

# MANUALE TECNICO DI INGEGNERIA NATURALISTICA



Distribuzione a cura di:

REGIONE EMILIA-ROMAGNA - Assessorato all'Ambiente  
Via dei Mille 21 - 40121 Bologna  
Tel. 051/559011/559972

REGIONE DEL VENETO - Centro Sperimentale Valanghe e Difesa Idrogeologica  
32020 Arabba - Livinallongo del Col di Lana - BL  
Tel. 0436/79227

© - Copyright: Regione Emilia-Romagna e Regione del Veneto - 1993

La riproduzione di questo libro o parte di esso e la sua diffusione con qualsiasi mezzo (elettronico, meccanico, per mezzo di fotocopie, microfilm, registrazioni o altro) è proibita senza il permesso scritto della Regione Emilia-Romagna e della Regione del Veneto.

---

Stampa: Tipografia Zanini - Bologna

Carta riciclata 100%

# MANUALE TECNICO DI INGEGNERIA NATURALISTICA

# Indice

	Pag.
Presentazione	9
Introduzione	11
<b>PARTE GENERALE</b>	<b>13</b>
<b>I - LA GESTIONE TERRITORIALE E IL RECUPERO AMBIENTALE</b>	<b>15</b>
- Concetti generali	17
- La rinaturalizzazione	17
- L'ingegneria naturalistica	18
<b>II - GLI AMBITI DI INTERVENTO</b>	<b>21</b>
<b>A - IL SISTEMA FIUME</b>	<b>23</b>
A.1 - Il corso d'acqua	23
A.2 - Un sistema idraulico dinamico nel tempo e nello spazio	23
A.3 - Un delicato, complesso ed affascinante sistema biologico	25
* Concetti generali	25
* La fauna	26
* La flora	26
A.4 - Il fiume come insieme di valori ambientali e sociali	28
* Aspetti estetico-paesaggistici dell'ambiente fluviale	28
* Attività ricreative e sportive	30
* Attività estrattive	30
* Attività produttive ed insediative	30
* Regimazioni idrauliche e gestione delle risorse idriche	30
A.5 - Biomonitoraggio ambientale	37
<b>B - I VERSANTI</b>	<b>39</b>
B.1 - Concetti generali	39
B.2 - Principali cause di instabilità dei versanti	40
B.3 - Tipologie di intervento di consolidamento dei versanti	41
* La regimazione idrica	41
* Il consolidamento meccanico	42
* Gli interventi di ricostituzione della copertura vegetale	43
<b>C - L'ATTIVITA' ESTRATTIVA</b>	<b>45</b>
C.1 - Concetti generali	45
C.2 - Il recupero ambientale di ex-cave di versante	46
C.3 - Il recupero ambientale di ex-cave di pianura	46

	Pag.
D - LE INFRASTRUTTURE (viarie e ferroviarie)	51
D.1 - Concetti generali	51
<b>III - LE TECNICHE DELL' INGEGNERIA NATURALISTICA</b>	<b>53</b>
- Concetti generali	55
<b>A - I MATERIALI</b>	<b>57</b>
A.1 - Materiali vegetali vivi	57
A.2 - Materiali organici inerti	57
A.3 - Materiali di sintesi	57
A.4 - Altri materiali	58
<b>B - LE METODOLOGIE</b>	<b>59</b>
B.1 - Concetti generali	59
* Considerazioni generali	62
B.2 - Uso di materiale vegetale vivo	64
* Piante intere	64
* Parti di pianta	65
* Sementi	66
B.3 - Uso di griglie, reti, stuoie o tessuti	67
B.4 - Uso di pietrame (rampe di risalita per pesci)	77
* Concetti generali	77
* Tecniche costruttive delle rampe	79
* Dimensionamento delle rampe	80
* Metodologie di intervento in caso di opere idrauliche già esistenti	83
* Scale di risalita in calcestruzzo per pesci	84
* Caratteristiche di dinamicità della fauna ittica	85
<b>C - LA MANUTENZIONE</b>	<b>89</b>
C.1 - Concetti generali sulla manutenzione degli interventi di rinverdimento	89
C.2 - Concetti generali sul contenimento della vegetazione in ambito fluviale	91
* Criteri di contenimento della vegetazione erbacea	91
* Criteri di contenimento della vegetazione arbustiva ed arborea	92
<b>D - GLI ASPETTI ECONOMICI DELL'INGEGNERIA NATURALISTICA</b>	<b>95</b>
D.1 - Concetti generali	95

	Pag.
<b>PARTE SPECIALE</b>	97
1 - Inerbimento	99
a) semina a spaglio	99
b) idrosemina	100
c) semina con coltre protettiva di paglia (mulch)	101
d) semina con coltre protettiva di paglia e bitume (sistema Schiechteln)	102
e) tappeto erboso	104
2 - Messa a dimora di specie arbustive o arboree	108
a) piantagione di semenzali o trapianti (a radice nuda o in fitocella)	108
b) piantagione di rizomi o di loro parti	109
c) semina	109
3 - Messa a dimora di talee di specie arbustive nelle difese spondali	110
4 - Gradonata con talee	112
a) semplice	112
b) su rilevati artificiali	112
c) con rinforzo longitudinale	112
5 - Gradonata con piantine	116
6 - Gradonata mista con talee e piantine	118
7 - Cordonata	120
8 - Viminata	122
9 - Fascinata	124
10 - Drenaggio con fasciname	128
11 - Canaletta in legname e pietrame	130
12 - Grata in legname con talee	132
13 - Palizzata in legname con talee	136
14 - Palificata in legname con talee	138
a) ad una parete	138
b) a due pareti	138
15 - Muro di sostegno in pietrame (a secco)	142
16 - Muro di sostegno in elementi prefabbricati in calcestruzzo o in legname	144
a) elementi tubolari	144
b) elementi planari	144
c) travi	144
d) grigliati	144
17 - Muro di sostegno con armatura metallica (terre rinforzate)	148
18 - Sistemazione con griglie, reti o tessuti in materiale sintetico	150
a) griglie o reti in poliammide (nylon)	150
b) griglie o reti in polietilene	150
c) griglie o reti in polipropilene	150
d) griglie o reti in poliestere	150
e) reti a struttura alveolare (celle) in polietilene	150

