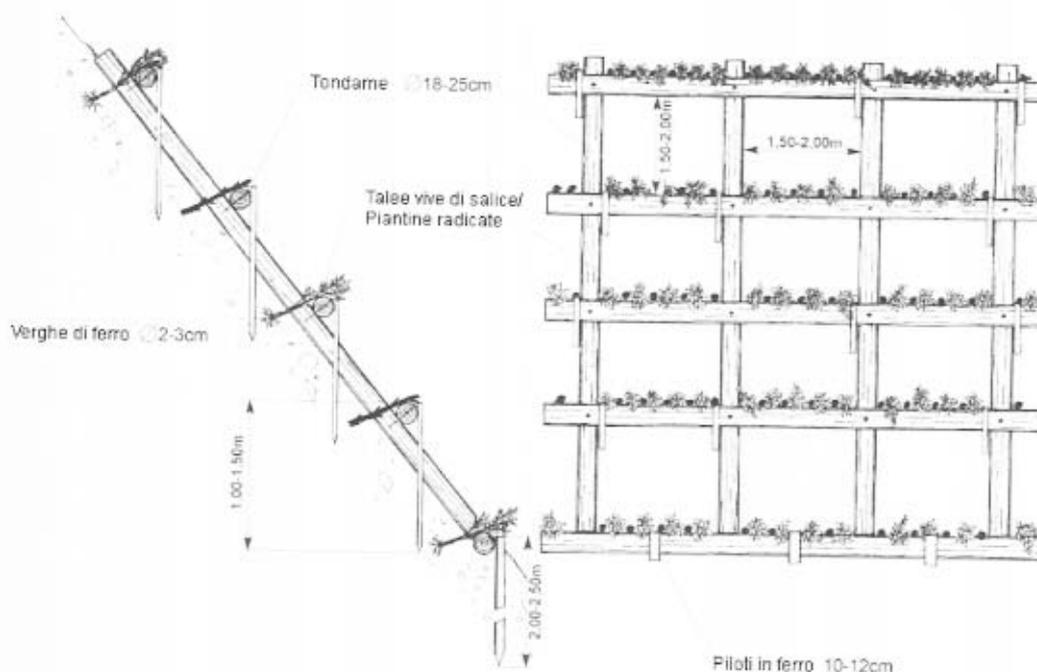


Fig. 61. Grata viva

## **5.5            *Interventi contro un' instabilità profonda 30-200 cm***

### **5.5.1            Gradonata viva**

La gradonata viva trova applicazione su versanti e scarpate franose dove la profondità dell'orizzonte di scivolamento non superi 1,5 m. Talee di salice e/o piantine radicate di latifoglie sono posate parallelamente su terrazzamenti profondi da 0,5 a 1,5 m e lievemente inclinati verso l'interno della scarpata. La struttura viene appesantita da un palo in legno poggiato all'interno del gradone. Le talee e le piantine inserite vengono poi ricoperte dal terreno di riporto proveniente dallo scavo del gradone successivo in tal modo che fuoriescano dal terreno solo per 10 – 15 cm. I salici e le piante radicate a radicazione avventizia creano in questo modo delle dense fila di cespugli.

Un'ulteriore ottima applicazione della gradonata viva risiede nella stabilizzazione di scarpate e rilevati in genere creati con materiale di riporto, anche se molto alti. In questo caso le piante vengono inserite durante la fase di costruzione del rilevato. Laddove la pendenza delle scarpate risulti troppo elevata, il terreno tra due gradoni deve essere rivestito da un biotessile (generalmente in fibra di cocco 700 – 900 g/m<sup>2</sup>), come nel caso delle gradonate su geostuoia, utilizzate nelle opere di sistemazione fluviale.

La funzione stabilizzante delle gradonate vive si basa sulla forza resistente delle piante, che risulta dalla resistenza alla pressione ed alla tensione del legno e dalla forza di coesione tra pianta e terreno. Quest'ultima viene incrementata dalla radicazione delle piante.

L'effetto statico dell'opera risiede nell'unione degli elementi vegetali e del terreno sino a creare un corpo di sostegno. La durata nel tempo della funzione di consolidamento è garantita dall'utilizzo di materiale vegetale vivo. Una spiegazione più precisa del calcolo statico di fondo è stata data da Bernd SCHUPPENER (1994).

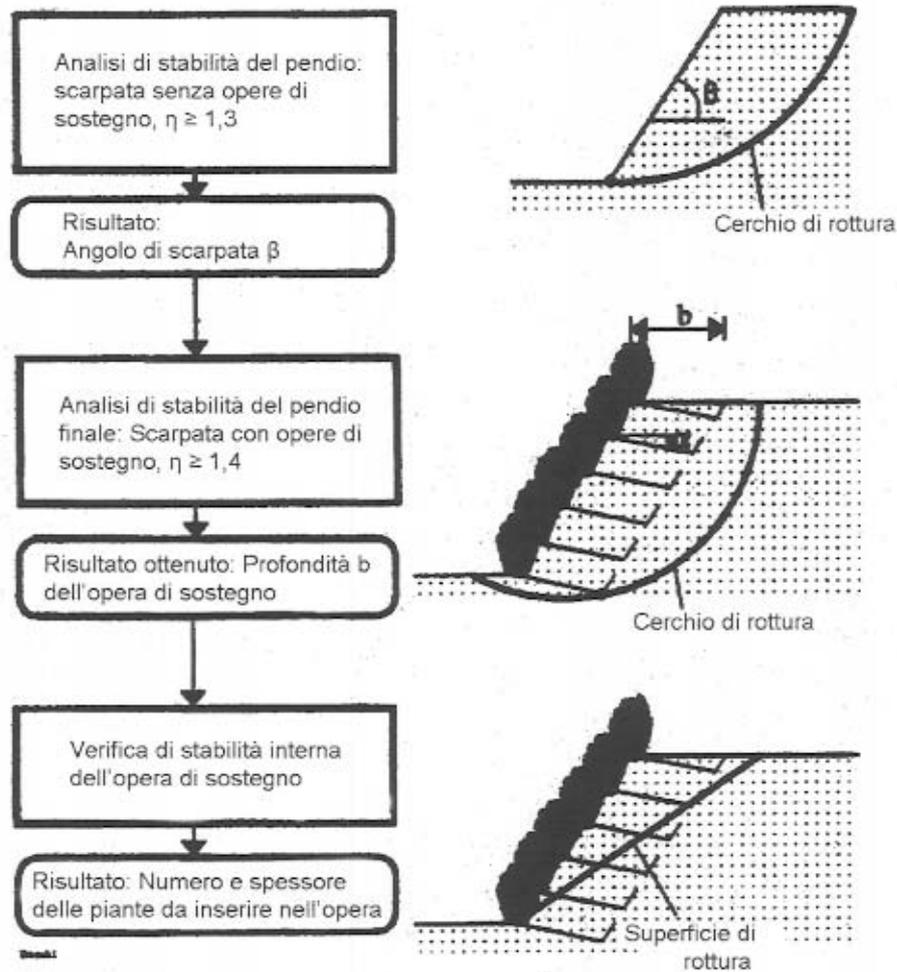


Fig. 62. Percorso logico per la verifica di stabilità di opere di ingegneria naturalistica (SCHUPPENER, 1994)

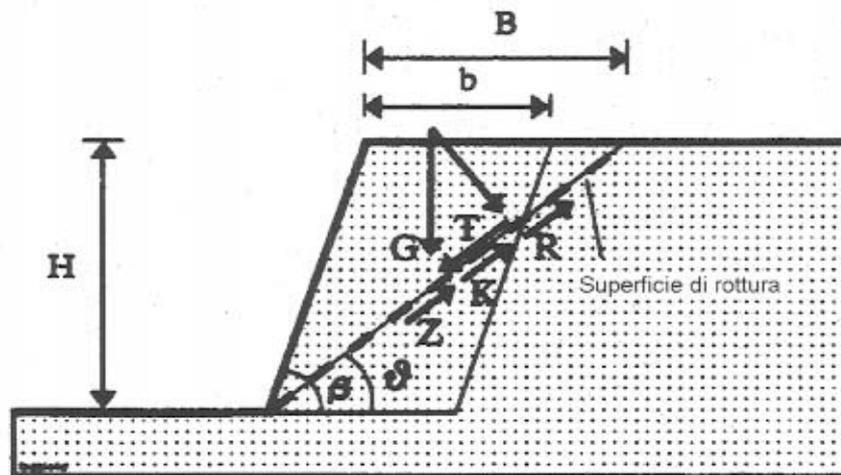


Fig. 63. Componenti di calcolo di un corpo in rottura (SCHUPPENER, 1994)

Il calcolo presuppone una analisi d'equilibrio per un corpo in rottura. Alla risultante ( $T^\circ$ ) delle forze che agiscono al di sopra della superficie di rottura o scorrimento (peso proprio del terreno  $G^\circ$ , forze sismiche, ecc.), si deve contrapporre la forza resistente allo scivolamento, composta dalla forza d'attrito ( $F^\circ$ ) lungo la superficie di rottura, dalla coesione del terreno ( $C^\circ$ ) sulla medesima superficie e dalla portanza ( $Z^\circ$ ) delle piante inserite, con un coefficiente di sicurezza  $\eta=1,4$ .

$$\eta = \frac{F + C + Z}{T} \quad Z = 1,4 \cdot T - F - C$$

Le piante agiscono da armatura e nel modello meccanico da ancoraggio passivo o da tassello, a seconda della loro lunghezza e della loro resistenza alla flessione. In questo senso risulta rilevante la resistenza della pianta opposta alla trazione.

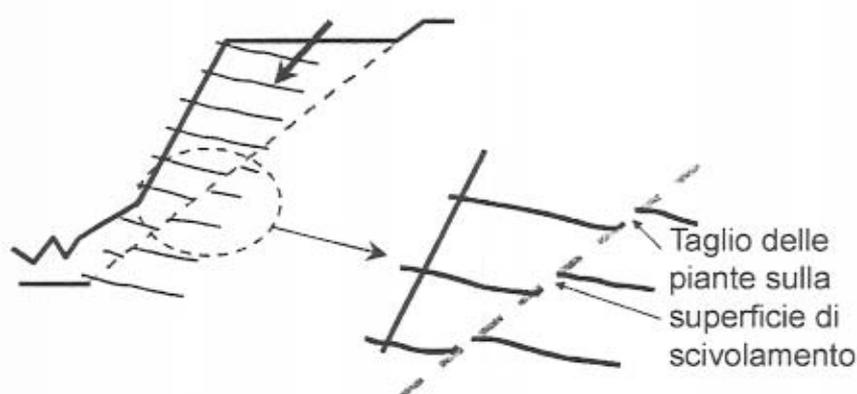


Fig. 64. Instabilità di un pendio con rottura a taglio delle singole piante (SCHUPPENER, 2003)

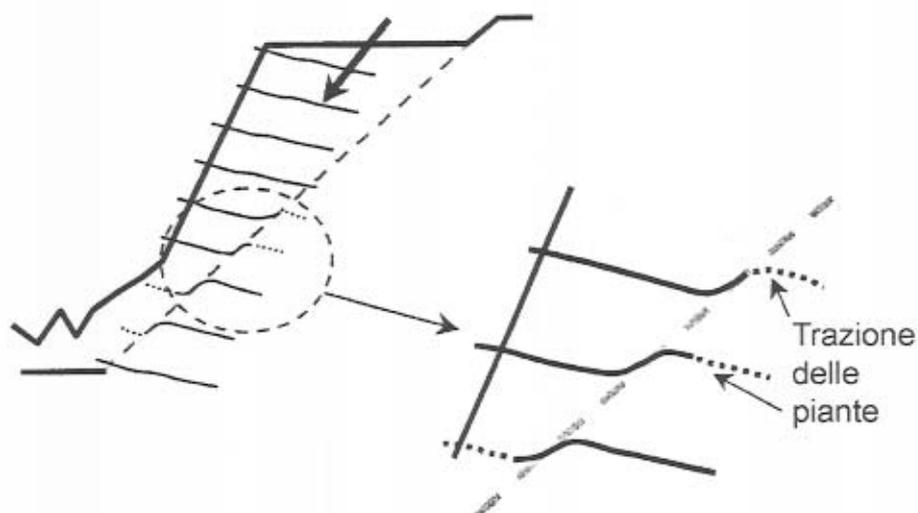


Fig. 65. Instabilità di un pendio, con conseguente estrazione delle piante (SCHUPPENER, 2003)

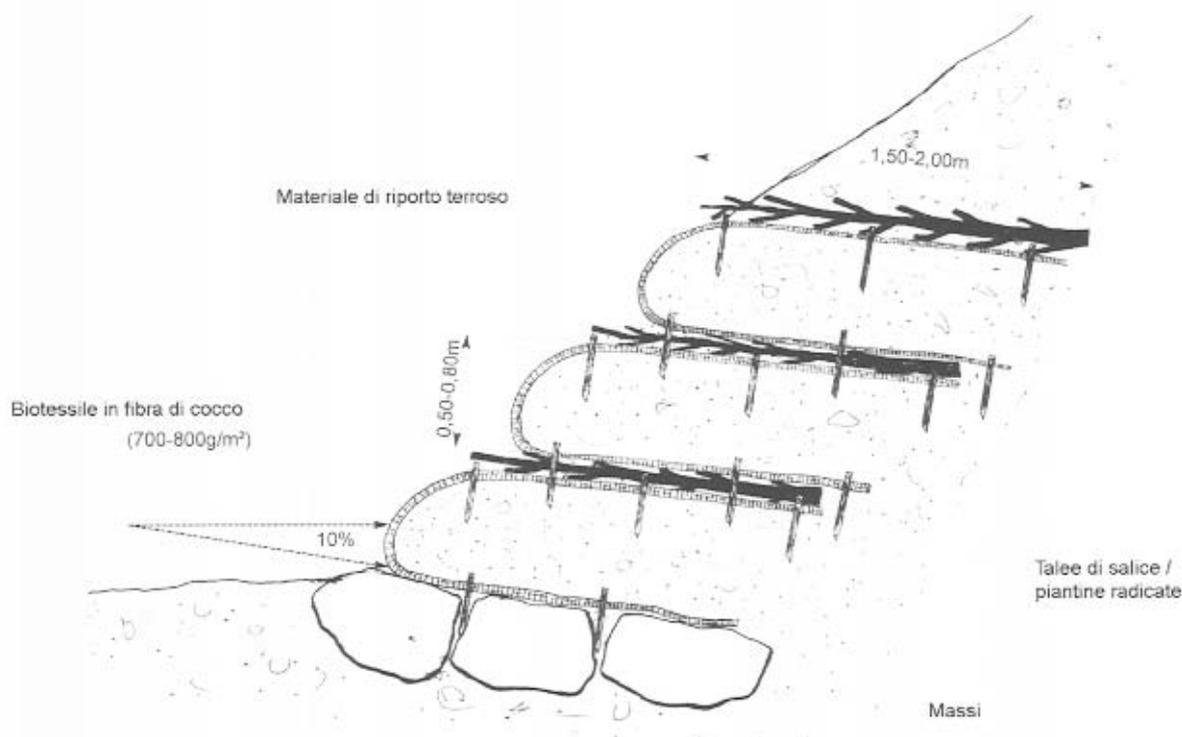


Fig. 66. Gradinata viva e rivestimento degli strati intermedi di terreno con biotessile applicate durante la costruzione di scarpate