	Pag.
f) reti a struttura alveolare (celle) in poliestere	151
g) tessuti in polipropilene	151
h) tessuti in poliestere	151
i) sistemi misti	151
19 - Sistemazione con reti o stuoie in materiale biodegradabile	154
a) reti in juta, fibra di cocco o altri vegetali	154
b) stuoie in fibra di cocco, di paglia, di truciolare di legno o altri vegetali	154
20 - Copertura diffusa con astoni	156
a) semplice	156
b) armata	157
21 - Difesa spondale con ramaglia	162
22 - Gabbionata con talee	164
23 - Pennello in pietrame con talee (repellente)	166
24 - Briglia in legname e pietrame	168
25 - Soglia in pietrame	172
a) ancorato a travi di acciaio	172
b) ancorato a pali di legno	172
26 - Rampa in pietrame	174
a) rampa di risalita per pesci	174
b) passaggio per pesci	185
c) ruscello di risalita per pesci	190
<b>PREZZARIO</b>	<b>195</b>
Premessa	197
Elenco prezzi unitari	199
Analisi prezzi delle tipologie	205
Bibliografia	234
Collaborazioni	236
Tavole	239

## PRESENTAZIONE

*L'azione antropica sul territorio si è manifestata nei secoli in maniera sempre crescente, ma, negli ultimi decenni, si è intensificata in maniera esponenziale, in relazione alle accresciute potenzialità offerte dalla tecnologia.*

*Si sono così verificati intensi fenomeni di trasformazione dell'uso del suolo dovuti ai processi di urbanizzazione, industrializzazione e coltivazione di vaste aree che hanno comportato macroscopici interventi sul territorio quali, ad esempio, la bonifica di vaste zone umide, il disboscamento delle aree forestali in pianura, l'apertura di cave, la creazione di una rete viaria capillare, la riduzione degli ambiti fluviali.*

*La società moderna, però, sta ponendo come prioritaria la "questione ambientale" e, pertanto, sta cercando di coniugare le esigenze di sviluppo con il rispetto della natura.*

*E' in questo contesto che si sta affermando la cultura del recupero ambientale e della mitigazione dell'impatto degli interventi antropici quale nuova filosofia per una moderna pianificazione e gestione territoriale.*

*In diversi paesi europei si è assistito negli ultimi anni ad un'intensa opera di ricostituzione di ambienti naturali in precedenza degradati o addirittura distrutti dall'azione dell'uomo, ottenendo così la creazione di nuove zone umide, di golene fluviali, di siepi e di boschi in pianura.*

*In tale ottica si è cercato anche di ridurre gli impatti ambientali delle opere ritenute comunque necessarie in una logica di sviluppo compatibile, attraverso la sperimentazione e l'applicazione di tecniche che, impiegando le piante come "materiale da costruzione", consentono di mitigarne gli effetti negativi.*

*A tal proposito, sono stati riscoperti metodi già usati in passato, apportando nel contempo importanti innovazioni sia nei materiali da impiegare sia nelle metodologie di intervento, costituendo così una nuova disciplina tecnica denominata "ingegneria naturalistica".*

*Le Regioni Emilia-Romagna e Veneto, con la pubblicazione del presente Manuale, hanno voluto fornire ai tecnici del settore un contributo specifico ad una maggiore diffusione di tali tipologie di intervento anche in ambito italiano.*

*Una strategia a lungo termine, quale deve necessariamente essere quella della pianificazione e della gestione del territorio, presuppone che in futuro i recuperi ambientali di aree degradate, quali cave o discariche, e la ricostituzione di ambienti naturali divenuti rari, quali zone umide o boschi in pianura, possano essere realizzati in misura sempre maggiore e che, nel contempo, venga mitigato il più possibile l'impatto delle opere di sistemazione idrogeologica o delle infrastrutture viarie già realizzate o in fase di progettazione.*

*Si vuole, infine sottolineare la proficua collaborazione instaurata nell'occasione tra le due Regioni e si auspica che in futuro si possano sviluppare positive sinergie nel settore della sperimentazione, dell'applicazione e della divulgazione delle tecniche dell'ingegneria naturalistica, coinvolgendo anche altre Regioni ed Amministrazioni pubbliche.*

*Progettare e realizzare interventi che siano in sintonia con le complesse regole della natura è impegnativo, ma, al tempo stesso, affascinante; speriamo e riteniamo che i tecnici delle diverse discipline applichino, sperimentino e migliorino le attuali conoscenze in materia al fine di poter operare in futuro in un'ottica di maggiore tutela e rispetto dell'ambiente.*

Moris Bonacini  
Assessore all'Ambiente della  
Regione Emilia-Romagna

Francesco Adami  
Assessore all'Agricoltura e alle Foreste  
della Regione del Veneto

"IF IT BE YOUR WILL,  
IF THERE IS A CHOICE,  
LET THE RIVERS FILL  
LET THE HILLS REJOICE"  
*Leonard Cohen*

## INTRODUZIONE

Il presente Manuale è stato ideato ed elaborato come uno strumento tecnico-operativo per coloro i quali intendono progettare e realizzare concretamente interventi di recupero ambientale o di mitigazione di impatto attraverso l'impiego delle principali tecniche di ingegneria naturalistica.

Al fine di renderlo più funzionale, il testo è stato suddiviso sostanzialmente in tre parti:

1) *Parte Generale*: in essa vengono illustrati i principi ispiratori per una corretta gestione degli ambiti fluviali e per il consolidamento dei versanti in modo da rendere il più possibile compatibili le esigenze di sicurezza con quelle di tutela ambientale. Inoltre, sono stati introdotti alcuni concetti di base per il recupero a fini naturalistici di aree degradate quali le ex-cave o la mitigazione degli impatti ambientali delle infrastrutture viarie o ferroviarie. Infine, sono stati illustrati i concetti generali, i materiali e le metodologie di intervento delle tecniche di ingegneria naturalistica, nonché i criteri guida delle pratiche colturali e di manutenzione delle opere stesse.