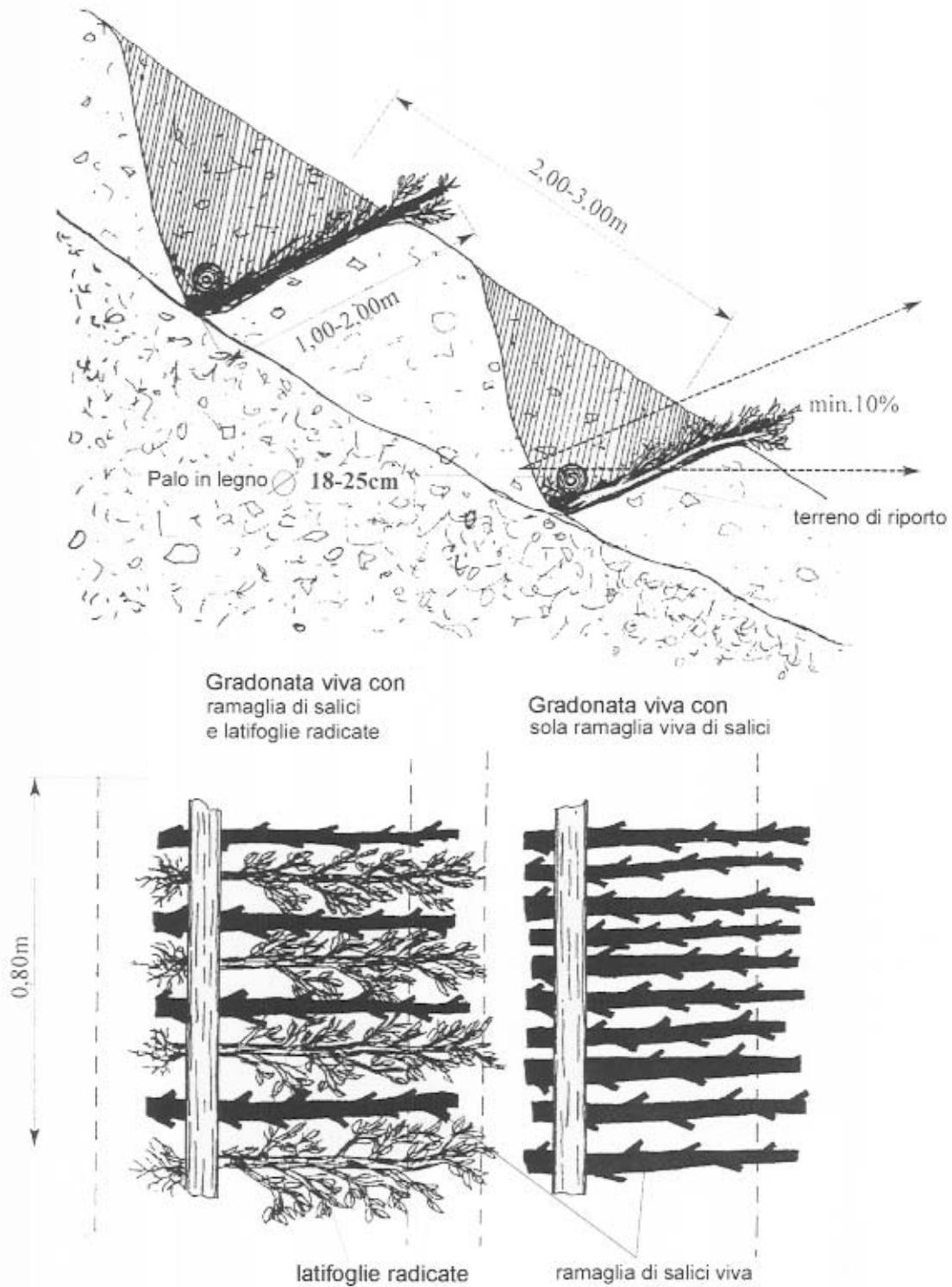


Fig. 67. Gradonata viva in sezione e planimetria

### 5.5.2 Palificata viva di sostegno

Le palificate vive agiscono da opere sostegno (muri a gravità) di versanti franosi dove la superficie di scivolamento è profonda non più di due metri. Le talee e le piante inseritevi svolgono diverse funzioni: da un lato esse asciugano il terreno tramite l'evapotraspirazione da loro indotta, dall'altro contrastano l'erosione del terreno all'interno della palificata. Dopo la marcescenza del tondame che costituisce la struttura, inoltre, le piante sostituiscono la palificata nella sua funzione portante.

Procedimento di costruzione delle palificate:

L'opera è costituita da due file di pali in legno ( $\varnothing = 18 - 25$  cm) disposti longitudinalmente (pali "correnti",  $L = 4-6$  m) e da corti pali disposti perpendicolarmente (denominati "traversi",  $L = 1-2,5$  m). Questa struttura viene ripetuta più volte nella verticale, sfasando la posizione dei traversi rispetto alla serie sottostante. L'intera struttura a celle, risultante dal procedimento sopra descritto, è ruotata rispetto al proprio asse del 10 – 15 % verso l'interno del pendio, per aumentare la propria resistenza al ribaltamento. Il basamento dell'opera può essere appesantito con una copertura continua di pali "traversi". Quest'ultimo accorgimento viene utilizzato per prevenire un eventuale dilavamento del terreno all'interno della struttura quando si riscontra un alto livello della falda del versante.

La parete esterna dovrà essere inclinata del 30 – 50% per evitare un eccessivo ombreggiamento reciproco delle piante e per favorirne la radicazione nel terreno. Le palificate vengono ancorate al substrato con dei piloti in ferro lunghi 2,0 – 2,5 m, per impedirne dei movimenti di scivolamento o ribaltamento. Il riempimento di terra viene eseguito con il materiale di scavo. Durante questa fase tra le file di pali "correnti" vengono inserite delle talee di salice e/o delle piantine radicate a radicazione avventizia (ontani grigi, frassini, salicome, pado,...) come nelle gradonate vive.

Generalmente vengono costruite solo palificate di sostegno a parete doppia, sopra descritte, per la loro migliore funzione stabilizzante. Palificate a parete singola possono essere implementate laddove il terreno in movimento non sia più profondo di 30 – 50 cm.

Il tondame utilizzato deve risultare di lunga durata per dare tempo alla vegetazione di svilupparsi nel miglior modo possibile:

Conifere: larice, pino  
Latifoglie: robinia, quercia, castagno

Dettagli ulteriori riguardo il fissaggio del tondame è descritto nel capitolo 4.5.8.

Il calcolo statico della stabilità di una palificata di sostegno avviene tramite l'individuazione del coefficiente di ribaltamento e del coefficiente di slittamento:

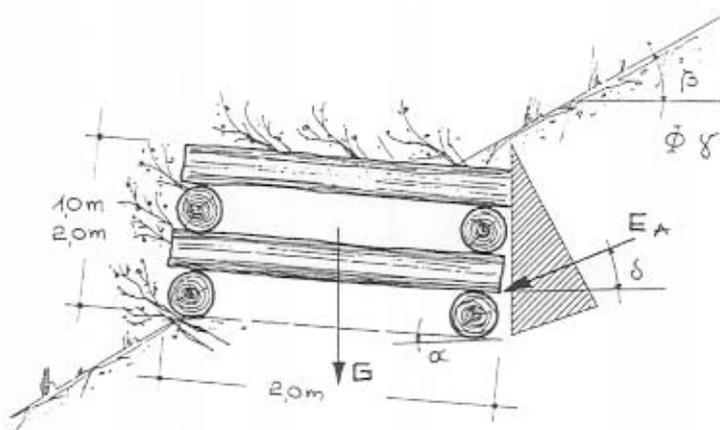
I calcoli statici relativi alla palificata viva quale opera di sostegno (costruzione a muro a gravità) avviene tramite verifica a rotazione ( $F_{rot}$ ) e verifica a traslazione ( $F_{trasl}$ ):

$$F_{Rot} = \frac{M_{GV} + M_{GH} + M_{EAV}}{M_{EAH}} = \frac{\text{haltende Momente}}{\text{treibende Momente}}$$

$$F_a = \frac{G_V + E_{AV}}{G_H + E_{AH}} \cdot \tan \phi_s$$

- EA = Spinta del terreno  
 G = peso proprio  
 $\phi_s$  = angolo di attrito terreno/basamento  
 H = orizzontale  
 V = verticale  
 M = momento

Tab. 26. La resistenza al ribaltamento ed allo scivolamento delle palificate vive di sostegno e le tensioni ammissibili del tondame (HIRT 1990)

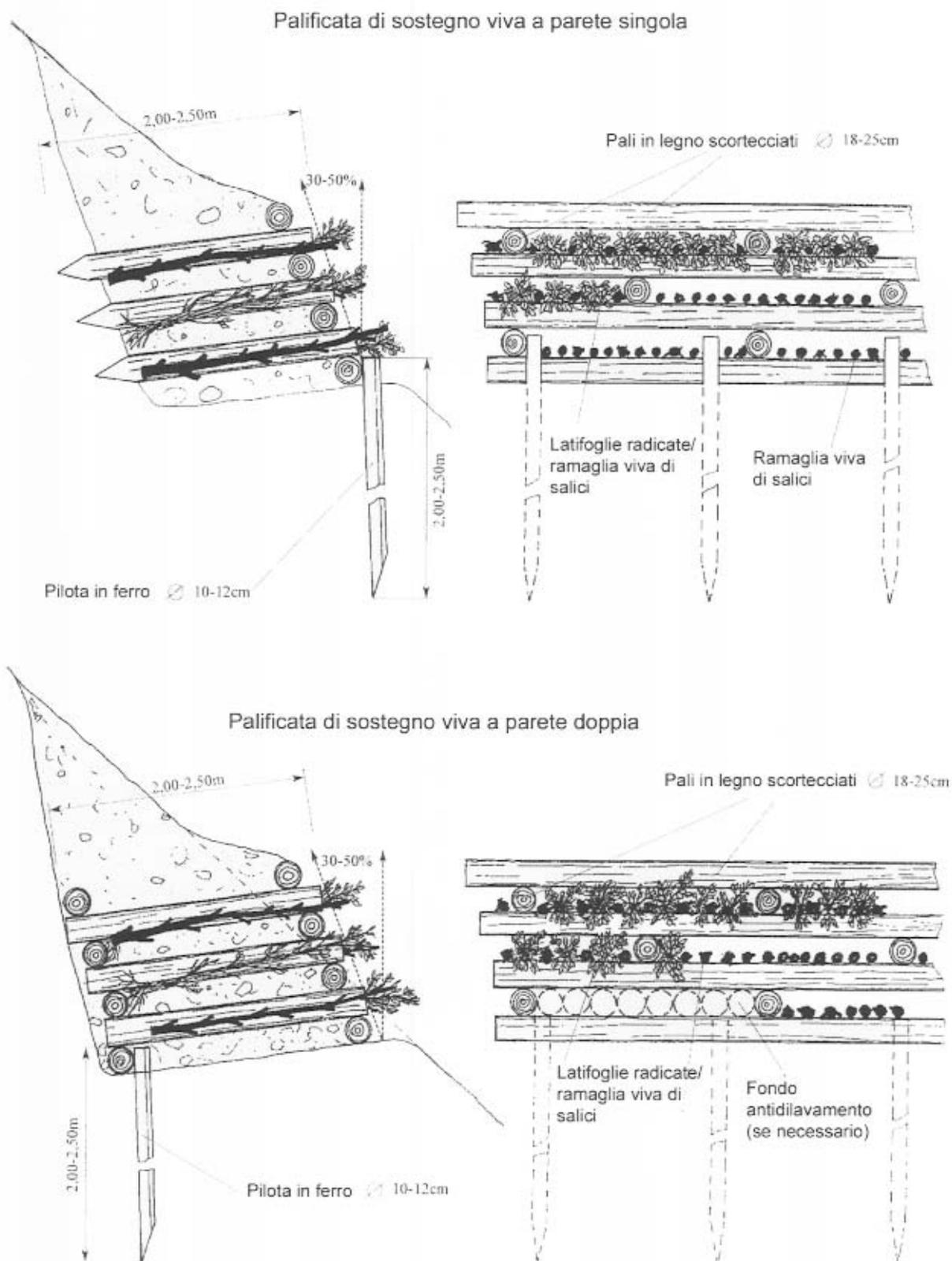


#### DATI DI CALCOLO

ALTEZZA DI SOSTEGNO	10m 20m
ANGOLO D'ATTRITO DEL TERRENO	$\phi = 40^\circ$
INCLINAZIONE DEL PENDIO	$\beta = \phi$
ANGOLO D'ATTRITO TERRENO/PARETE	$\delta = 2/3 \phi$
ANGOLO D'ATTRITO TERRENO/BASAMENTO	$\delta_s = \phi$
INCLINAZIONE DEL PIANO DI FONDAZIONE	$\alpha = 6^\circ - 10^\circ$
PESO SPECIFICO DELLA STRUTTURA IN LEGNO	$\gamma_{GL} = 20 \text{ kN/m}^3$
PESO SPECIFICO DEL TERRENO	$\gamma_T = 20 \text{ kN/m}^3$

#### CONDIZIONI DI STABILITÀ

	ALTEZZA DI SOSTEGNO	
	10m	20m
COEFFICIENTE DI STABILITÀ AL RIBALTAMENTO $F_{Ri}$	18	7
COEFFICIENTE DI STABILITÀ ALLO SLITTAMENTO $F_{SL}$	14	5
ECCENTRICITÀ $e$ (cm)	-7	-3
MASSIMA PRESSIONE SULLA FONDAZIONE $\sigma_{max}$ (N/mm <sup>2</sup> )	0,03	0,05
MASSIMA PRESSIONE SUL TERRENO $\sigma_{EA}$ (N/mm <sup>2</sup> )	0,01	0,02



### 5.5.3 Muro cellulare vegetato

In alternativa alle classiche palificate di sostegno in legno si costruiscono dei muri di sostegno composti da elementi di cemento. Il vantaggio dei muri cellulari risiede nella rapidità di esecuzione e nel ridotto volume di scavo necessario (per un'altezza massima 3,5 m solo 1,3 m di profondità contro i 2,4 m delle palificate in legno). Si ripercuotono negativamente sullo sviluppo delle piante la forte pendenza (5:1) e le condizioni di xericità quando la struttura è esposta al sole. Le piante devono essere inserite durante la costruzione del muro, vista la difficoltà di eseguire l'operazione a struttura ultimata. Nel caso di caduta di massi gli elementi in cemento cedono più facilmente delle strutture in legno, più elastiche.

Calcoli statici in riferimento ai muri cellulari sono stati eseguiti da Lutz WICHTER (1988).

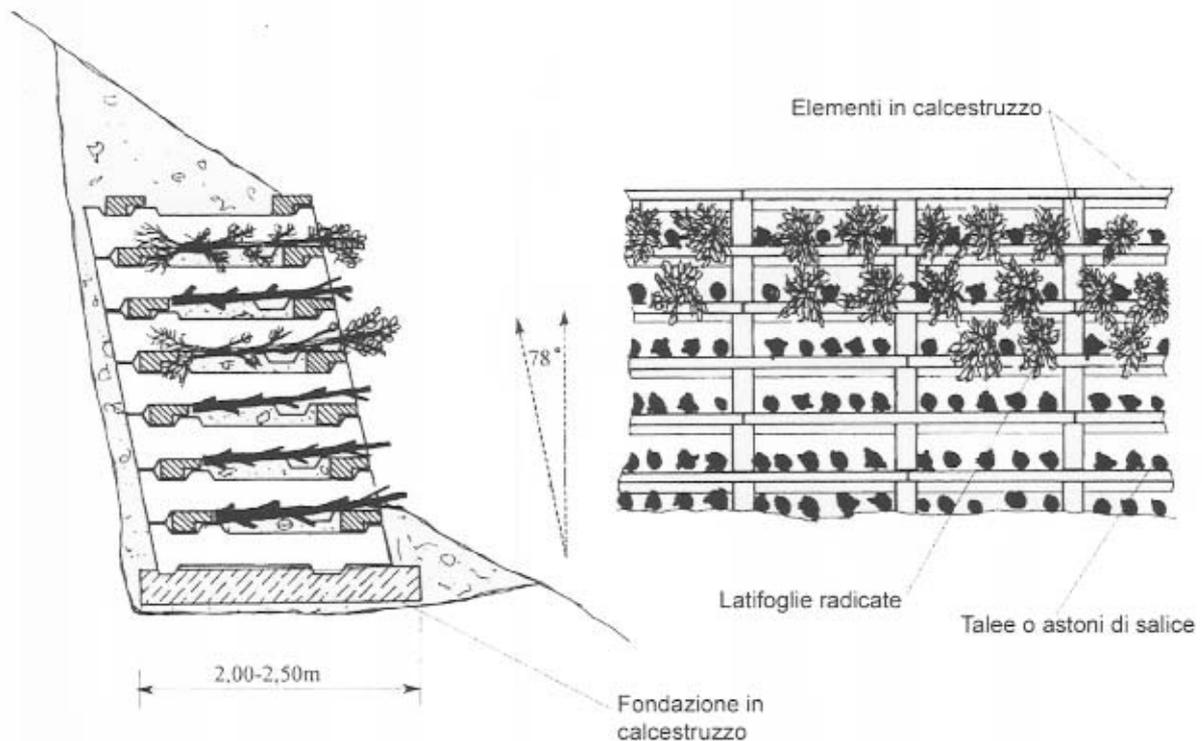


Fig. 69. Muro cellulare vegetato

#### 5.5.4 Muratura a secco vegetata

Tra le opere di sostegno più funzionali si annoverano le murature a secco, eseguite con grandi massi e di seguito rinverdite. Queste possono essere eseguite con qualsiasi pendenza e si adattano quindi a tutti i pendii. Quando il pietrame proviene dal luogo, inoltre, le murature acquistano anche un indubbio valore paesaggistico.

Il rinverdimento degli interspazi riempiti di terra viene eseguito tramite l'idrosemina. Con l'inserimento di talee di salice o piantine radicate (con pane di terra) si ottiene un ulteriore drenaggio del pendio.

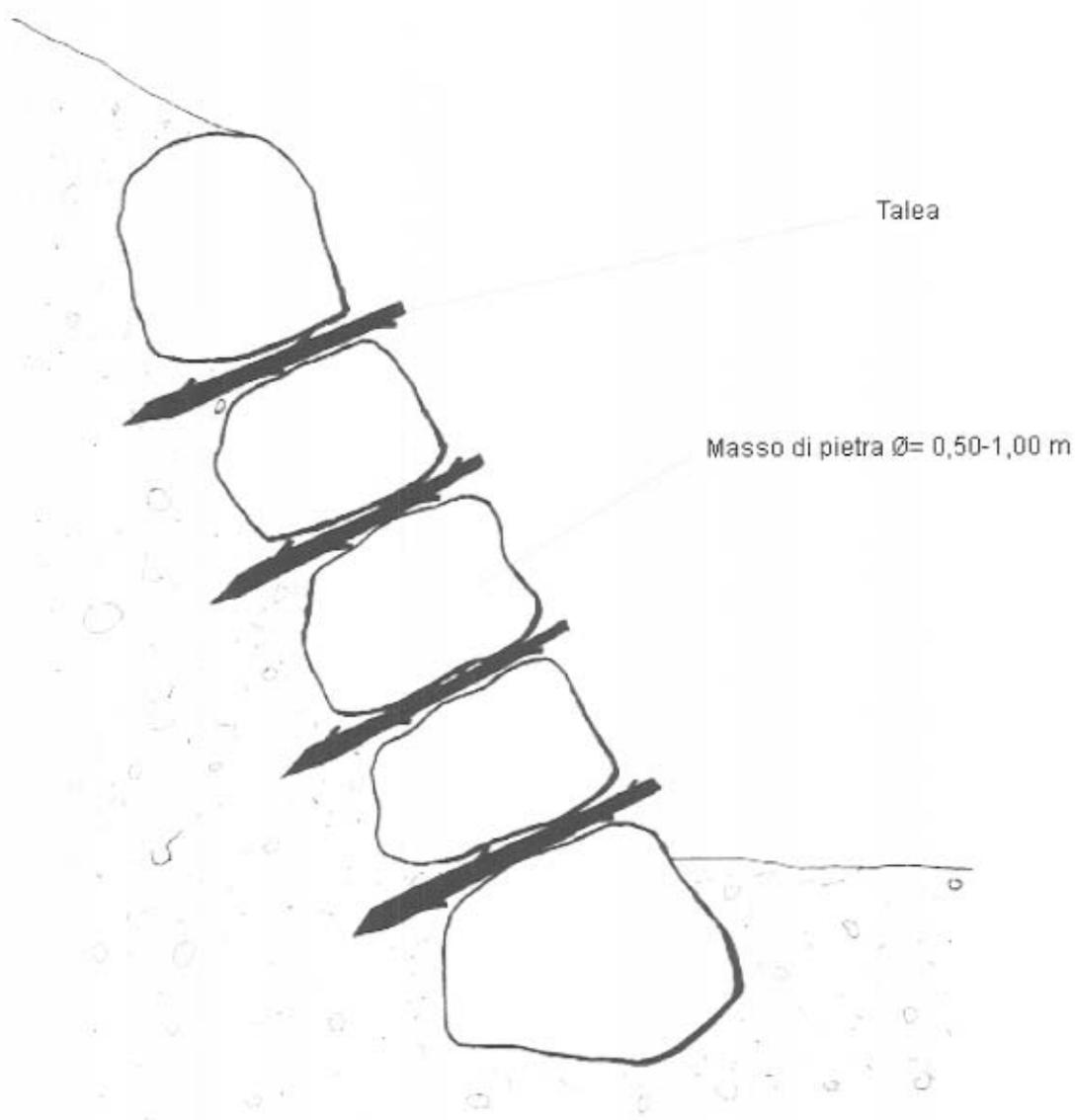


Fig. 70. Muratura a secco con massi rinverdita

### 5.5.5 Gabbioni vegetati

Quando non è possibile reperire dei grossi massi, ma è disponibile pietrame di ridotta pezzatura in sufficiente quantità, le opere di sostegno possono essere eseguite anche con dei gabbioni. Nelle gabbie di filo di ferro si posa il pietrame a mano, in modo da ridurre al minimo gli interspazi. Le gabbie metalliche vengono poi chiuse e legate l'una con l'altra. L'inserimento di talee di salice e la loro copertura con terra favorisce l'inserimento paesaggistico delle gabbionate. Le piantine radicate trovano difficilmente applicazione in questa opera per le difficoltà di inserimento riscontrate a causa della maglia di dimensioni ridotte dei gabbioni.

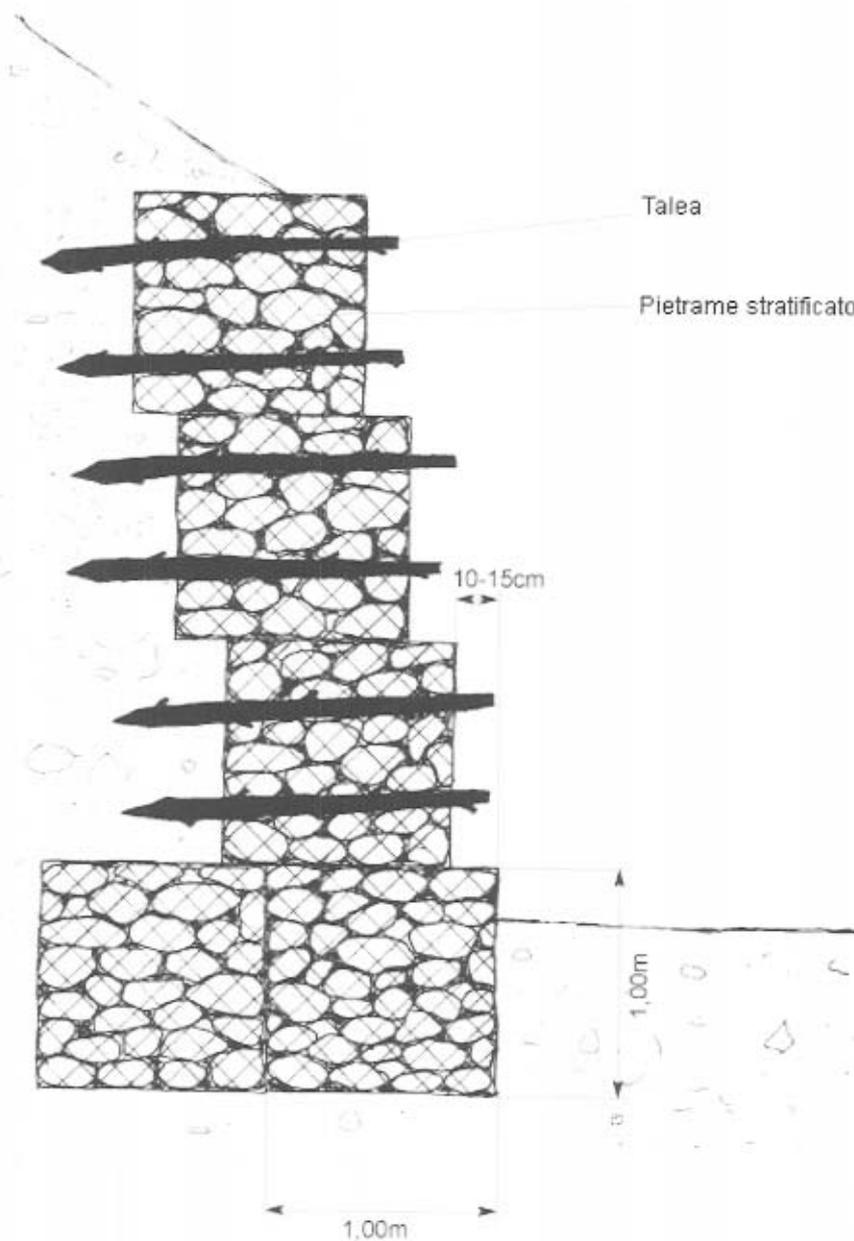


Fig. 71. Gabbioni vegetati

### 5.5.6 Terra rinforzata

Strati di terreno (spessi 50 cm) compressi da rulli e rivestiti da geotessili vengono sistemati uno sopra l'altro. Il bordo esterno generalmente presenta pendenze molto elevate (ca. 60°) e viene perciò rinforzato con una grata in acciaio.

La superficie esterna viene quindi rinverditata con dell'idrosemina ed un miscuglio di erbe e graminacee. Il vantaggio di questa tipologia d'opera risiede nella possibilità di utilizzare qualsiasi materiale terroso comprimibile. La durata dell'effetto stabilizzante è ancora sconosciuto. Dopo il decadimento della grata metallica ed il degrado del tessuto geotessile e senza l'inserimento di piante radicate con pane di terra o talee vive, la struttura dovrebbe ricadere su se stessa a causa dell'elevata pendenza.

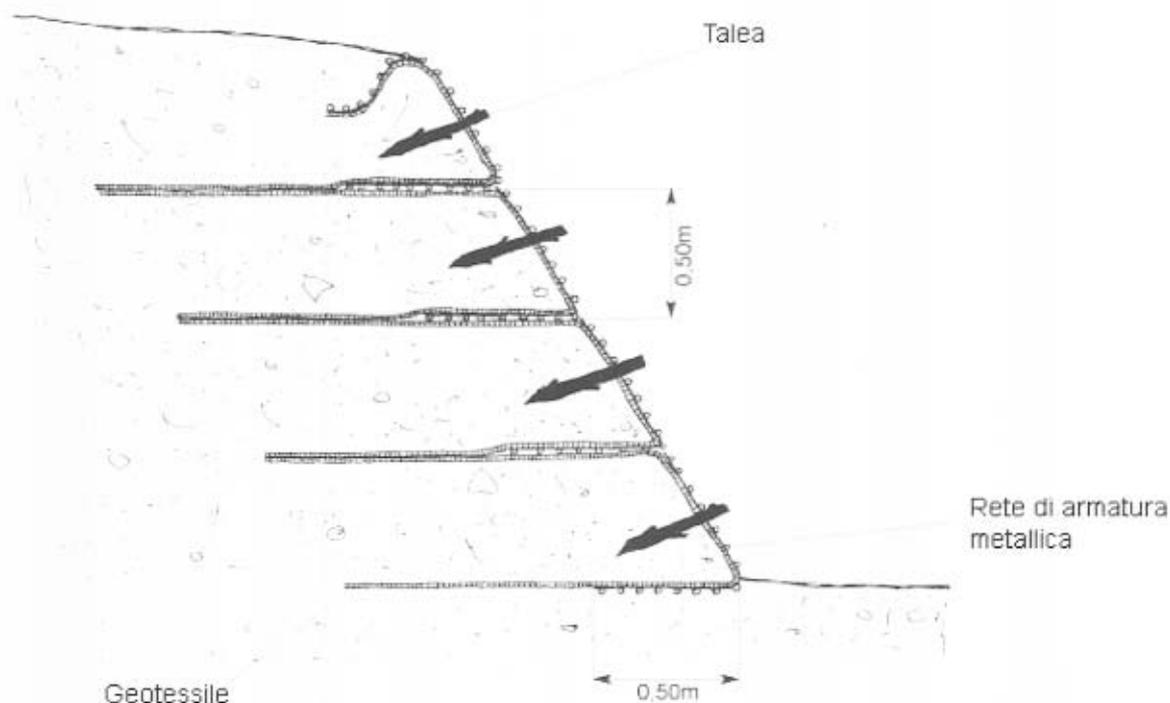


Fig. 72. Terra rinforzata

## 6 TECNICHE DI INGEGNERIA NATURALISTICA PER LA STABILIZZAZIONE DI SOLCHI E FOSSATI

### 6.1 INTRODUZIONE

Tecniche di ingegneria naturalistica possono essere applicate con successo per fermare l'erosione di solchi, laddove la loro portata d'acqua sia molto ridotta o intermittente. I solchi in questione sono di genesi antropica, utilizzati nelle fasi di trasporto del legname in ambito boschivo, collinare o montano. Si caratterizzano per una profondità massima di un metro. Come fossati si intendono canali più grandi e profondi di un metro. Le tipologie di intervento proposte sono di tipo combinato, tecnico-biologico, che offrano una protezione immediata e duratura nel tempo tramite l'inserimento delle componenti vive. Nei solchi con una pendenza media superiore al 30 % trovano applicazione delle opere longitudinali, mentre le opere trasversali servono al contenimento del detrito.

### 6.2 OPERE LONGITUDINALI

#### 6.2.1 Alberi grezzi

L'utilizzo di alberi grezzi è già stato presentato quale opera di protezione spondale provvisoria. Gli alberi grezzi vengono utilizzati ancor più di frequente per il riempimento dei fossi, soprattutto quando si ha a disposizione sufficiente materiale sul luogo. Gli alberi grezzi (generalmente si tratta di conifere) vengono posati con l'apice verso valle nei fossati e devono essere ancorati al terreno con dei paletti di legno. È possibile l'inserimento di piantine radicate, da coprire con un poco di terra, quando l'irraggiamento solare è sufficiente.

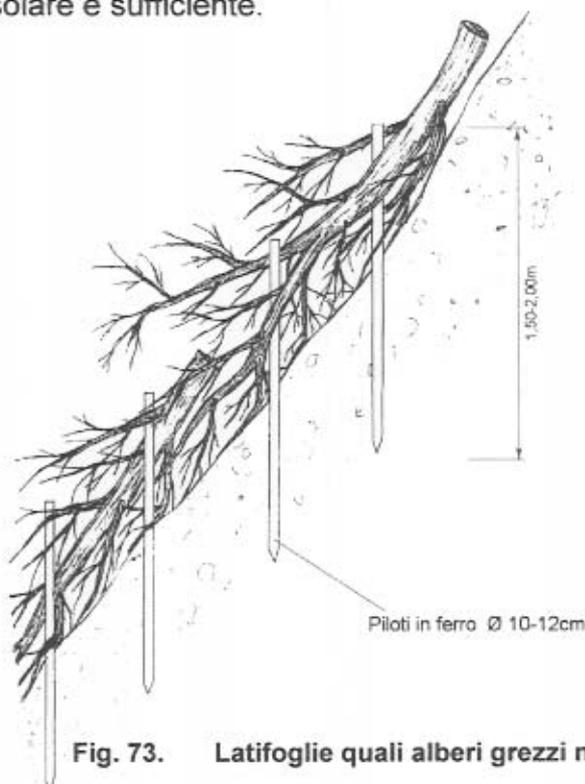


Fig. 73. Latifoglie quali alberi grezzi nella stabilizzazione di solchi

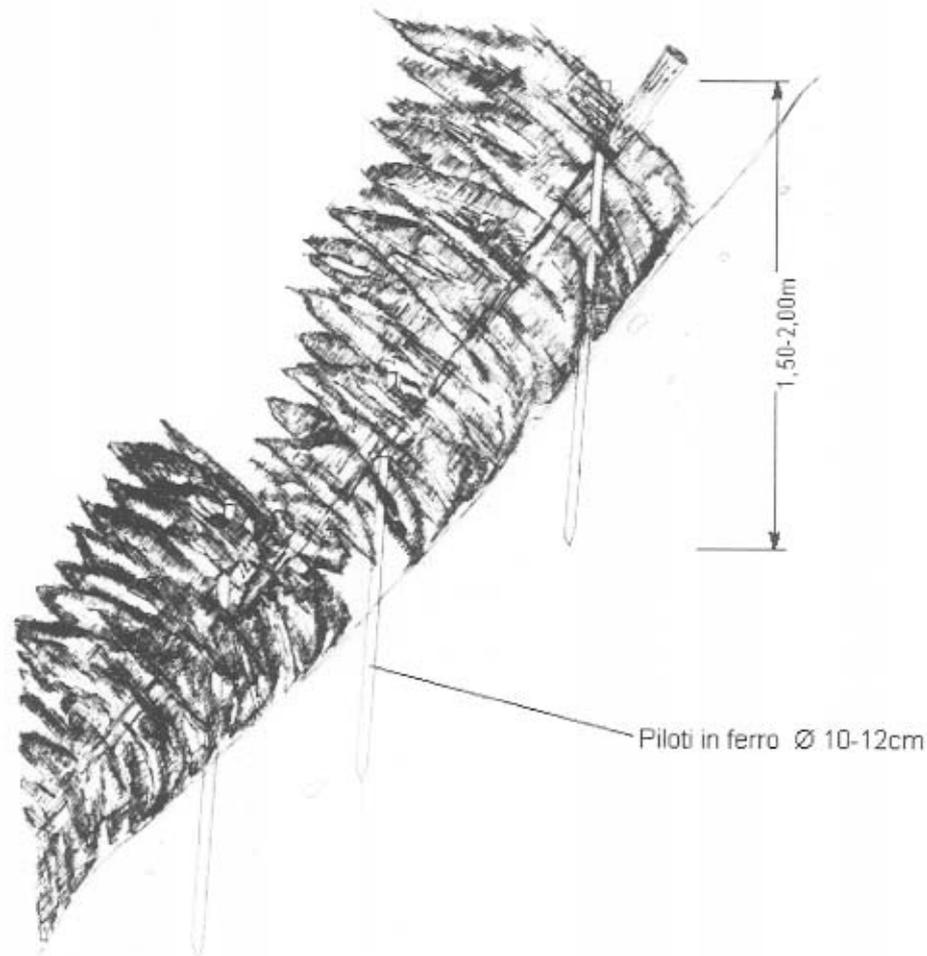


Fig. 74. Conifere quali alberi grezzi nella stabilizzazione di solchi montani

### 6.2.2 Cespugliamento di solchi con ramaglia viva o morta

Piccoli pacchi di ramaglia vengono posati nel solco a forma di lisca di pesce, con la parte basale dei rami verso l'interno e gli apici verso l'esterno del fosso. La ramaglia è poi fissata al terreno tramite dei pali in legno trasversali. I singoli pacchi di ramaglia non devono superare il mezzo metro di spessore. Il materiale usato può essere sia vivo sia morto: quando in prossimità sono stati effettuati lavori di taglio di legname, generalmente si utilizza la ramaglia fine di risulta, quindi materiale morto. Il cespugliamento si esegue da valle verso monte, applicando un sostegno alla base ai primi pacchi posati. Se si utilizza ramaglia viva questa deve essere, infine, ricoperta con il terreno, che proviene dallo scoronamento delle scarpate del solco.