2) *Parte Speciale*: in essa sono descritte in dettaglio le principali tipologie che possono essere considerate appartenenti alla disciplina dell'ingegneria naturalistica. L'impostazione a schede consente al tecnico di disporre in maniera sintetica sia delle nozioni essenziali sui materiali e sulle modalità di realizzazione delle diverse tipologie, sia dei relativi disegni progettuali esplicativi (prospetti, sezioni, planimetrie). Si sono volute inserire anche alcune tipologie, quali le briglie, le canalette in legname e pietrame, le soglie ed i muri in pietrame, in quanto hanno il pregio di avere un minore impatto visivo rispetto alle analoghe opere in calcestruzzo o in ferro. Per quanto concerne la tipologia dei muri di sostegno in elementi prefabbricati in calcestruzzo, sono state indicate, a puro titolo di esempio, alcune strutture tipo presenti in commercio, al fine di fornire un quadro delle loro potenzialità di applicazione. Infine, per le tecniche di realizzazione delle rampe di risalita in pietrame per pesci, si è preferito illustrare le diverse metodologie proprio documentando esempi concreti di opere già realizzate in Germania che hanno dimostrato la loro validità sia a livello idraulico che ecologico.

3) *Prezzario*: in esso vengono analizzati i costi relativi all'esecuzione delle principali tipologie illustrate nella Parte Speciale, in modo da completare il quadro tecnico della materia. In funzione delle differenze riscontrabili nelle realtà socio-economiche dell'Emilia-Romagna e del Veneto, si è ritenuto opportuno elaborare prezzari distinti. E', inoltre, da sottolineare il fatto che, non esistendo in Italia un prezzario ufficiale per le opere di ingegneria naturalistica, alcune voci sono state stimate tenendo conto dell'esperienza dei tecnici che cortesemente hanno collaborato alla stesura del presente testo, ma, in futuro, sulla base degli interventi che si auspica vengano realizzati ed anche dei costruttivi suggerimenti che gli addetti del settore riterranno opportuno segnalare, sarà possibile aggiornarlo ed integrarlo.

A corollario del Manuale sono state inserite alcune Tavole a colori in modo tale da poter documentare alcune realizzazioni effettuate con queste tecniche in Italia ed all'estero.

In conclusione, è opportuno sottolineare il fatto che le potenzialità dell'impiego delle tecniche di ingegneria naturalistica sono notevoli e che, soprattutto per quanto concerne l'area appenninica, sarà necessario impostare una mirata strategia di sperimentazione, al fine di adattare ulteriormente queste tecniche di origine alpina alle realtà mediterranee e renderle più efficaci, aumentando, nel contempo, il loro ambito di applicazione.

Francesco Besio  
Assessorato all'Ambiente  
della Regione Emilia-Romagna

Alberto Luchetta  
Centro Sperimentale Valanghe  
e Difesa Idrogeologica  
della Regione del Veneto

## **PARTE GENERALE**

## **La gestione territoriale e il recupero ambientale**

## CONCETTI GENERALI

La società moderna pone come prioritaria la complessa e difficile ricerca di uno sviluppo compatibile, che possa coniugare le esigenze socio-economiche con quelle di tutela ambientale, in un armonico rapporto improntato su una migliore qualità della vita.

A tale concetto generale debbono necessariamente ricondursi anche i criteri di programmazione, pianificazione e gestione del territorio.

L'uomo ha realizzato, nel corso dei secoli, profonde modificazioni ambientali e, negli ultimi decenni, il ritmo di tale processo è cresciuto notevolmente.

Ciò ha portato, tra l'altro, ad una drastica riduzione degli spazi naturali (boschi di pianura, zone umide, anse fluviali, ecc.) al fine di estendere le aree agricole ed urbane.

Il crescente degrado ambientale ha però determinato una seria riflessione sulle conseguenze negative di tale processo, in quanto la riduzione oltre un certo livello degli ambienti naturali, che assolvono a funzioni ecologiche ben precise, porta necessariamente ad una crisi dell'intero sistema ecologico nel quale, in definitiva, l'uomo stesso vive.

Di conseguenza, si è evoluta una nuova filosofia di azione che tende a recuperare ambienti naturali rari o degradati ed a ricrearne di nuovi; ecco che vengono conosciuti termini quali "rinaturalizzazione", "bioingegneria", "ingegneria naturalistica", per indicare l'impostazione di fondo e le tecniche da adottare in tali interventi.

Soprattutto nei paesi centro europei da anni si stanno conducendo interessanti studi e realizzazioni che dimostrano le enormi capacità di recupero che certi ambienti, seppure gravemente degradati, possono manifestare qualora vengano eliminati i fattori di disturbo e siano realizzati opportuni ripristini.

Il rapporto uomo-natura è sempre stato da un lato conflittuale e dall'altro di rispetto, ma, attualmente, in questo storico dualismo si registra un intenso sforzo di sintesi con il preciso scopo di ricercare una coerente e compatibile forma di sviluppo.

In tale contesto l'intervento antropico può essere orientato in modo tale che le esigenze socio-economiche e quelle ecologiche possano trovare un punto di incontro a livello spazio-temporale, a condizione che vengano compiute scelte lungimiranti, nell'interesse della collettività, anche tramite l'applicazione di tecniche e metodi a basso impatto ambientale.

## LA RINATURALIZZAZIONE

Trattasi di interventi umani volti alla ricostituzione ex-novo o al restauro di ambienti naturali divenuti ormai rari.

In particolare, molti ecosistemi fluviali attualmente versano in condizioni di preoccupante degrado, sia a livello di qualità delle acque (inquinamento urbano, industriale, agricolo), sia di quantità del deflusso idrico: periodi di magra "artificiale" legati ai prelievi ed alle derivazioni (usi irrigui, potabili, idroelettrici, ecc.), sia a livello di regimazione idraulica (rettificazioni dei corsi d'acqua, difese spondali, briglie, ecc.).