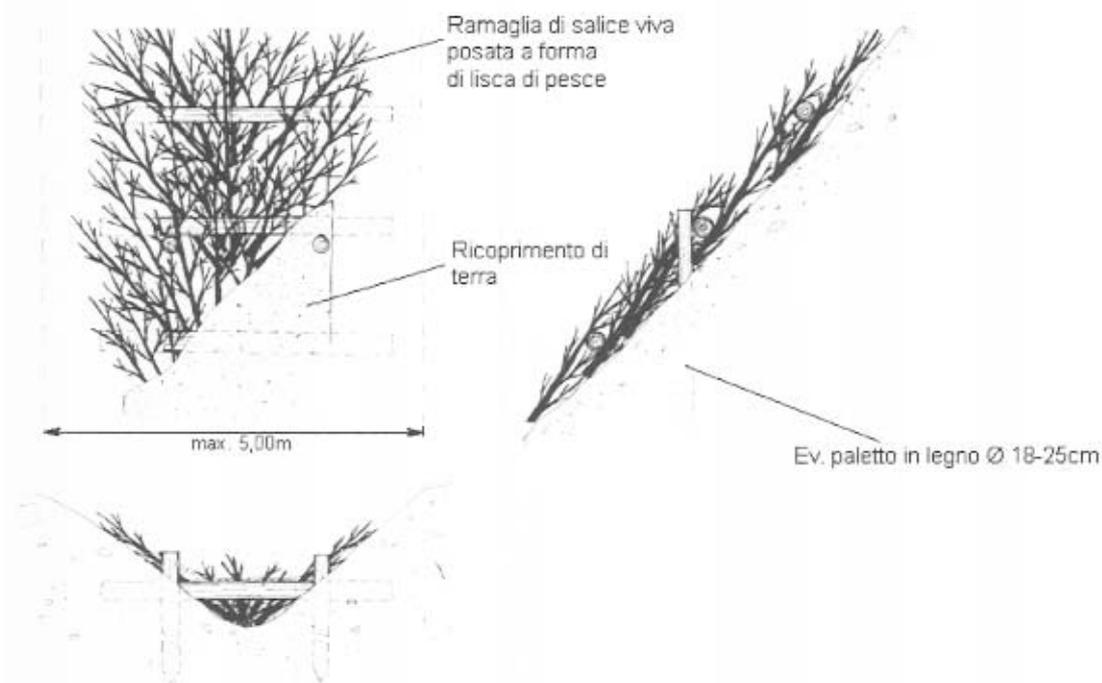


Fig. 75. Cespugliamento con ramaglia viva a forma di lisca di pesce

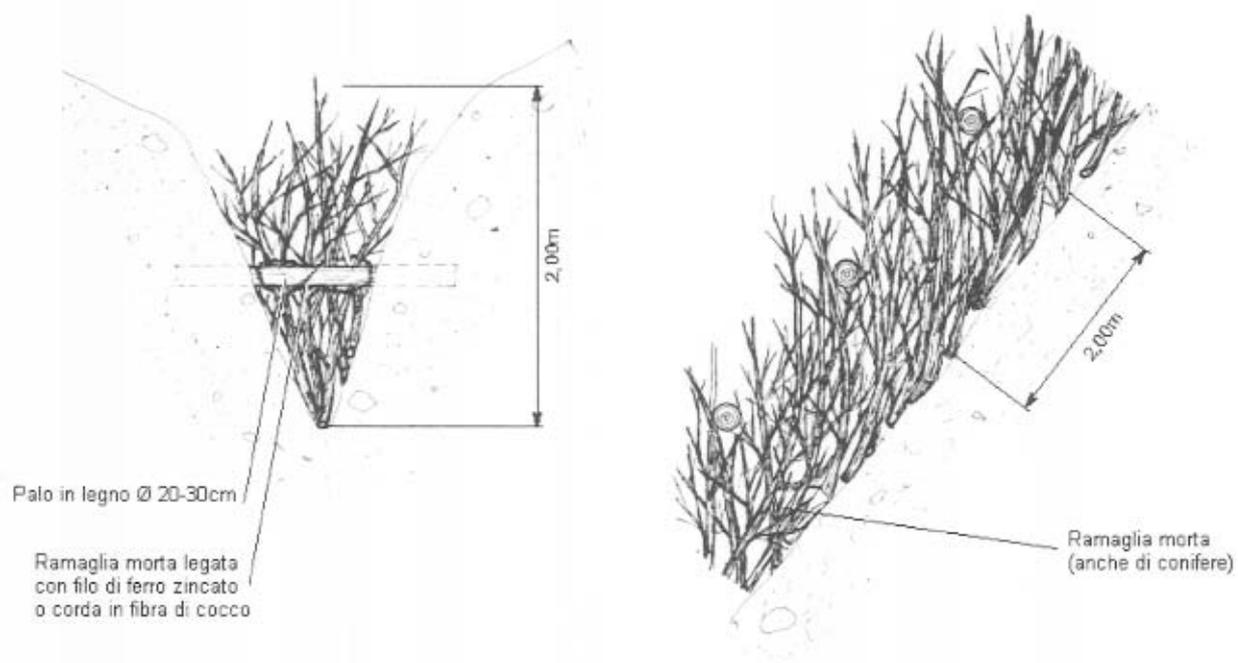
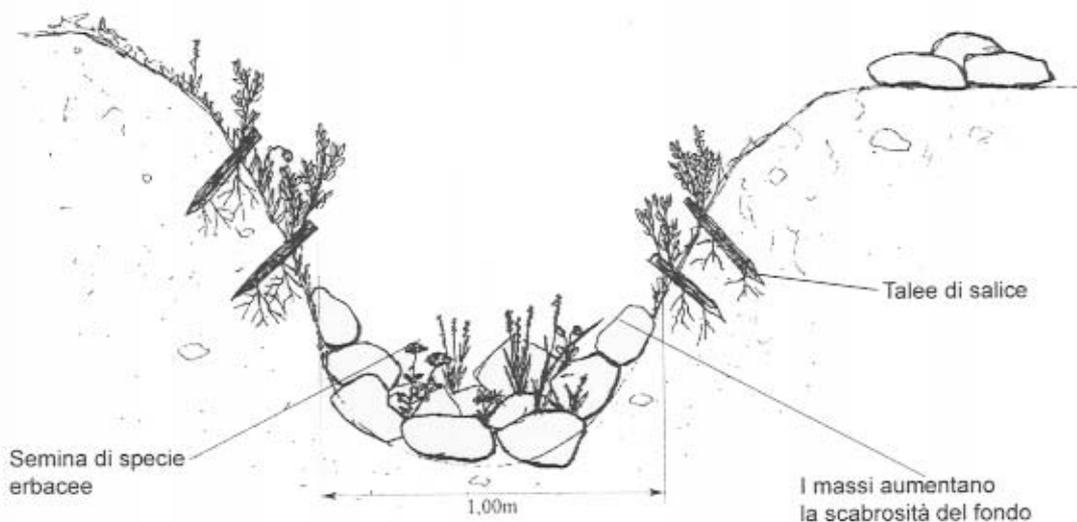


Fig. 76. Cespugliamento con ramaglia morta a forma di lisca di pesce

### 6.2.3 Pavimentazione scabra del fondo di fossati

Una rapida e pratica tecnica di sistemazione dei canali è rappresentata dall'accatastamento sul fondo del pietrame raccolto nelle immediate vicinanze o ottenuto durante lo scoronamento delle scarpate del fosso stesso. La pavimentazione così ottenuta è caratterizzata da una notevole scabrezza, fatto che concorre a diminuire la velocità di deflusso delle acque superficiali ed a fermare la discesa di materiale detritico. Un'opportuna semina di piante erbacee aiuta a stabilizzare il materiale sedimentatosi durante gli eventi meteorici e inserisce meglio la pavimentazione scabra del fondo nel contesto del rinverdimento delle scarpate laterali del fosso.



**Fig. 77. Pavimentazione scabra del fondo**

### 6.2.4 Cunetta in pietrame vegetata

I fossi in erosione possono essere rivestiti e sistemati anche con dei grossi blocchi di pietra, laddove questi si trovino con facilità. La forma, che contraddistingue i massi di pietra in natura, comporta la forte irregolarità e scabrezza di questo tipo di opera. Ciò va a vantaggio della funzione ecologica dei fossati, al contrario di tipologie di sistemazione che prevedono la creazione di superfici lisce e uniformi. Nei vuoti tra i blocchi si inseriscono delle talee di salice o delle piantine radicate (generalmente provviste di pane di terra).

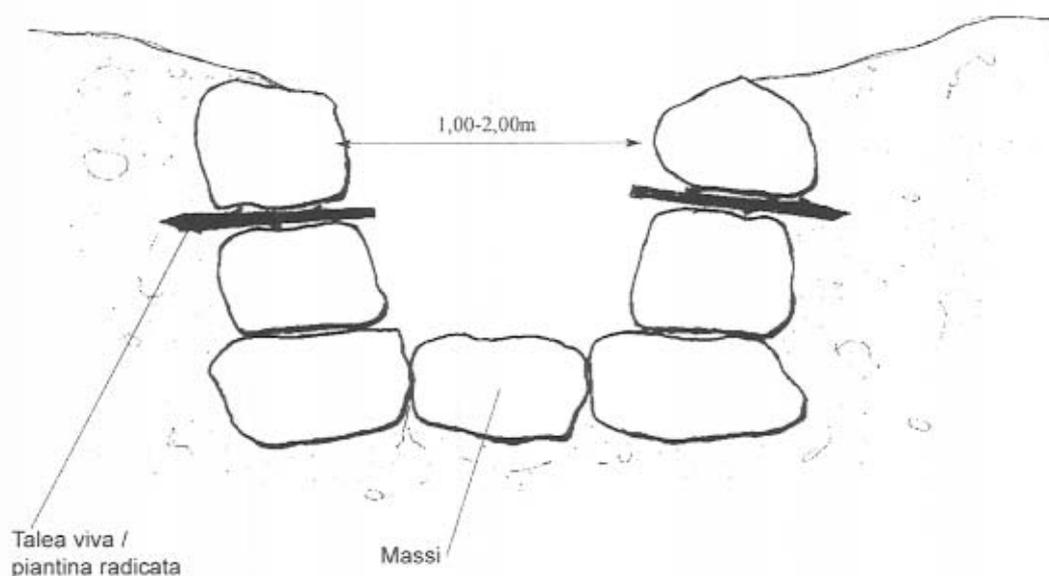


Fig. 78. Cunetta in massi vegetata

### 6.2.5 Cunetta in legname vegetata

La cunetta in legname è una struttura in legno che viene inserita longitudinalmente in un fosso in erosione. Il fondo viene coperto da pietrame o da pali in legno posati longitudinalmente, a creare una superficie di scorrimento liscia. Gli spazi tra i pali sulle scarpate vengono piantumati con talee di salice o piantine radicate. Questo tipo di rivestimento di fossati resiste a e fa defluire un ingente quantità di acqua e detrito e viene utilizzata in situazioni particolarmente ripide, dove il deflusso dell'acqua è desiderato.

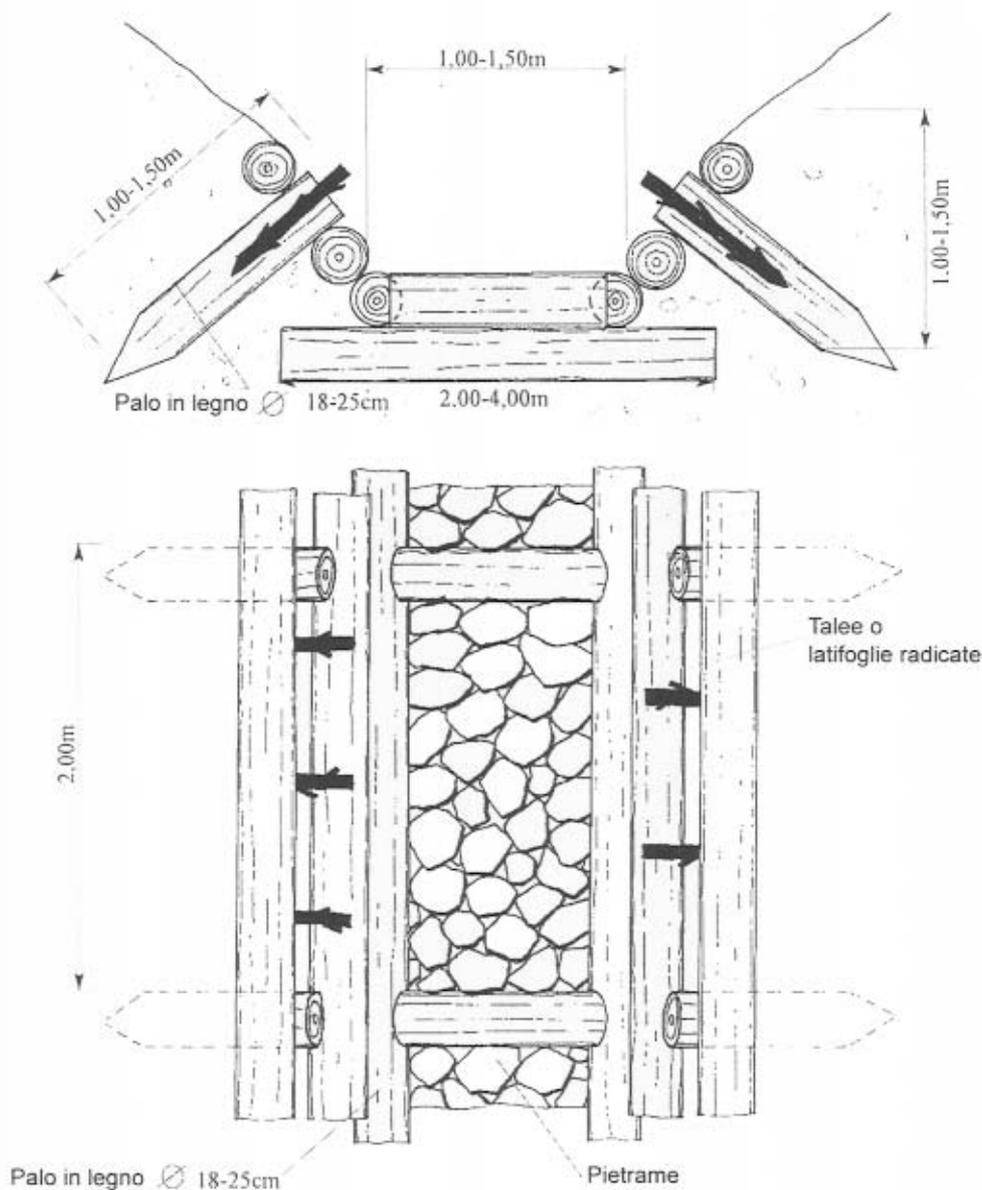


Fig. 79. Cunetta in legname con fondo in pietrame

### 6.3 OPERE TRASVERSALI

#### 6.3.1 Palizzata viva

L'utilizzo di questa opera, che svolge la funzione di una piccola briglia aperta, risale ai primi popoli stazionari dell'Europa centrale (ancora eseguita all'inizio del 20° secolo in Cechia ed in Slovacchia). Delle forti talee vive appuntite sono battute verticalmente nei fossati in erosione (eventualmente anche scavando la buca per la talea) lungo un transetto e vengono quindi legati a due pali di legno trasversali, posizionati in corrispondenza con la parte più alta delle talee. Ancora oggi questa tecnica viene utilizzata in Nepal. Le talee di salice devono essere molto robuste e devono essere poste molto vicine le une alle altre. Per tre quarti della loro lunghezza, inoltre, esse devono venire inserite nel fondo del canale, per farle radicare bene e per far crescere una fitta fascia trasversale di cespugli.