Il concetto di rinaturalizzazione conduce ad un approccio più moderno nella gestione territoriale, in quanto indica chiaramente che, in particolare nella fase progettuale degli interventi, oltre agli aspetti sociali, economici e tecnici devono essere tenuti in considerazione anche quelli ambientali.

In conclusione, si può affermare che una più efficace politica di tutela degli ultimi ambiti naturali sia fondamentale e prioritaria e che le consistenti ed interessanti potenzialità offerte dalle tecniche di recupero ambientale consentiranno di riqualificare aree attualmente degradate, con un positivo effetto sugli equilibri ecologici di vaste zone.

### Finalità di intervento:

Rinaturalizzare alcuni significativi ambiti territoriali consentirà, da un lato, di accelerare quei processi naturali di recupero di aree degradate altrimenti troppo lenti e, dall'altro, di ottenere un equilibrio naturale più stabile.

### Ambiti di azione:

La rinaturalizzazione è un concetto applicabile a molteplici situazioni, quali:

- a - recupero di ex-cave, al fine di ottenere zone umide, aree lacustri, boschi, ecc.;
- b - recupero di vecchi tratti fluviali, meandri, lanche, golene fluviali, spesso coltivate a pioppeto "industriale", allo scopo di ripristinare e conservare questi ambienti divenuti ormai rari e/o degradati;
- c - creazione ex-novo di aree naturali in pianura: boschi, zone umide, casse di espansione, ecc.

### Tecniche di intervento:

Le tecniche di intervento possono essere molto diverse tra loro, ma spesso sono riconducibili a quelle dell'ingegneria naturalistica.

## L'INGEGNERIA NATURALISTICA

"L'ingegneria naturalistica (un tempo denominata "bioingegneria forestale") è una disciplina tecnico-scientifica che studia le modalità di utilizzo, come materiali da costruzione, di piante viventi, di parti di piante o addirittura di intere biocenosi vegetali, spesso in unione con materiali non viventi come pietrame, terra, legname, acciaio" (*Schiechl*).

Infatti, particolari specie vegetali "pioniere" hanno apparati radicali tali da poter consolidare efficacemente sponde, versanti e scarpate, il tutto unito ad un effetto drenante dovuto alla loro elevata capacità di traspirazione.

Lo scopo dell'ingegneria naturalistica, come sostiene H. Zeh, esperta svizzera di tali tecniche, "non è quello di abbattere le costruzioni ingegneristiche degli ultimi anni, ma quello di vitalizzare il nostro paesaggio già costruito".

Si tratta quindi di un migliore inserimento nel paesaggio di certe opere ritenute necessarie in una logica di sviluppo compatibile, mitigando così il loro impatto sia a livello estetico-paesaggistico che naturalistico.

Resta però altrettanto evidente che a monte di una qualsiasi scelta di intervento sul territorio debba essere verificata, a livello interdisciplinare, l'effettiva necessità dell'opera in sé: si deve sempre prendere in considerazione anche la cosiddetta "opzione zero" o di "non intervento" il cui principio ispiratore è legato al rapporto tra il rischio che un certo potenziale evento dannoso si verifichi ed il costo economico ed ambientale dell'opera medesima.

L'ingegneria naturalistica è, pertanto, un insieme di tecniche, le quali, accelerando i processi naturali in atto, consentono il raggiungimento di precisi obiettivi in tempi più brevi ed a costi sostenibili; ciò richiede un'elevata professionalità in quanto la ricerca di un preciso equilibrio naturale risulta essere complessa anche a causa degli innumerevoli fattori ambientali (temperatura, luce, acqua, suolo, ecc.) che caratterizzano una determinata zona.

Tutto ciò dovrà tradursi in una fase di sperimentazione, già avviata da decenni nelle regioni alpine, ma che nelle zone appenniniche è ancora piuttosto sporadica, al fine di conoscere meglio le caratteristiche biotecniche della vegetazione autoctona e le conseguenti potenzialità di tale affascinante materia.

### Finalità di intervento:

L'ingegneria naturalistica può svolgere importanti funzioni, quali:

- a - *funzione idrogeologica*: consolidamento del terreno, copertura del terreno, trattenuta delle precipitazioni atmosferiche, protezione del terreno dall'erosione eolica, drenaggio;
- b - *funzione naturalistica*: creazione di macro e microambienti naturali divenuti ormai rari, recupero di aree degradate, sviluppo di associazioni vegetali autoctone, miglioramento delle caratteristiche chimico-fisiche del terreno;
- c - *funzione estetico-paesaggistica*: rimarginazione delle "ferite" del paesaggio, inserimento di opere e costruzioni nel paesaggio, protezione dal rumore;
- d - *funzione economica*: risparmio sui costi di costruzione e di manutenzione di alcune opere.

### Ambiti di azione:

Le tecniche di ingegneria naturalistica possono essere applicate in diversi ambienti, quali:

- a - *corsi d'acqua*: consolidamento e rinverdimento delle sponde, costruzione di briglie e pennelli, creazione di rampe di risalita per l'ittiofauna;
- b - *zone umide*: realizzazione di ambienti idonei alla sosta ed alla riproduzione degli animali;
- c - *coste marine*: consolidamento delle dune sabbiose;
- d - *cave*: recupero ambientale di ex-cave;
- e - *versanti*: consolidamento ed inerbimento di pendici franose o di piste da sci;
- f - *discariche*: inerbimento e rinverdimento dei rilevati;
- g - *infrastrutture viarie e ferroviarie*: inerbimento e rinverdimento delle scarpate e degli svincoli, realizzazione di barriere antirumore.

### Tecniche di intervento:

Le tecniche di intervento prevedono l'utilizzo di piante intere o di loro parti (semi, radici, talee) per cui, a seconda delle diverse combinazioni, si possono avere le seguenti tipologie di intervento:

- a - semina (a spaglio, idrosemina, con coltre protettiva);
- b - messa a dimora di talee (vimate, fascinate, copertura diffusa con astoni, palificate, ecc.);
- c - piantagione di piantine radicate (erbacee, arbustive o arboree).

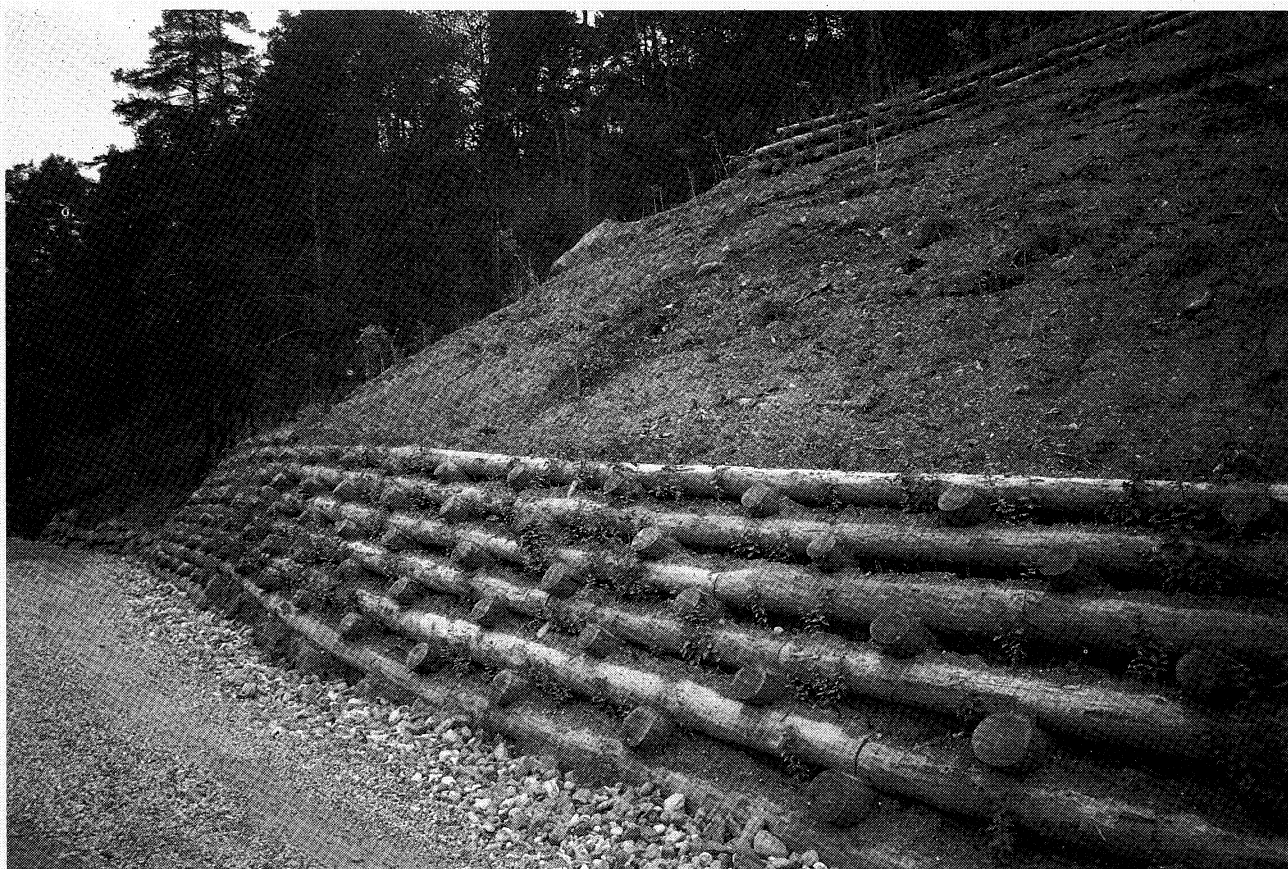
Qualora l'impiego di piante o di loro parti non sia sufficiente per ottenere gli obiettivi prefissati, si può fare riferimento anche ad altri materiali quali: pietrame,

legname, reti metalliche, griglie o reti in materiale sintetico o in fibra naturale.

Emblematica, come esempio di coniugazione di diversi materiali, è la palificata in legname con talee ("parete Krainer") consistente in una struttura in legname, in grado di consolidare il piede di una frana superficiale, rivestita da una compagine vegetale arbo-

rea (salici, ontani, frassini, ecc.), arbustiva ed erbacea che ne accresce la funzione statica e quella estetica.

In definitiva, le possibili combinazioni dei diversi materiali offrono una vasta gamma di soluzioni per uno specifico problema e compete al tecnico individuare, in base alla propria esperienza, quella più idonea da applicare.



*Foto n. 1 - Palificata in legname con messa a dimora di piantine (al termine della fase di costruzione) (San Genesio - Bz) Tipologia n. 14*

## **Gli ambiti di intervento**

# A.

## IL SISTEMA FIUME

### A.1 IL CORSO D'ACQUA

L'insieme delle relazioni esistenti tra gli esseri viventi e dei loro rapporti con l'ambiente circostante forma un'unità funzionale chiamata ecosistema: la modifica di una delle componenti biotiche o abiotiche del sistema provoca inevitabilmente delle conseguenze sulle altre.

Dipendenti da dinamiche e peculiari condizioni climatiche, pedologiche e morfologiche, le diverse specie vegetali ed animali si sono evolute e sviluppate in comunità, le biocenosi, in stretta interdipendenza con il circostante ambiente fisico.

Il "sistema fiume" con l'acqua, l'alveo, le sponde e le rive costituisce un variegato insieme di habitat per un elevato numero di organismi viventi.

Modellati dagli agenti atmosferici ed in base alle caratteristiche litologiche delle zone attraversate, i corsi d'acqua presentano una notevole diversità strutturale che conferisce a ciascun fiume una propria "personalità".

Ma l'aspetto di un corso d'acqua dipende anche dagli interventi operati dall'uomo.