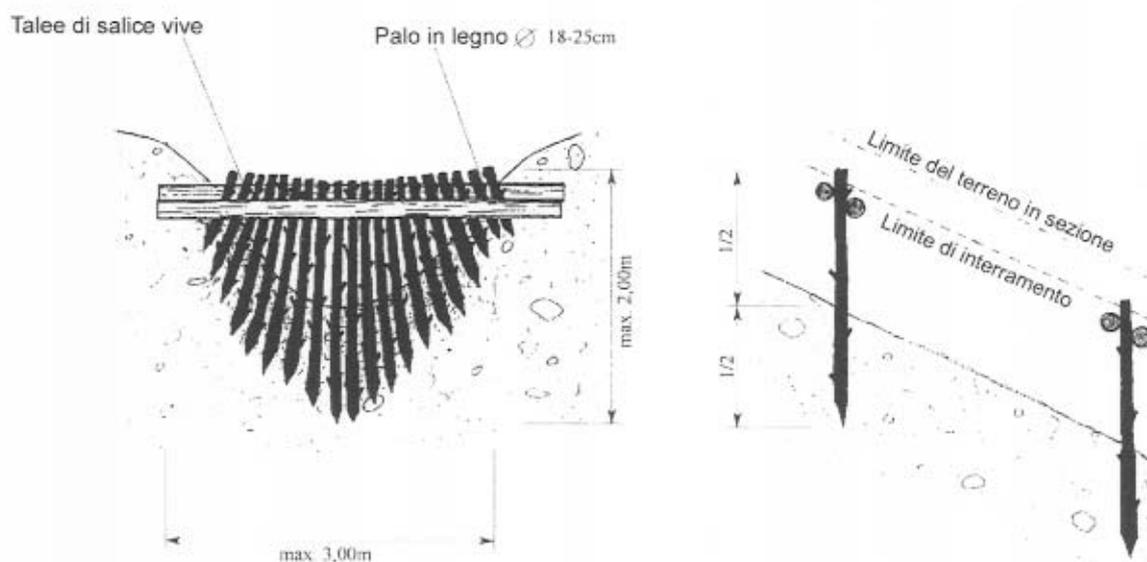


Fig. 80. Palizzata viva

### 6.3.2 Soglie di fondo

#### 6.3.2.1 Soglia di fondo con ramaglia viva

Una soglia di fondo consiste in una traversa completamente inserita nell'alveo posta a freno della velocità di deflusso dell'acqua. Nella sistemazione di canali in erosione le soglie di fondo vengono costruite per trattenere e rallentare il flusso detritico nell'alveo. L'opera è infatti permeabile all'acqua, che viene solamente frenata

Soglie di fondo costruite con ramaglia viva assomigliano in sezione a delle gradonate vive: la ramaglia è posta in opera su dei gradoni scavati nel fondo dell'alveo e viene appesantita ed ancorata con massi in pietra, gabbionate cilindriche, fascine zavorrate o con pali in legno. Questa tecnica di stabilizzazione del fondo di fossi è attuabile solo in quelle situazioni, dove la pendenza e la larghezza del fosso risultano ridotte e dove la portata d'acqua è solo sporadica, in corrispondenza di eventi meteorologici quali temporali e forti piovvaschi.

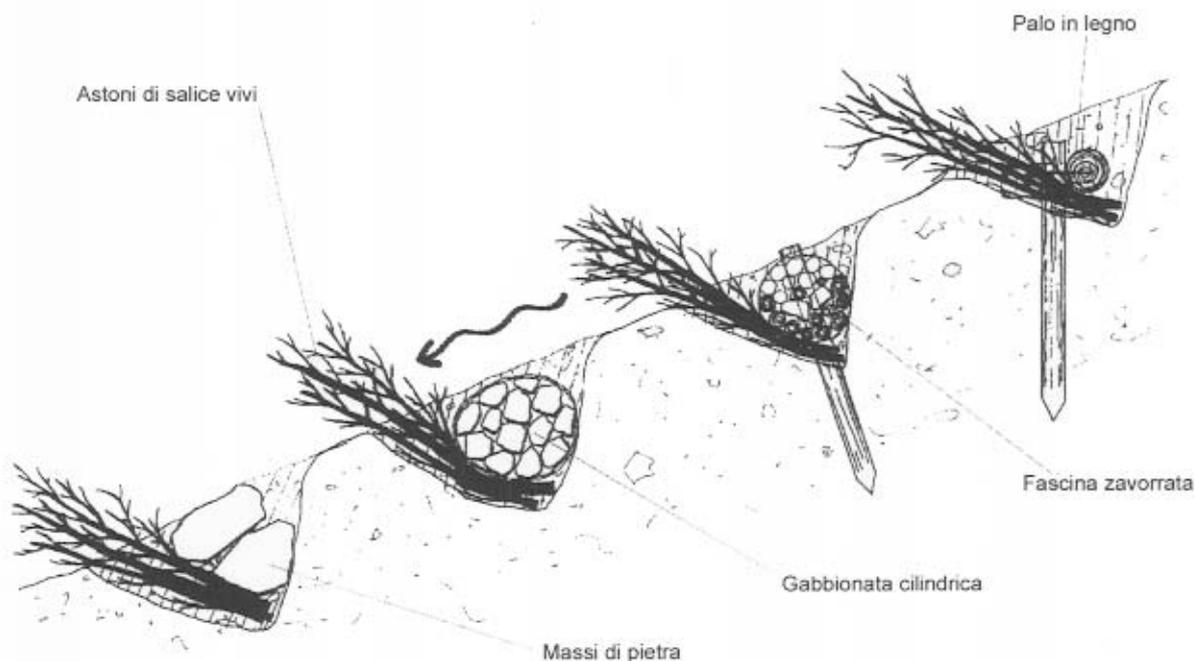


Fig. 81. Soglia di fondo con ramaglia viva

## 6.3.2.2 Soglia di fondo con fascine

La sistemazione del fondo di fossati poco profondi e con poca pendenza può essere eseguita anche con la sistemazione trasversale di fascine vive o fascine zavorrate. Per aumentare la scabrezza del fondo nel periodo immediatamente successivo all'esecuzione dell'opera si aggiunge una fascia singola di ramaglia sotto alla fascina o tra una fascina e l'altra.

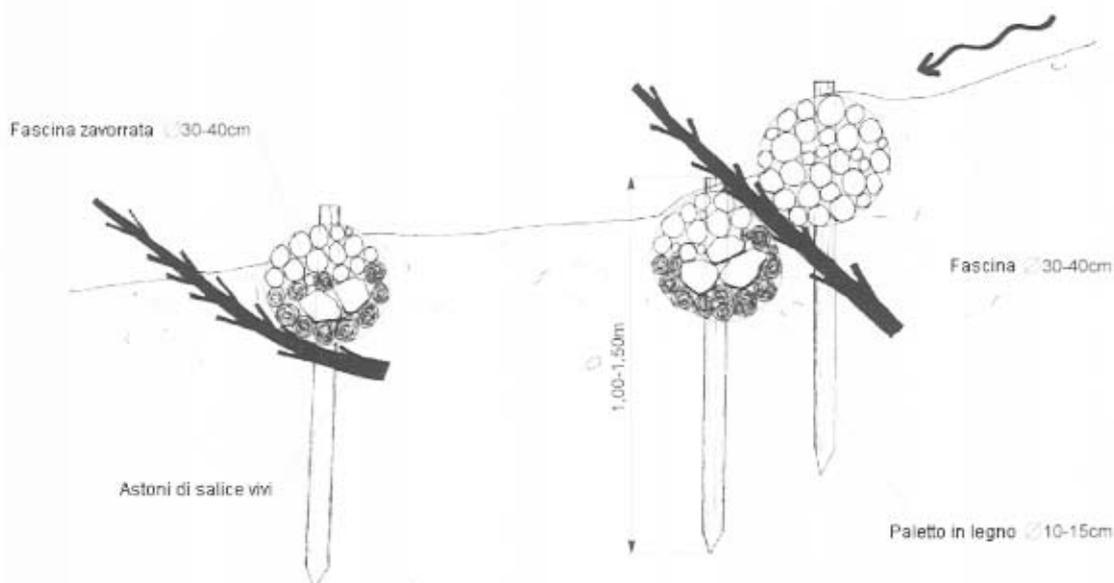


Fig. 82. Soglia di fondo con fascine

### 6.3.3 Briglia vegetata in legname e pietrame

Una briglia rinverdata è costituita da una palificata di sostegno a parete semplice o doppia, incuneata trasversalmente nel alveo del fosso o del torrente. Essa è rinforzata da ali laterali intestata nelle sponde quale prevenzione dall'aggiramento della struttura sui lati. Al fine di evitare il dilavamento del materiale nella briglia essa è sempre provvista di una fondazione non permeabile ai detriti, completamente eseguita in legname. Nella sezione di deflusso, inoltre, i vuoti tra i singoli pali in legno sono completamente intasati da una muratura a secco. Le componenti vive, quali talee di salice e piantine radicate, possono essere inserite nelle ali. In quei casi in cui il livello idrico raggiunga frequentemente l'altezza d'inserimento delle piante risulta più sicura la loro sostituzione con fascine, come nella palificata viva spondale. Se la portata del canale è sporadica e limitata agli eventi meteorici maggiori si tende a rinverdire anche il fondo detto anche "gaveta" o "coronamento" della briglia, aumentando la scabrezza della struttura e l'accumulo di sedimenti.

Il numero delle briglie necessarie alla sistemazione di un torrente o di un canale e l'altezza utile delle singole briglie è frutto di uno specifico calcolo idraulico. La pendenza di compensazione o di correzione del tratto compreso tra il livello dell'alveo dopo la briglia soprastante ed il livello del "coronamento" della briglia sottostante non deve superare il 30%. Ideale sarebbe una pendenza di compensazione tra lo 0% ed il 10%.

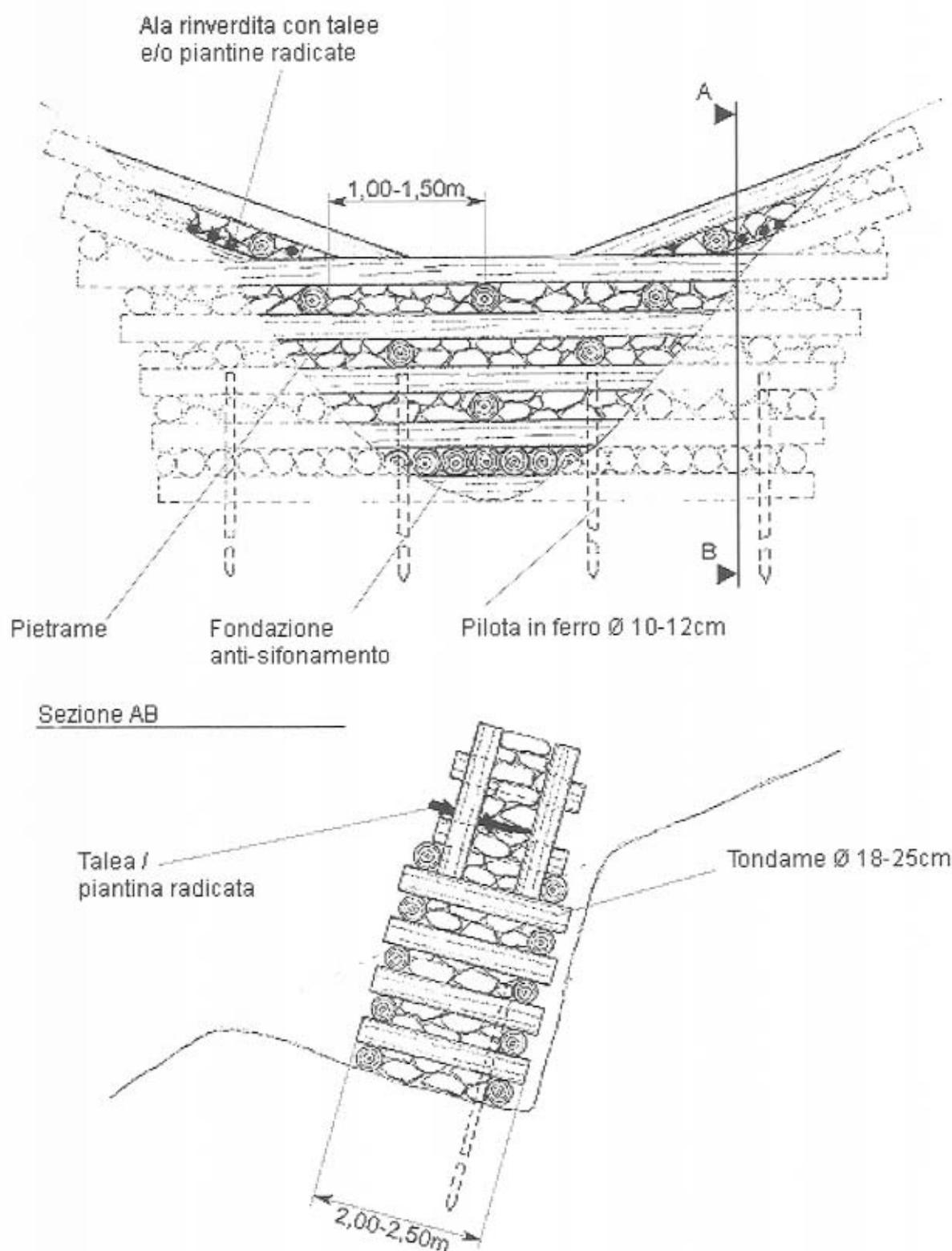
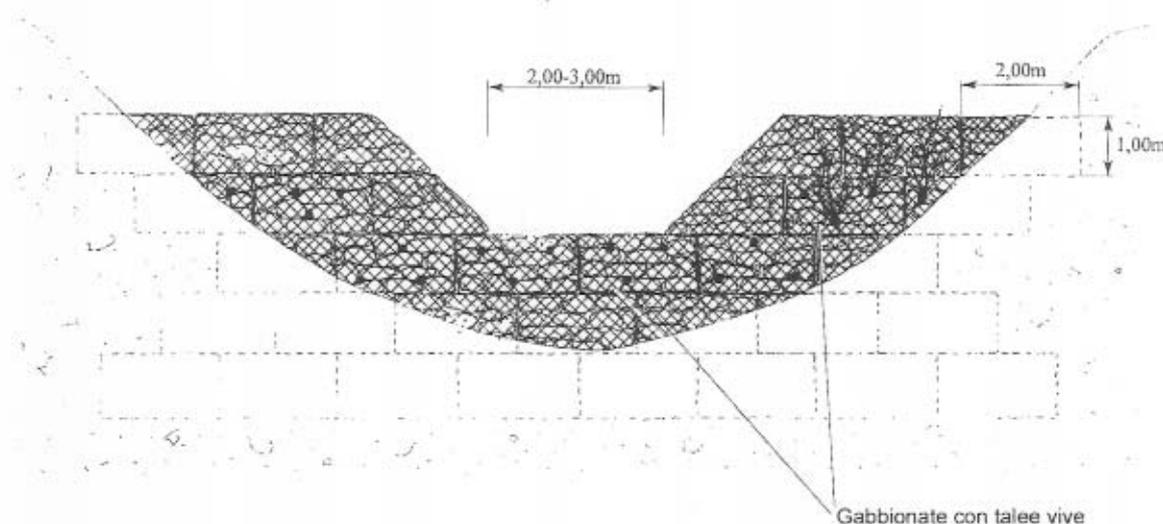


Fig. 83. Briglia vegetata in legname e pietrame

### 6.3.4 Briglia vegetata in gabbioni

Le briglie di cui al paragrafo precedente possono essere costruite anche mediante l'assemblaggio di gabbioni riempiti con pietrame. Per le ali della struttura si utilizzano reti per gabbionate già predisposte nella forma adeguata. La piantumazione con talee e piantine radicate si limita generalmente alle ali, mentre la gaveta della briglia può essere rinverdita solamente nel caso di portate sporadiche.

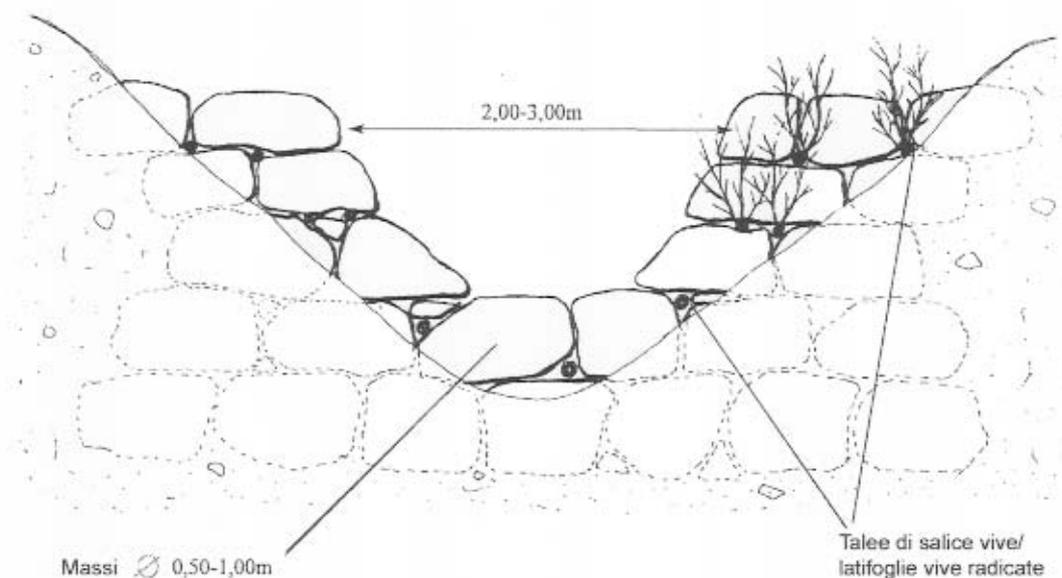
La fase principale per la buona riuscita di questo tipo di briglia consiste nella accurata posa del pietrame nelle gabbie metalliche e nel successivo legare i diversi gabbioni tra di loro con del filo di ferro.