Nella maggior parte dei paesi industrializzati i corsi d'acqua hanno subito pesanti interventi di "regimazione" ed i tratti rimasti ancora naturali sono diminuiti drasticamente negli ultimi decenni.

Interessi economici basati su logiche di breve periodo hanno spesso influito in maniera determinante sulla scelta degli interventi da attuare sul territorio; l'evoluzione dei modi di vivere e di pensare, così come i comportamenti sociali hanno portato, negli ultimi cinquant'anni, ad un impoverimento di molti ambienti naturali, con una conseguente tendenza all'uniformità ed alla banalizzazione del territorio: i corsi d'acqua, purtroppo, non sono sfuggiti a questa regola.

### A.2 UN SISTEMA IDRAULICO DINAMICO NEL TEMPO E NELLO SPAZIO

Il modellamento del territorio dipende da diversi fattori fisici: il principale, oltre al vento, che erode i suoli nudi e contribuisce attivamente a plasmare intere regioni, è indubbiamente l'acqua, che modella il pianeta nel modo più efficace e con un lavoro incessante.

I fenomeni naturali legati all'acqua, come le precipitazioni, le infiltrazioni, le percolazioni ed i ruscellamenti, agiscono in modo complesso, sia a causa della variabilità dei fattori climatici che li regolano, sia per la natura dei suoli che li subiscono (Fig. 1).

L'acqua va a formare dei deflussi che possono essere permanenti o temporanei, superficiali o sotterranei, caratterizzati anche da fenomeni chimici di corrosione (carsismo).

Per comprendere le origini delle erosioni e delle inondazioni bisogna tenere presente che, da un punto di vista idraulico, l'acqua è un fluido e quando scorre dissipa una parte della propria energia per attrito; questa energia perduta si trasmette al materiale presente nell'alveo sotto forma di una forza che, in condizioni particolari, ne determina lo spostamento: la capacità dell'acqua di trasportare i materiali è direttamente proporzionale a tale energia.

Nel caso di un meandro, ad esempio, l'effetto frenante delle sponde provoca la formazione di vortici laterali, a volte molto forti, che risalgono verticalmente lungo la sponda; si produce in tal modo uno scavo abbastanza localizzato in funzione della portata del corso d'acqua e ciò conferisce ai meandri una forma piuttosto regolare (Fig. 2).

L'erosione ed il conseguente trasporto di materiale, in sintesi, dipende principalmente dalle seguenti caratteristiche morfologiche del fiume:

- a - portata idrica;
- b - pendenza delle sponde;
- c - altezza delle sponde;
- d - pendenza dell'alveo;
- e - larghezza dell'alveo;
- f - granulometria del materiale litoide del fondo.

In funzione dei sopracitati parametri si possono verificare, quindi, diverse forme di trasporto:

- a - *per trascinamento*: fenomeno che si verifica nel caso di piene eccezionali durante le quali i materiali inerti di una certa dimensione vengono spostati per brevi distanze, ma, agendo come una fresa, provocano notevoli erosioni sul fondo;
- b - *per rotolio*: ciò accade soprattutto nei corsi d'acqua a regime torrentizio;
- c - *per salto*: i ciottoli ed i sassi compiono dei salti (da qualche centimetro a parecchi metri) in funzione delle loro dimensioni;

d - *in sospensione*: i materiali di dimensioni molto piccole, come le argille, i limi e le sabbie, sono presenti nell'acqua senza esservi disciolti.

Non va, infine, dimenticato il trasporto in soluzione, nel quale gli elementi sono legati alle molecole d'acqua, conferendone diverse e complesse proprietà fisico-chimiche.

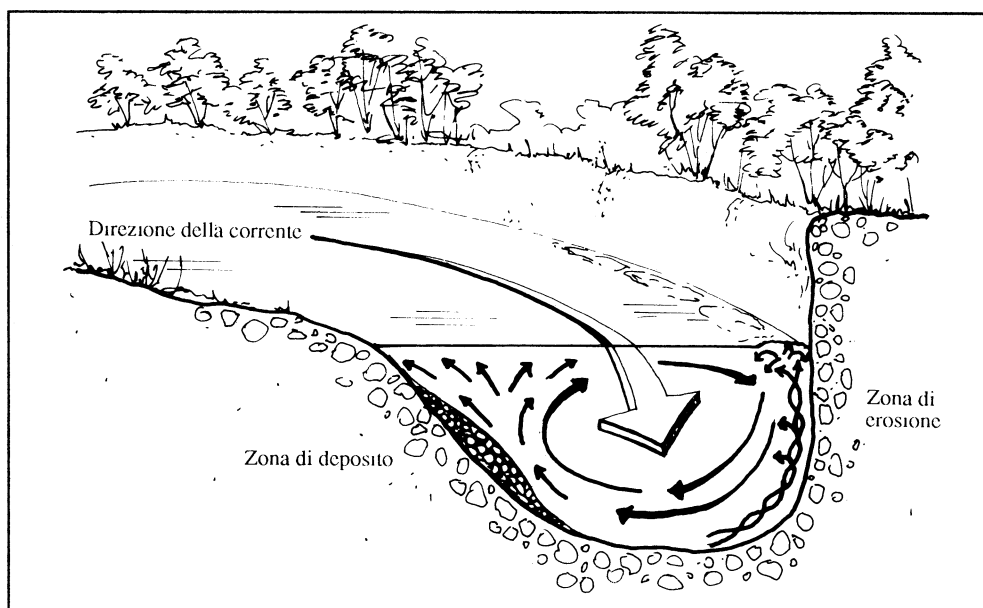


Fig. 2 - Dinamica della corrente idrica in un meandro (Lachat, 1991 - modificata)