**Fig. 84.** Briglia vegetata in gabbioni

### 6.3.5 Briglia vegetata in massi

Briglie possono essere eseguite anche con massi ciclopici, quando questi sono facilmente reperibili. Anche in questo caso le ali possono essere piantumate con il materiale vegetale più idoneo. Evidentemente questo tipo di opera può essere costruito solo nei luoghi raggiungibili da escavatori di dimensioni maggiori. L'inserimento paesaggistico delle briglie in massi è ottimo quando si utilizzano massi coerenti con la litologia della zona di intervento.



**Fig. 85. Briglia vegetata in massi**

## 7 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- BAUCH W. und LINKE H., 1962: Ingenieurbiologische Maßnahmen zur Befestigung von Böschungen. *Wasserwirtschaft - Wassertechnik* 4, 171-174
- BAUER S., 1986: Bericht über naturnahen Wasserbau in Wien. *Österreichische Ingenieur- und Architekten-Zeitschrift* 131, 5/9
- BAUMANN G., 1990: Belebung von regulierten Bachläufen - *Österreichische Forstzeitung* 11/90 - S. 38-39
- BAUMGARTNER A., 1990: Ökologie und Pflege des Uferbewuchses - *Österreichische Forstzeitung* 11/90 - S. 28-30
- BEGEMANN W., 1973: Ingenieurbiologischer Gewässerausbau. *Wasser u. Boden* 25, 9/3
- BEGEMANN W., 1985: Zur Ausführung von ingenieurbiologischen Bauweisen an Böschungen - Erfahrungen, Überraschungen und Erkenntnisse. *Jahrbuch 2 der Gesellschaft für Ingenieurbiologie*, S. 148-169. Verlag Sepia, Aachen.
- BEGEMANN W. und SCHIECHTL H.M., 1994: *Ingenieurbiologie - Handbuch zum ökologischen Wasser- und Erdbau*, 2 Aufl. Bauverlag Wiesbaden und Berlin, 216 Seiten
- BISCHOFER, M.I. (2001). Auszugwiderstand von Ufergehölzen. Diplomarbeit am Institut für Landschaftsplanung und Ingenieurbiologie, Arbeitsbereich Ingenieurbiologie und Landschaftsbau, Universität für Bodenkultur Wien
- BÖLL A. UND GERBER W., 1986: Maßgebende Gesichtspunkte im Lebendverbau. Sonderdruck aus: *Bündner Wald* 39/8 : 43 - 50
- BÖLL A., 1988: Holz im Wildbach- und Hangverbau. *Wald + Holz Heft* 69 (1988)
- BÖLL A., 1990: Feldmäßige Beurteilung von Stabilität und Schutzmassnahmen an Hängen und Rensen. Grundsätze und Beispiele der Ingenieurbiologie, Tagungsunterlagen Vortragstagung 7. Dez. 1990, ETH Zürich, Verein für Ingenieurbiologie. S. 19-24.
- BÖLL A., 1990: Kombinierte technisch-biologische Methoden im Hang- u. Rensenverbau: Voraussetzungen und Maßnahmen. *Jahrbuch 5 der Gesellschaft für Ingenieurbiologie*, S. 127-137. Selbstverlag Gesellschaft für Ingenieurbiologie e.V. Aachen.
- BOLLRICH G., 1996: *Technische Hydromechanik* 1. 4. Aufl., Verlag f. Bauwesen, Berlin-München
- BUNDESAMT UND FORSCHUNGSZENTRUM FÜR LANDWIRTSCHAFT (BFL), 2000: *Sorten- und Saatgutblatt 2000*. BMLFW, 8. Jahrgang, Sondernummer 10, Wien.
- BUNDESAMT FÜR STRASSENBAU 1981: *Wegleitung für den Lebendverbau sowie die Einführung von Stützbauwerken und Lärmschutzanlagen in die Landschaft*. EDMZ, Bern. 1981.
- BMLF und ÖWWV, 1992: *Schutzwasserbau-Gewässerbetreuung-Ökologie*. Grundlagen für wasserbauliche Maßnahmen an Fließgewässern. Herausg. Österr. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Wien.
- BUNZA G., 1978: Bewegungsablauf und Sanierungsmöglichkeiten von Erdströmen. *Geol. Paläont. Mitt. Innsbruck* (1978) 8: 209-225.

- DAHL H.J., und SCHLÜTER U., 1984: Zehn Jahre Versuchsstrecke für ingenieurbiologische Ufersicherungsmaßnahmen an der Oberaller (Niedersachsen). Wasser und Boden 36, 3/103-106.
- DELLAGIACOMA, F., FLORINETH, F., ZOLIN, G. (1991): Opere di sistemazione e regolazione dei corsi d'acqua, Provincia Autonoma di Trento.. In: Provincia Autonoma di Trento (Ed.): VIA II. ciclo di lezioni.
- DITTRICH A., 1998: Wechselwirkung Morphologie / Strömung naturnaher Fließgewässer. Habilitationsschrift, Univ. Karlsruhe (TH)
- DUILE J., 1826: Über die Verbauung der Wildbäche in Gebirgsländern, vorzüglich in der Provinz Tirol und Vorarlberg. Innsbruck, gedruckt mit Rauchischen Schriften.
- DVWK, 1990: Uferstreifen an Fließgewässern, Verlag Paul Parey, Hamburg/Berlin
- DVWK, 1991: Hydraulische Berechnung von Fließgewässern. Heft 220/1991, Verlag Paul Parey, Hamburg, Berlin
- EASF (EIDGEN. AMT FÜR STRASSEN- UND FLUSSBAU), 1973: Lebendverbauung an Fließgewässern. Wegleitung - Bern.
- EVED, 1982: Eidgenössisches Verkehrs- und Energiewirtschaftsdepartment, Hochwasserschutz an Fließgewässern, Wegleitung 1982, Bundesamt für Wasserwirtschaft, Postfach 2743, 3001 Bern.
- FELKEL K., 1960: Gemessene Abflüsse in Gerinnen mit Weidenbewuchs. Mitt. Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe, Heft 15
- FINK S., 1980: Anatomische Untersuchungen über das Vorkommen von Spross- und Wurzelanlagen im Stammbereich von Laub- und Nadelbäumen. Teil I Proventive Anlagen; Teil II Adventive Anlagen. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 151Jg. Heft 9 und 10.
- FLORINETH F., 1973: Steppenvegetation im oberen Vinschgau-Grundlagen für Aufforstungszwecke. Diss. Universität Innsbruck.
- FLORINETH F., 1982: Ingenieurbiologische Maßnahmen bei Fließgewässern in Südtirol. Landschaftswasserbau Band 3, TU Wien
- FLORINETH, F. (1986): Interventi di bioingegneria naturalistica in Alto Adige.. Grafiche editoriali artistiche Pordenonesi. Impatto ambientale e gestione delle risorse naturali, 189
- FLORINETH F., 1988 a: Begrünungen von Erosionszonen über der Waldgrenze. Jahrbuch der Gesellschaft für Ingenieurbiologie, S. 78-93, Sepia Verlag-Aachen.
- FLORINETH F., 1988 b: Versuche einer standortgerechten Begrünung von Erosionszonen über der Waldgrenze. Zeitschrift für Vegetationstechnik 11, 118-122.
- FLORINETH, F. (1988): Misure di ingegneria biologica nella sistemazione dei torrenti in Alto Adige.. Dendronatura, 1/88, 43
- FLORINETH, F. (1989): Il rinverdimento di aree in erosione situate al di sopra del limite del bosco.. Dendronatura, 1/89, 34
- FLORINETH F., 1990: Holzverwendung bei der biologischen Hang- und Ufersicherung. Jahrbuch 5 der Gesellschaft für Ingenieurbiologie, S. 85 - 98, Eigenverlag Aachen.
- FLORINETH F., 1990: Was können Pflanzen? - In "Grundsätze und Beispiele der Ingenieurbiologie", Verein für Ingenieurbiologie und Institut für Kulturtechnik, ETH Zürich, S. 3-10.

- FLORINETH, F. (1990): Interventi di ingegneria naturalistica in alta montagna.. ACER, 6, 95
- FLORINETH F., 1991: Begrünung von Erosionszonen in Südtirol. Zeitschrift BÜNDNER WALD - Jahrgang 10/91; 44, Heft 10/91.
- FLORINETH, F. (1991): Metodi di ingegneria naturalistica sui torrenti alpini.. L'officina del libro ecosviluppo delle aree alpine, 61
- FLORINETH F., 1992: Hochlagenbegrünung in Südtirol. Zeitschrift Rasen - Turf - Gazon 3/92 - S. 74-80.
- FLORINETH, F. (1992): Metodi di bioingegneria sui torrenti in Alto Adige.. WWF tutela e gestione degli ambienti fluviali
- FLORINETH F., 1993: Hang- und Böschungssicherung in Südtirol. Österr. Forstzeitung 1/93, S. 30 - 34
- FLORINETH F., 1993: Ingenieurbiologische Maßnahmen an Gewässern in Südtirol. Schriftenreihe zur Wasserwirtschaft Nr. 11 TU-Graz, S. 39-61
- FLORINETH, F. (1993): Consolidamento dei versanti franosi con tecniche di ingegneria naturalistica.. VERDE AMBIENTE, 6/93, 62
- FLORINETH, F. (1993): Per i fiumi una robusta cura a base di salice.. VERDE AMBIENTE, 6/93, 57
- FLORINETH F., 1994: Biologische Hangsicherung. Beispiele aus dem Vinschgau/Südtirol Zeitschrift: Bündner Wald 2/94 - S. 49 - 58
- FLORINETH F., 1995: Begrünung von Erosionszonen über der Waldgrenze in Südtirol. Forstliche Schriftreihe - Universität für Bodenkultur, Wien, Band 9, S. 159-175.
- FLORINETH F., 1995: Weidenspreitlagen als Weg zur schnellen Uferbepflanzung und –sicherung. Mitteilungen der Gesellschaft für Ingenieurbiologie Deutschlands, Band 4.
- FLORINETH F., 1995: Erosion control above the timberline in South Tyrol, Italy. Vegetation and slopes, Edited by D. H. Barker.
- FLORINETH F., 1995: Erosionsschutz im Alpenraum.. Geographische Rundschau, 12, 700-705.
- FLORINETH F. (1995): Consolidamento di versanti con tecniche biologiche.. ACER, 4, 27
- FLORINETH, F. (1995): Consolidamento di frane ed erosioni in zone montane.. Tecniche di rinaturazione e di ingegneria naturalistica, 183
- FLORINETH F., 1996: Einfluss der Lebendverbauung auf Erosion und Anlandung. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Bericht zur 18. Flussbautagung, S. 213-233.
- FLORINETH F., 1996: Ingenieurbiologische Hang- und Ufersicherungen - Beispiele aus Südtirol und der Umgebung Wiens.. ACCADEMIA, 12/96, 21-23.
- FLORINETH F., 1996: Sicherung durch lebende Baustoffe, ihre Entwicklung und Pflege.. Jahrbuch der Gesellschaft für Ingenieurbiologie, 6, 59-72.
- FLORINETH, F. (1996): Consolidamento di versanti franosi con tecniche di ingegneria naturalistica.. ATTI del corso Sviluppo e Gestione dei Bacini Idrografici, Istituto Italo -Latino Americano, Roma, 119-138.
- FLORINETH F., KOBLMÜLLER A., LEITNER E., MOGG A., 1997. Hangsicherung: Birke, Hasel und Hainbuche geeignet? Österreichische Forstzeitung Heft 12/97

- FLORINETH F., GERSTGRASER, Ch., LADINIG, G., 1997: Ingenieurbiologische Arbeiten an den Wienerwald-Bächen.. Perspektiven, 5/6, 87-91.
- FLORINETH F., 1998: Die Rekultivierung von Schottergruben und Steinbrüchen.. Sand und Kies, Nov/Dez 1998, Teil 1, 4
- FLORINETH, F. 1998: Begrünung von Abbauflächen.. Rekultivierung versus Renaturierung von Abbauflächen, 29-36, Österr. Gesellschaft für Ökologie, Wien.
- FLORINETH F., u. GERSTGRASER Ch., 1998: Soil Bioengineering Measures for Hill and Slope Stabilization Works with Plants. Proceedings of the Seminar on Environmentally and Forest Roads and Wood Transport, Sinaia, Romania, 17-22 June 1996, FAO, Rome
- FLORINETH F. (1998): Applicazione pratica delle tecniche di ingegneria naturalistica nel territorio alpino.. Regione Lombardia, atti del seminario (1994), 26
- FLORINETH F., 1999: Begrünung von Skipisten: Zeitschrift Motor im Schnee, Heft April/Mai 1999
- FLORINETH F., WILD, A. 1999: Untersuchung von Begrünungsmethoden über der Waldgrenze.. Rasen-Turf-Gazon, 1/99, 4-13.
- FLORINETH F., 1999: Waale in Südtirol.. Zolltexte, 31, 23-25.
- FLORINETH F., 1999: Falsch gestützt ist halb gestorben.. Neue Landschaft, Nr. 4/1999, 231-235.
- FLORINETH F., 1999: Die Rekultivierung von Schottergruben und Steinbrüchen.. Sand und Kies, Teil 2, Jän./Feb. 1999, 4-6.
- FLORINETH, F. (1999): Analisi del limite - il grado di resistenza dei manufatti di protezione spondale.. ACER, 4, 71-75.
- FLORINETH F., 2000: Erosionsschutz im Gebirge - neue Begrünungsmethoden.. Ingenieurbiologie, Mitteilungsblatt Nr. 2, 62-71, Verein für Ingenieurbiologie (Hrsg.), Horgen, Schweiz.
- FLORINETH F., 2000: Ingenieurbiologische Hangsicherung.. Wildbach und Lawinenverbau, Heft 142, 29-42.
- FLORINETH, F. (2000): Il sostegno di giovani alberi - liberi di cresce.. ACER, 3, 57-60.
- FLORINETH, F. (2000): Opere di ingegneria naturalistica per la sistemazione dei versanti. . Editoriale BIOS - Sistemazione dei corsi d'acqua, 163-187 .
- FLORINETH, F. (2001): L'uso e la produzione di piante autoctone per interventi di ingegneria naturalistica.. In: Università degli Studi dell'Insubria/Varese (Ed.): 96° congresso della Società Botanica Italiana, 28-30.
- FLORINETH, F. (2001): Realizzazione ed efficacia della piantagioni di protezione dal vento e dai gas inquinanti su scarpate stradali. Bau und Wirksamkeit von Schutzpflanzungen gegen Wind und Abgase an Verkehrswegen. . In: Alpin - Trieste (Ed.): Convegno AIPIN e EFIB - Interventi di rivegetazione e ingegneria naturalistica per infrastrutture lineari. TARVISIO, 71-77 .
- FLORINETH F., 2002: Restrukturierungsmaßnahmen am Mödlingbach im Stadtgebiet Mödling in Niederösterreich . Zeitschrift Ingenieurbiologie, Heft 2, 4-11 .
- FLORINETH F., 2002: Stabilisation of landslides using soil bioengineering methods.. Erosion Control. Official Journal Of The International Erosion Control Association, January/February 2002, p. 32-38, Santa Barbara-USA; ISSN 1073-7227.