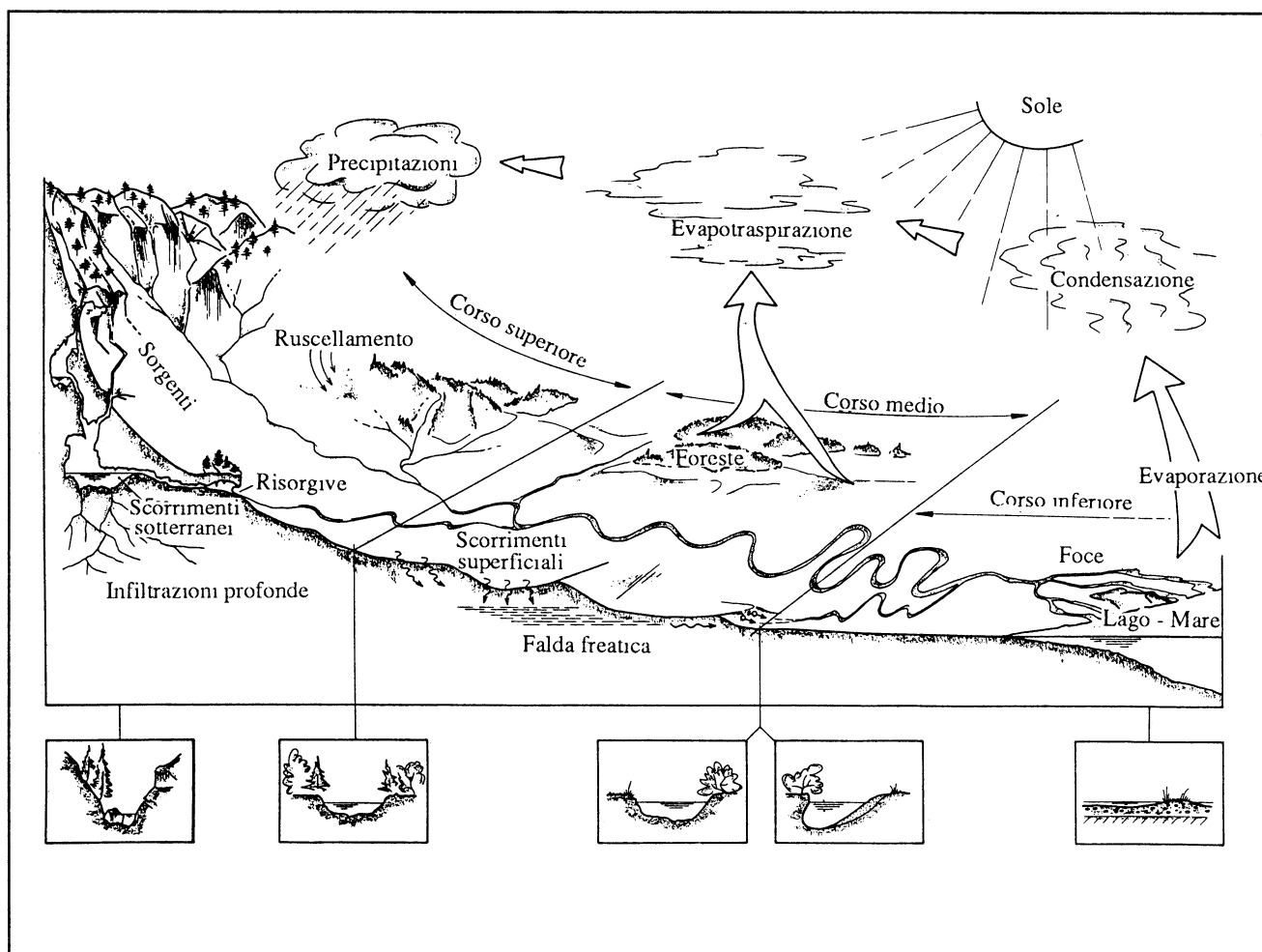


Fig. 1 - Formazione ed evoluzione dei deflussi idrici (Lachat, 1991)

Tenuto conto di questi fenomeni di erosione, di trasporto e, analogamente, di deposito, la morfologia dell'alveo dei corsi d'acqua si evolve continuamente; nei fiumi si possono, comunque, distinguere tre principali tratti:

- a - *alvei di montagna*: situati in formazioni rocciose e caratterizzati da un'azione erosiva o di scavo;
- b - *alvei di collina*: nel corso d'acqua diminuisce la forza erosiva ed inizia la fase di deposito dei materiali più grossolani (ciottoli, ghiaia), mentre l'alveo che si viene a formare è ampio, ramificato, intrecciato ed a morfologia instabile (durante le piene, il fiume può modificare la forma ed il tracciato piuttosto rapidamente);
- c - *alvei di pianura*: questi tratti dei fiumi sono caratterizzati da profili rettilinei che tendono, verso la foce, a creare anse e meandri facendo assumere al corso d'acqua un tracciato sinuoso. A causa dell'impatto della corrente, la sponda esterna assume un profilo verticale, mentre, in quella più interna il deposito di materiale fine determina la formazione di un profilo più dolce (Fig. 3). Spesso l'uomo, per motivi idraulici, ha provveduto alla costruzione di argini sulle rive e, con il passare dei secoli, a causa dei continui depositi di materiale alluvionale, alcuni tratti di fiume sono divenuti addirittura pensili.

Il regime idrico costituisce un parametro fondamentale per lo studio dei corsi d'acqua, infatti, accanto a fiumi caratterizzati da portate abbastanza costanti, vi possono essere torrenti che presentano portate molto variabili.

Benché appartenenti a tipologie diverse, tutti i corsi d'acqua assolvono alla funzione di trasporto dei materiali provenienti dal bacino imbrifero e, di conseguenza, ogni intervento eseguito nel loro alveo avrà un'influenza sia sul deflusso idrico che sul trasporto solido a valle.

Risulta, quindi, fondamentale una conoscenza ap-

profondità ed un monitoraggio costante dei corsi d'acqua nei quali si ritiene necessario intervenire con opere di regimazione idraulica e di difesa del suolo, al fine di ottenere le informazioni ed i dati utili per poter pianificare e progettare correttamente.