- FLORINETH, F., 2002: Pionieri in alta quota. ACER 5/2002, 67-69.
- FLORINETH, F. (2002): L'ingegneria naturalistica: la ricerca, stato dell'arte nello scenario europeo.. In: A.I.P.I.N. Napoli (Ed.): Atti del convegno "L'ingegneria Naturalistica nel quadro di attuazione del P.O.R. Campania; p 49
- FLORINETH, F. (2002): Was verträgt der Berg?/ Cosa sopporta la montagna?. In: (Hrsg.) / (Ed.) / (Eds.): kunst Meran, Schöne Aussichten. Der Blick auf die Berge von Segantini bis Weinberger/ Bella Vista. Visioni della montagna da Segantini a Weinberger, 166
- FLORINETH F., MEIXNER H., RAUCH H.P., VOLLSINGER S., 2003: Gehölze an Fließgewässern - Eigenschaften, hydraulischer Einfluss und Verhalten. Landnutzung und Landentwicklung, 44, 19-25.
- FLORINETH, F., MEIXNER, H., RAUCH, H.P., VOLLSINGER, S., 2003: Prove di forza - le piante nei corsi d'acqua. ACER, 2/2003, 73-78.
- FLORINETH, F. (2003): Die Bedeutung der Ufergehölze im Hochwasserschutz - L'importanza della vegetazione riparia nella difesa dalle alluvioni. In: (Hrsg.) / (Ed.) / (Eds.): Europäische Akademie, Bozen: WasserWissen - Il punto sull'acqua, 16.10.2003, Bozen, 36-38, Leifers.
- FLORINETH, F. (2004): Pflanzen statt Beton - Handbuch zur Ingenieurbiologie und Vegetationstechnik . Patzer Verlag Berlin-Hannover .
- FLOSS R., 1985: Zur Standsicherheit von Böschungen mit Lebendverbau aus der Sicht von Bodenmechanik und Grundbau. Jahrbuch 2 der Gesellschaft für Ingenieurbiologie, S. 35 - 49, Sepia Verlag Aachen.
- FLÜELER R., 1988: Biologische Erosionsbekämpfung oberhalb der Waldgrenze: Verhalten von alpinen Pflanzen in experimentellen Aussaaten auf Skipistenplanierungen. Diplomarbeit, Geom. Inst. ETH Zürich.
- GALLMETZER W., FLORINETH F., (1996): Untersuchungen des Keimverhaltens alpiner Kräuter für Hochlagenbegrünungen. Rasen.
- GASSER M., 1989: Bedeutung der vegetativen Phase bei alpinen Pflanzen für die biologische Erosionsbekämpfung in der alpinen Stufe. Ber. Geobot. Inst. ETH, Stiftung Rübel, Zürich 55, 151-176.
- GAZZETTA UFFICIALE 1993: Metodi ufficiali di analisi per le sementi. Ministero dell'agricoltura e delle foreste. Roma.
- GERSTGRASER CH., 1998a: Uferstabilisierung mit Pflanzen – Was halten sie aus?. IN: Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, Jahrg. 50, Heft 7/8, S. 180 – 187, 1998.
- GERSTGRASER CH., 1998b: Ingenieurbiologische Bauweisen an Fließgewässern – Grundlagen zu Bau, Belastbarkeiten und Wirkungsweisen. Diss. Univ. f. Bodenkultur Wien
- GESELLSCHAFT FÜR INGENIEURBIOLOGIE, 1982: Ingenieurbiologie - Uferschutzwald an Fließgewässern. Jahrbuch 1 - Krämer Verlag Stuttgart
- GESELLSCHAFT FÜR INGENIEURBIOLOGIE, 1985: Wurzelwerk und Standsicherheit von Böschungen und Hängen. Jahrbuch 2, Sepia Verlag Aachen
- GESELLSCHAFT FÜR INGENIEURBIOLOGIE, 1990: Hilfsstoffe im Lebendverbau. Jahrbuch 5, Selbstverlag der Gesellschaft für Ingenieurbiologie e.V. Aachen.
- GESELLSCHAFT FÜR INGENIEURBIOLOGIE, 1990: Ingenieurbiologie - Hilfsstoffe im Lebendverbau. Jahrbuch 5 - Eigenverlag Aachen

- GESELLSCHAFT FÜR INGENIEURBIOLOGIE, 1991: Flussdeiche und Flussdämme - Bewuchs und Standsicherheit. Jahrbuch 4 - Eigenverlag Aachen
- GMÜR A. & MENGHINI O., 1990: Sanierung Hangrutsch Valendas. Grundsätze und Beispiele der Ingenieurbioogie. Tagungsunterlagen Vortragstagung 7. Dez. 1990, ETH Zürich, Verein für Ingenieurbioogie, S. 38-44.
- GÖLDI CH., 1990: Wiederbelebungsmaßnahmen an kleinen Fließgewässern als Beitrag für die biologische Vernetzung der Landschaft. Landschaftswasserbau 10, S. 399 - 406, TU Wien
- GRABHERR G., 1987: Produktion und Produktionsstrategien im Krummseggenrasen (*Caricetum curvulae*) der Ötztaler Alpen, Tirol. Oecol. Plant 1 (15), 307-316.
- GRABHERR G. und HOHENGARTNER H., 1989: Die "Junggärtnermethode" - eine neue Methode zur Renaturierung hochalpiner Rohbodenflächen mit autochthonem Pflanzgut. Die Bodenkultur 40, 85-94.
- GRABHERR G., MAIR A., STIMPFL H., 1988: Vegetationsprozesse in alpinen Rasen und die Chancen einer echten Renaturierung von Schipisten und anderen Erosionsflächen in alpinen Hochlagen. Jahrbuch der Gesellschaft für Ingenieurbioogie 3, 94-113.
- GRAISS W.; 2000: Erosionsschutz über der Waldgrenze – Vergleich verschiedener Ansaatmethoden mit Heu und Deckfrucht. Diplomarbeit am Arbeitsbereich Ingenieurbioogie und Landschaftsbau, Universität für Bodenkultur, Wien.
- GRÄSSER M., 1994: Heckenbuschlagen - ingenieurbioologische Methode zur Hangsicherung. Diplomarbeit - Universität Karlsruhe.
- GRUBINGER H., 1983: Bodenverfestigung durch Grünverbau. Mitt. Schweiz. Gesellschaft für Boden- u. Felsmechanik 109 (1983): 37-49. Zürich.
- HÄHNE K., 1982: Messungen des Widerstandes von Gehölzwurzelsystemen gegenüber oberirdisch angreifenden Zugkräften. Jahrbuch 1 der Gesellschaft für Ingenieurbioogie, Karl Krämer Verlag Stuttgart.
- HÄHNE K., 1985: Wurzelentwicklung einer Salweide am Hellerberganschnitt der A 62 bei Freisen im Saarland sowie einer Rotbuche und Traubeneiche am ungestörten Hellerberghang. Jahrbuch 2 der Gesellschaft für Ingenieurbioogie, Sepia Verlag Aachen.
- HÄHNE K., 1994: Der Einfluss von Gräser- und Gehölzwurzeln auf die Scherfestigkeit von Böden und damit auf die Standsicherheit von Hängen und Böschungen. Dissertation der TU-Berlin.
- HAMMANN DE SALAZAR, K., DITTRICH, A. UND DU, C. 1994: Bewertung der naturnahen Bauweisen an der Enz nach dem Hochwasser vom Dezember 1993, Bericht des Instituts für Wasserbau und Kulturtechnik, Karlsruhe.
- HASLER A., 1988: Biologische Erosionsbekämpfung oberhalb der Waldgrenze: Verwendung einiger alpiner Arten für die Bepflanzung von gefährdeten Stellen. Diplomarbeit. Geobot. Inst. ETH Zürich.
- HASSENTEUFEL W., 1959: Die Bepflanzung von Kahlhängen. Garten und Landschaft 69 (1959) 5: 143-146.
- HEILINGER K., 2002: Unterschiedliche Methoden der Qualitätsprüfung von Heudrusch und Heublumen. Diplomarbeit am Arbeitsbereich Ingenieurbioogie und Landschaftsbau, Univ. f. Bodenkultur, Wien.
- HEINIMANN H.R., 1982: Ingenieurbioogie - Grünverbau. Schweiz. Forstkalender 1982. Verlag Huber, Frauenfeld.

- HILLER H., 1978: Probleme der Ufersicherung in der Röhrichtzone durch ingenieurbio-logische Bauweisen, dargestellt am Beispiel der Havel in Berlin-West. *Natur und Landschaft* 53 - 7/8 - 224-227
- HILLER H., 1985: Zur Ausbildung des Wurzelwerkes von Strauchweiden und ihr Beitrag zur Böschungssicherung. *Jahrbuch 2 der Gesellschaft für Ingenieurbio-logie*, S. 93-107. Verlag Sepia, Aachen.
- HIRT R., 1990: Holzbauwerke in der Ingenieurbio-logie. *Jahrbuch 5 der Gesellschaft für Ingenieurbio-logie*, S. 79-83. Selbstverlag Gesellschaft für Ingenieurbio-logie e.V., Aachen.
- HOFFMANN J., 1989: Technisch vegetativ gestützte Böschungen - Erfahrungen und Stabilitätsbetrachtungen. *Tl. 1. Erfahrungen mit Berliner Raumgitterwänden. Gartenamt* 38 (1989) 6: 380-382, 384.
- HOFMANN A., 1936: *La sistemazione idraulico-forestale dei bacini montani*. Torino, Unione Tipografico-Editrice Torinese.
- HÖRANDL E., 1992: Die Gattung *Salix* in Österreich. *Abhandlung der Zoologisch – Botanischen Gesellschaft in Österreich*, Band 27.
- HUTER F., HEUMADER J., 1981: Die Begrünung von Bodenflächen in den Hochlagen mit Hilfe von Winterroggen als Deckfrucht. *Zeitschrift des Vereins der Diplomingenieure der Wildbach- und Lawinerverbauung*, 45. Jahrgang, Heft 2.
- INDLEHOFER A., 1982: Leistungsberechnung naturnaher und natürlicher Gewässer. *Landschaftswasserbau* 3, S. 217-243, TU Wien
- JOHANNSEN R., 1982: Zur Wirkung ingenieurbio-logischer Bauweisen am Beispiel lebender Uferdeckwerke im Flussbau. *Jahrbuch 1 der Gesellschaft für Ingenieurbio-logie e. V.* - Karl Krämer Verlag Stuttgart.
- JOHANNSEN R., 1983: Ingenieurbio-logische Bauweisen der Ufersicherung. *Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau*, 7. DVWK Fortbildungslehrgang, Darmstadt
- JOHANNSEN R., 1985: Zur Entwicklung von Busch- und Heckenbuschlagen am Hellerberganschnitt bei Freisen im Saarland seit dem Frühjahr 1980. *Jahrbuch 2 der Gesellschaft für Ingenieurbio-logie*, S. 207-219. Verlag Sepia, Aachen.
- JOHANNSEN R., 1988: Ingenieurbio-logische Ufersicherung des Schwalbaches bei Ensdorf im Saarland - Planung, Bauausführung und Entwicklung. *Jahrbuch 3 der Gesellschaft für Ingenieurbio-logie* S. 190-203 - Sepia Verlag, Aachen
- JUDA M.; 2002: Erosionsschutz über der Waldgrenze – Vergleich verschiedener Ansaatmethoden auf Meran 2000 und dem Pfannhorn/Südtirol. *Diplomarbeit am Arbeitsbereich Ingenieurbio-logie und Landschaftsbau*, Univ. f. Bodenkultur, Wien.
- KARL S., 1990: Erfahrungen mit der Uferbepflanzung von Fließgewässern. *Landschaftswasserbau* 10, S. 425-452, TU Wien
- KELLER E., 1937: *Lebende Verbauung. Vorläufiger Bericht über den Werdegang praktischer Durchführungsversuche. 2. Teil. Zeitschrift für Wasserwirtschaft und Technik*, Wien.
- KIRWALD E., 1950: *Lebendbau und Gewässerpflege*. Landbuchverlag - Hannover
- KIRWALD E., 1956: Sicherung und Begrünung beweglicher Böden beim Waldwegbau. *Allg. Forstzeitschrift* 11 (1956) 31/32: 394-399.
- KRAUSE A., 1985: Ufergehölzpflanzungen an Gräben, Bächen und Flüssen im Flachland. *Schriftenreihe für Vegetationskunde* 17, Landwirtschaftsverlag Münster / Hiltrup.

- KRUEDENER VON A., 1941: Bekämpft Erosionen und Rutschungen durch vorbeugende, ingenieurbio-logische Maßnahmen schon im Anfangsstadium. Schriftenreihe der "Strasse" 22 (1941): 29-32.
- KRUEDENER VON A., 1951: Ingenieurbio-logie - Ernst Reinhardt Verlag München/Basel.
- KRÜSSMANN, G., 1981: Die Baumschule, Paul Parey Verlag, 5. Auflage, Berlin und Hamburg.
- KUNZ K., 1978: Lebendverbau an instabilen Bahnböschungen. Allg. Forstzeitschr. 33 (1978) 30: 848-853.
- KURZ P., 1987: Erosionsschutz der natürlichen Vegetation und künstlicher Begrünungen in alpinen Hochlagen, dargestellt am Beispiel "Pfannhorn" in Südtirol. Dissertation, Innsbruck.
- KUTSCHERA L. UND E. LICHTENEGGER, 1960: Wurzelatlas mitteleuropäischer Ackerunkräuter und Kulturpflanzen. DLG-Verlage GmbH Frankfurt am Main.
- KUTSCHERA L. UND E. LICHTENEGGER, 1982: Wurzelatlas mitteleuropäischer Grünlandpflanzen. Gustav Fischer Verlag Stuttgart.
- LACHAT B., 1991: Biotechnologie pour cours d'eau. Societé d'Emulation, Porrentruy 1991
- LARCHER W.; 1973: Ökologie der Pflanzen. Eugen - Ulmer Verlag; Stuttgart.
- LANGE G., LECHER K. et al., 1989: Gewässerregelung, Gewässerpflege, naturnaher Ausbau und Unterhalt von Fließgewässern. Verlag Parey, Hamburg und Berlin - 2. Auflage 301 Seiten
- LEITNER E., 1996: Die Verwendung der Hängebirke in der Ingenieurbio-logie. Diplomarbeit am Arbeitsbereich Ingenieurbio-logie und Landschaftsbau, Universität für Bodenkultur, Wien.
- LICHTENEGGER E., 1985: Die Ausbildung der Wurzelsysteme krautiger Pflanzen und deren Eignung für die Böschungssicherung auf verschiedenen Standorten. Jahrbuch 2 der Gesellschaft für Ingenieurbio-logie, S. 63-92. Verlag Sepia, Aachen.
- MAIR A., 1986: Zweckmäßigkeit und Erfolg ingenieurbio-logischer Erosionsbekämpfung in alpinen Hochlagen, dargestellt am Beispiel "Pfannhorn", Südtirol-Italien. Dissertation, Innsbruck.
- MAYRHOFER F., 2003: Erosionsschutz über der Waldgrenze – Vergleich verschiedener Ansaatmethoden am niederen Gernkogel, Pinzgau, Salzburg. Diplomarbeit am Arbeitsbereich Ingenieurbio-logie und Landschaftsbau, Universität für Bodenkultur, Wien.
- MEISTERHANS E., 1988: Vegetationsentwicklung auf Schipistenplanierungen in der alpinen Stufe bei Davos. Veröff. Geobot. Inst. ETH, Stiftung Rübel, Zürich 97.
- MENGHINI O., 1991: Hangrost in Allschwil Schönenbuchstrasse. Mitteilungsblatt Verein für Ingenieurbio-logie 1 ( 1991) 1: 4-5.
- MESZMER F., 1977: Naturnaher Bau von Fließgewässern. BDLA - Schriftenreihe 20 S. 19-26, Callwey Verlag München
- MOLDER F., 1995: Vergleichende Untersuchungen mit Verfahren der oberbodenlosen Begrünung unter besonderer Berücksichtigung areal- und standortbezogener Ökotypen. Boden und Landschaft, Band 5, Justus von Liebig Universität Gießen, S 235.

- MOLDER F., 2000: Begrünungen in Tallagen ohne Handelssaatgut - Erosionsschutz und Biodiversität im Landschaftsbau, Zeitschrift Ingenieurbiologie, Heft 2/2000, 42-46.
- NEUMANN A., 1981: Die mitteleuropäischen Salix – Arten. Mitt. d. FBVA, Heft 134
- NEULAND H., 1977: Die Vegetation als Beitrag zur Hangstabilität - ein statischer Beweis. Natur und Landschaft 52 (1977) 12: 349-350.
- NEUWINGER-RASCHENDORFER I., 1978: Untersuchungen zur Bodenentwicklung auf ingenieurbologisch gesicherten Rutschflächen in Nordtirol. Garten und Landschaft 88 (1978) 2: 757-762.
- NIEDERER S., 1990: Hangsicherungsarbeiten in Nepal. Grundsätze und Beispiele der Ingenieurbiologie, Tagungsunterlagen Vortragstagung 7. Dez. 1990. ETH Zürich, Verein für Ingenieurbiologie, S. 45-49.
- OPLATKA M., 1995: Beanspruchung von Weiden durch die Strömung - Bericht über den Auszieh Widerstand von Weiden, Versuche in Neuseeland. Eidgen. Verkehrs- und Energiewirtschaftsdepartement, Bundesamt für Straßenbau, April 1995.
- OPLATKA M., 1998: Stabilität von Weidenverbauungen an Flussufern. Dissertation an der ETH Zürich. IN: VAW Mitteilungen Heft 156.
- ÖWWV-BMLF, 1992: Schutzwasserbau-Gewässerbetreuung-Ökologie, Herausg. Österr. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft
- PAGNONCINI C., 1988: Holzkastenbau. Bündner Wald 41 (1988) 6.
- PARTSCH K., 1980: Reform der Rekultivierung im Hochgebirge. Deutscher Gartenbau 18, 828-830.
- PRÜCKNER R., 1965: Die Technik der Lebendverbauung. - Ein Leitfaden der Ingenieurbiologie für Schutzwasserbau, Forstwesen und Landschaftsschutz. Österr. Agrarverlag, Wien. 1965. 200 S.
- RICKERT K., 1988: Hydraulische Berechnungen naturnaher Gewässer mit Bewuchs. Deutscher Verband für Wasserbau und Kulturbau, DVKW-Fortbildungskurs 13, S. 57-89
- RÖSSERT R., 1974: Hydraulik im Wasserbau, R. Oldenbourg Verlag München - Wien
- ROSSOLL A., 1982: Erfahrungen mit ingenieurb biologischen Maßnahmen bei Fließgewässern des Alpenvorlandes. Landschaftswasserbau 3, S. 263-277, TU Wien
- RÜEGGER R., 1990: Tiefenstabilisierungen und erdbautechnische Verfahren wie Verankerung, Verdübelung und Geotextilarmierung. Jahrbuch 5 der Gesellschaft für Ingenieurbiologie, S. 61-77. Selbstverlag Gesellschaft für Ingenieurbiologie e.V. Aachen
- RÜMLER R., 1974: Zur Entwicklung von Rasenansaat und ihrer Bedeutung für die ingenieurb biologische Sicherung von Straßenböschungen. Diss. TH Aachen. Verlag RWTH, Fak. für Bauwesen, Aachen. 1974. 155 S.
- SAMARAS A., SCHNEIDER A., 1989: Ingenieurb biologische Böschungssicherung. Erfahrungen an der Neubaustrecke Mannheim-Stuttgart. Die Bundesbahn 65 (1989) 10: 857-860, 862.
- SANNA S., 2003: Sistemazioni idraulico-forestali nella difesa del suolo. Dario Flaccovio Editore s.r.l., Palermo (I).

- SANSONI G., 1989: Sistemazione idraulica dei corsi d'acqua - l'impatto biologico  
Progetto Ledra - Seminari di studio - Massa Carrara
- SAURER B., 1984: Wasserbaulehrpfad Lungitzbach 3. Herausg. Amt der Steiermärkischen  
Landesregierung, Landesbauamt Bezirksleitung Hartberg.
- SCHAARSCHMIDT G., 1974: Zur ingenieurbioologischen Sicherung von  
Strassenböschungen durch Bewuchs und Lebendverbau. Rheinisch-  
Westfälische Technische Hochschule, Fak. für Bauwesen, Aachen. Diss. TH  
Aachen. 1974. 166 S.
- SCHAARSCHMIDT G. UND KONECNY V., 1971: Der Einfluss von Bauweisen des  
Lebendverbaues auf die Standsicherheit von Böschungen. Heft 49. Mitteilungen  
der Technischen Hochschule Aachen.
- SCHAUER Th., 1981: Vegetationsveränderungen und Florenverlust auf Skipisten in den  
bayerischen Alpen. Jb. Ver. Schutz Bergwelt, München 46, 149-179.
- SCHELLING B., 2001: Pflanzen und Pflanzenteile in der Ingenieurbiologie. Diplomarbeit am  
Arbeitsbereich Ingenieurbiologie und Landschaftsbau, Univ. f. Bodenkultur,  
Wien.
- SCHIECHTL H.M., STERN R., 1992: Handbuch für naturnahen Erdbau - eine Anleitung für  
ingenieurbioologische Bauweisen. Österreichischer Agrarverlag, 153 Seiten
- SCHIECHTL H.M., STERN R., 1994: Handbuch für naturnahen Wasserbau - eine Anleitung  
für ingenieurbioologische Bauweisen Österreichischer Agrarverlag, 200 Seiten -  
Wien
- SCHIECHTL H.M., WATSCHINGER E., 1972: Erosionsschutz durch Berasung bei der  
Wildbachverbauung in Südtirol. Garten und Landschaft 11, 506-507.
- SCHIECHTL H.M., 1958: Grundlagen der Grünverbauung. Mitt. Forstl. Bundes-  
Versuchsanstalt Mariabrunn 55 ( 1958): 273 S. Wien.
- SCHIECHTL H.M., 1966: Sicherung von Hängen durch Grünverbauung, Garten und  
Landschaft 76 (1966) 6: 183-189.
- SCHIECHTL H.M., 1969: Die Bewährung der Heckenbuschlage und der Strohdecksaat zur  
Sicherung von Böschungen im Erdbau. Österr. Ingenieur-Zeitschr. 12 (1969) 6:  
208-213.
- SCHIECHTL H.M., 1973: Sicherungsarbeiten im Landschaftsbau. Callwey Verlag -  
München.
- SCHIECHTL H.M., 1975: Rasen als Baustoff für Sicherungsarbeiten im alpinen  
Landschaftsbau. Rasen- Turf - Gazon 6 (1975) 6: 91-94.
- SCHIECHTL H.M., 1976: Zur Begrünbarkeit künstlich geschaffener Schneisen in  
Hochlagen. Jahrbuch des Vereins zum Schutze der Alpenpflanzen 41, 53-76.
- SCHIECHTL H.M., 1978: Probleme der ingenieurbioologischen Begrünungsverfahren im  
Gebirge. Tagungsberichte der Bayr. Akademie f. Naturschutz u.  
Landschaftspflege 2, 8-15.
- SCHIECHTL H.M., 1978: Umweltfreundliche Hangsicherung. Geotechnik 1: 10-21.
- SCHIECHTL H.M., 1980: Bioengineering for land reclamation and conservation. Univ. of  
Alberta Press, Edmonton/Alberta, Canada. 1980. 404 S.
- SCHIECHTL H.M., 1982: Ingenieurbioologische und kombinierte Bauweisen an  
Fließgewässern. Landschaftswasserbau 3, S. 139-189, TU Wien

- SCHIECHTL H.M., 1985: Pflanzen als Mittel zur Bodenstabilisierung. Ingenieurbioogie - Wurzelwerk und Standsicherheit von Böschungen und Hängen. Jahrbuch der Gesellschaft für Ingenieurbioogie 2 (1985): 50 - 62. Verlag Sepia, Aachen.
- SCHIECHTL H.M., 1986: Sicherung hoher Böschungen durch Anwendung ingenieurbioogischer Bauweisen. Sonderdruck der 8. Donau - Europä. Konferenz über Bodenmechanik und Grundbau, S. 177 - 182
- SCHIECHTL H.M., 1988: Hangsicherung mit ingenieurbioogischen Methoden im Alpenraum. Jahrbuch 3 der Ingenieurbioogischen Gesellschaft - Sepia Verlag Aachen
- SCHIECHTL H.M., 1992: Weiden in der Praxis - die Weiden Mitteleuropas, ihre Verwendung und ihre Bestimmung Patzer Verlag Berlin - Hannover, 130 Seiten
- SCHLÜTER U., 1971: Lebendbau. Ingenieurbioogische Bauweise und lebende Baustoffe. Callwey Verlag München, 98 Seiten
- SCHLÜTER U., 1984: Zur Geschichte der Ingenieurbioogie. Landschaft und Stadt, Heft 16(1/2), S. 2-9.
- SCHLÜTER U., 1986: Pflanze als Baustoff - Ingenieurbioogie in Praxis und Umwelt. Verlag Patzer, Berlin und Hannover. 1986. 322 S.
- SCHMIDT J., 1993: Hochlagenbegrünung am Fürschießer / Allgäu Zeitschrift Rasen - Turf - Gazon 1/93
- SCHUPPENER B., 1994: Die statische Berechnung der Bauweise „Lebend Bewehrte Erde“, Geotechnik 18 (1994), S. 804-813.
- SCHUPPENER B., HOFFMANN J.; 2000: Wirkungsweise von Gehölzen zur Stabilisierung von Hängen und Böschungen. Zeitschrift Ingenieurbioogie, Hrsg.: Verein für Ingenieurbioogie, Horgen, Schweiz, Mitteilungsblatt Nr. 2, S. 47-53,.
- SCHUPPENER B., 2003: Geotechnische Bemessung von Böschungssicherungen mit Pflanzen. 4. Österr. Geotechniktagung – Tagungsbeiträge S. 55 – 70, Herausg. Österr. Ingenieur- und Architektenverein..
- SCHÜTZ M., 1993: Fortpflanzungserfolg alpiner Pflanzen Informationsblatt des Forschungsbereiches Landschaft - Nr. 15/93 - Eidgen. Forschungsanstalt Birmensdorf
- SMOLTCZYK U. & MALCHAREK K., 1981: Lebendverbau von Steilböschungen. Tiefbau Ingenieurbau Straßenbau 23 (1981) 6: 396,398-400.
- STAMPFER M.; 2000: Untersuchung von 24 Ansaatmethoden über der Waldgrenze am Pfannhorn/Südtirol. Diplomarbeit am Arbeitsbereich Ingenieurbioogie und Landschaftsbau, Universität für Bodenkultur, Wien.
- STERN R, 1990: Ingenieurbioogische Sicherungsmaßnahmen in steilen Gerinnen. Landschaftswasserbau 10, S. 407-424, TU Wien
- STIMPFL H., 1985: Zur Bedeutung der Reproduktionsstrategie autochthoner und standortsfremder Arten für die ingenieurbioogische Berasung hochalpiner Erosionsflächen. Dissertation, Innsbruck.
- STINY J., 1908: Die Berasung und Bebuschung des Ödlandes im Gebirge als wichtige Ergänzung getroffener technischer Maßnahmen und für sich betrachtet. Selbstverlag des Verfassers, Graz, 155 Seiten.
- STRASBURGER E., DENFER D., MÄGDEFERK K., SCHUMACHER N., FIRBAS F., 1967: Lehrbuch der Botanik. Gustav Fischer Verlag – Stuttgart.
- STRELE G., 1934: Grundriss der Wildbachverbauung. Verlag von Julius Springer, Wien.

- TOBIAS S., GRUBINGER H., 1988: Verbundfestigkeit, ein neuer Ansatz bei Festigkeitsfragen in der Ingenieurbiologie. Interprävent - Tagungspublikation, Band 4, Seite 239 - 251.
- TOBIAS S., 1991: Bautechnisch nutzbare Verbundfestigkeit von Boden und Wurzel. Diss. ETH - Zürich Nr. 9483
- TSCHURR R.F., 1987: Regenerationsverhalten und vegetative Fortpflanzung bei einigen Alpenpflanzen. Diplomarbeit, Geobot. Inst. ETH Zürich.
- TSCHURR R.F., 1988: Zum Regenerationsverhalten einiger Alpenpflanzen. Ber. Geobot. Inst. ETH, Stiftung Rübel, Zürich 54, 111-140.
- URBANSKA K.M., 1985: Some life history strategies and population structure in asexually reproducing plants. Bot. Helv. 95/1, 81-97.
- URBANSKA K.M., 1986a: High altitude revegetation research in Switzerland - problems and perspectives. Veröff. Geobot. Inst. ETH, Stiftung Rübel, Zürich 87, 155-167.
- URBANSKA K.M., 1986b: Behaviour of alpine plants and high altitude revegetation research, Proc. 7th HAR Workshop. Colorado State Univ. Info. Ser. 58, 214-226.
- URBANSKA K.M., 1988: High altitude revegetation research in Swiss Alps: experimental establishment and performance of native plant populations in machine-graded ski runs above the timberline. Proc. 8th HAR Workshop. Colorado State Univ. Info. Ser. 59, 115-128.
- URBANSKA K.M., 1989a: Probleme des biologischen Erosionsschutzes oberhalb der Waldgrenze. Zeitschrift für Vegetationstechnik 12, 25-30.
- URBANSKA K.M., 1989b: Standortgerechte Skipistenplanung in hochalpinen Lagen. Bulletin d. ETH Zürich 223, 18-21.
- URBANSKA K.M., HEFTI-HOLENSTEIN B. und ELMER G., 1987: Performance of some alpine grasses in single-tiller cloning experiments and in the subsequent revegetation trials above the timberline. Ber. Geobot. Inst. ETH, Stiftung Rübel, Zürich 53, 64-90.
- URBANSKA K.M., SCHÜTZ M. und GASSER M., 1988: Revegetation trials above the timberline - an exercise in experimental population ecology. Ber. Geobot. Inst. ETH, Stiftung Rübel, Zürich 54, 85-110.
- URBANSKA K.M., und SCHÜTZ M. 1986: Reproduction by seed alpine plants and revegetations research above timberline. Bot. Helv. 96, Heft 1, 43-60.
- VEREIN FÜR INGENIEURBIOLOGIE DER SCHWEIZ, 1990: Grundsätze und Beispiele der Ingenieurbiologie. Vortragstagung 7. Dez. 1990 ETH-Zürich
- VISCHER D., OPLATKA M, 1998: Der Strömungswiderstand eines flexiblen Ufer- und Vorlandbewuchses. Wasserwirtschaft Jahrg. 88, Heft 6, Friedrich Vieweg&Sohn, Verlagsges.m.b.H., Wiesbaden.
- VOLLSINGER S., DOPPLER F., FLORINETH F.; 2000: Ermittlung des Stabilitätsverhaltens von Ufergehölzen im Zusammenhang mit Erosionsprozessen an Wildbächen. Studie im Auftrag des Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, 107 p. Eigenverlag Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Landschaftsplanung und Ingenieurbiologie, Arbeitsbereich Ingenieurbiologie und Landschaftsbau.
- WASSERWIRTSCHAFTSVERBAND BADEN-WÜRTTEMBERG (WBW) 1994: Gewässernachbarschaft in Baden - Württemberg, Heidelberg.
- WALDNER A.; 1999: Erosionsschutz oberhalb der Waldgrenze- Vergleich verschiedener Ansaatmethoden mit Stroh als Mulchschicht. Diplomarbeit am Arbeitsbereich für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau, Universität für Bodenkultur Wien.

- WEIBEL T., 1985: Ingenieurbiologie - Beispiele über Planung und Ausführung. Schweiz. Zeitschr. f Forstwesen 136 (1985) 6: 457-467.
- WEILENMANN K., 1981: Bedeutung von Keim- und Jungpflanzenphase für alpine Taxa verschiedener Standorte. Ber. Geobot. Inst. ETH, Stiftung Rübel, Zürich 48, 68-119.
- WEITZER CH., DOPPLER F., FLORINETH F.; 1999: Untersuchungen über die Wirksamkeit von Pflanzen in Einzugsgebieten des Forsttechnischen Dienstes der Wildbach- und Lawinerverbauung. 2. überarb. Aufl., Arbeitsb. Ingenieurbiologie u. Landschaftsbau, Univ. f. Bodenkultur Wien, Hrsg. BMLF, Gruppe V/C, Wien
- WENZEL H., 1991: Praktische Erfahrungen mit technisch - biologischen Verbau in der Liechtensteinischen Rufenverbauung. Bündner Wald 44 5: 25-33.
- WICHTER L., REINSCHÜTZ H., 1988: Stützmauern aus gestapelten kastenförmigen Betonfertigteilen. Straße und Autobahn - Heft 7/1988, 265-270.:
- WILD A.; 1998: Untersuchungen von Begrünungsmethoden oberhalb der Baumgrenze (Südtirol/Pfannhorn). Diplomarbeit am Arbeitsbereich für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau, Universität für Bodenkultur Wien.
- WILD A., FLORINETH F., 1999: Untersuchung von Begrünungsmethoden über der Waldgrenze. Zeitschrift Rasen - Turf - Gazon, Heft 1/99
- WILHALM TH., 1990: Experimentelle Untersuchungen über das Regenerationsverhalten einiger alpiner Gräser. Diplomarbeit am bot. Inst., Univ. Innsbruck.
- WILHALM TH., und FLORINETH F. 1990: Revegetation of overgrazed alpine and subalpine areas in South Tyrol / Italy. In: Proc. 9th HAR Workshop. Colorado State University.
- WOODTLI K., 1978: Erfahrungen mit Lebendverbaumethoden in der Schweiz. Strasse und Verkehr 64 (1978) 4.
- ZEH H., 1979: Böschungsstabilisierungen mit ingenieurbiologischen Methoden. Ein Baustellenbericht. Schweiz. Ing. u. Arch. 97 (1979) 57: 961-966.
- ZEH H., 1982: Ingenieurbiologische Bauweisen. Anthos 21 (1982) 1: 27-33.
- ZEH H., 1985: Anregung zu einer ingenieurbiologischen Verbauung des Hangrutsches bei Weilerbach. Jahrbuch 2 der Gesellschaft für Ingenieurbiologie, S. 285-286. Verlag Sepia, Aachen.
- ZEH H., 1985: Ingenieurbiologische Uferstabilisierung. Schweizerische Ingenieur- und Architekten-Zeitschrift 103/50, S. 1238-1243
- ZEH H., 1988: Ingenieurbiologische Uferstabilisierungen im Rahmen von Hochwasserschutzmaßnahmen. Interpraevent Graz 4, S. 303-315.
- ZEH H., 1990: Geotextilien bei ingenieurbiologischen Bauweisen im Voralpenraum. Jahrbuch 5 der Gesellschaft für Ingenieurbiologie, S. 99-106. Selbstverlag Gesellschaft für Ingenieurbiologie e.V. Aachen
- ZEH H., 1993: Ingenieurbiologische Bauweisen. Studienbericht Nr. 4, Bundesamt für Wasserwirtschaft.