In un qualsiasi contesto idraulico gli studi preliminari dovrebbero consistere in diverse indagini conoscitive tra le quali si ricordano le principali:

- a - studio idrogeologico del bacino imbrifero;
- b - studio morfologico dell'alveo;
- c - analisi granulometrica dei materiali presenti nell'alveo;
- d - rilevamento delle portate (misurazione dei livelli di piena e di magra);
- e - rilievo delle zone di esondazione, di risalita di acque sotterranee e di ristagno superficiale;
- f - indagine fotointerpretativa dell'evoluzione nel tempo dell'uso del suolo dell'intero bacino.

I parametri sopra elencati consentono di ottenere un quadro di riferimento del corso d'acqua di tipo fisico, ma, affinché la pianificazione, la progettazione e la gestione territoriale rispondano veramente a corretti criteri di intervento a basso impatto ambientale, dovranno essere obbligatoriamente tenuti in considerazione anche altri parametri, principalmente di ordine biologico, troppo spesso trascurati in passato.

### A.3 UN DELICATO, COMPLESSO ED AFFASCINANTE SISTEMA BIOLOGICO

#### Concetti generali

Le zone umide (torrenti, fiumi, valli, casse di espansione, lanche, meandri, canali, fontanili, ecc.), nonostante le alterazioni e le modifiche operate dall'uomo, costituiscono ambienti di notevole valore ecologico e paesaggistico.

In esse, infatti, vi si trovano ancora le sufficienti

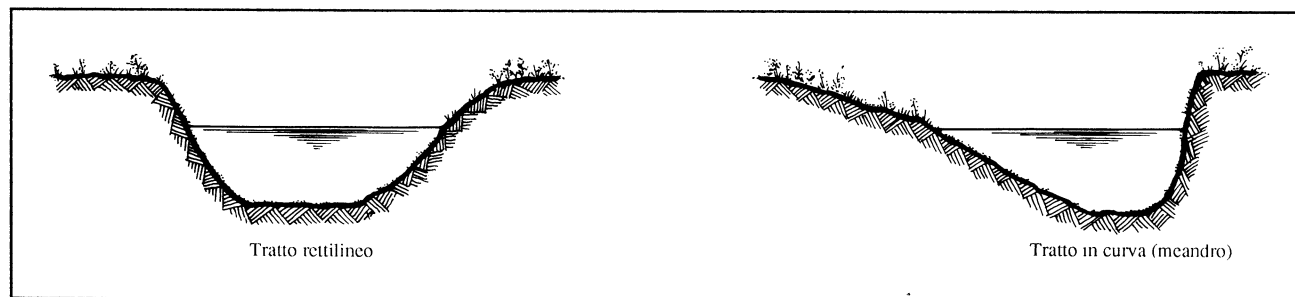


Fig. 3 - Variabilità morfologica di un alveo fluviale (Lachat, 1991 - modificata)

condizioni di vita per numerose specie vegetali ed animali, anche in relazione al fatto che le zone limitrofe, trasformate in aree agricole o urbane, non offrono più quel grado di naturalità necessario alla sopravvivenza di molti organismi.

Alterazioni qualitative (inquinamento) e morfologiche (canalizzazioni, briglie, ecc.) dei corsi d'acqua costituiscono, di conseguenza, un grave pericolo per molte specie divenute ormai rare, in quanto in essi vi trovano gli ultimi rifugi.

### La fauna

Il corso d'acqua naturale costituisce un insieme di habitat unici per una fauna estremamente ricca e varia, sia acquatica che terrestre. Le forme viventi occupano le diverse nicchie ecologiche ed interagiscono tra loro secondo complessi rapporti trofici.

Gli invertebrati (protozoi, insetti, crostacei, aracnidi, molluschi, ecc.), che annoverano il maggior numero di specie, occupano importanti anelli nella catena alimentare.

Anche i pesci, come altri organismi, richiedono condizioni di vita ben precise e, a tal proposito, l'ecologia fluviale individua tre grandi associazioni idrobiologiche: il crenon (tratto iniziale), il rhithron (tratto intermedio) ed il potamon (tratto finale), le quali possono anche essere individuate in funzione della presenza di una ben determinata fauna ittica; i tratti fluviali possono essere, pertanto, suddivisi nelle seguenti fasce ("zone di Huet"): zona a trote, zona a temoli, zona a barbi e zona a carpe (Fig. 4).

Un ruolo ecologico non trascurabile viene svolto dai mammiferi, tra i quali si possono elencare: il toporagno d'acqua (*Neomys fodiens*), l'arvicola terrestre (*Arvicola terrestris*), il tasso (*Meles meles*) ed alcune specie di pipistrelli che vivono negli ormai rari relitti boscati; quanto alla lontra (*Lutra lutra*), superbo animale, simbolo della ricchezza dei corsi d'acqua nei paesi anglosassoni, è purtroppo in forte diminuzione ovunque ed è scomparsa da moltissimi fiumi e torrenti italiani.

Ma gli animali più appariscenti e più studiati sono senz'altro gli uccelli che contribuiscono ad abbellire il corso d'acqua e vi svolgono un ruolo ecologico fondamentale, utilizzando il fiume come terreno di caccia o di pesca, come corridoio di spostamento tra i diversi luoghi naturali o, ancora, come rifugio nelle cavità degli ormai rari vecchi alberi. Gli aironi cenerini (*Ardea cinerea*) e i martin pescatori (*Alcedo atthis*) sono specializzati nella cattura dei pesci; il merlo acquaiolo (*Cinclus cinclus*) insegue sott'acqua gli invertebrati; le

ballerine gialle (*Motacilla cinerea*) si trovano sulle rive dove si nutrono e nidificano; la gallinella d'acqua (*Gallinula chloropus*), il tuffetto (*Podiceps ruficollis*) ed il germano reale (*Anas platyrhynchos*) sono tipici rappresentanti delle acque caratterizzate da una corrente lenta.

Anche i rettili come il biacco (*Coluber viridiflavus*) e la biscia dal collare (*Natrix natrix*), nonché gli anfibi come, ad esempio, il rospo comune (*Bufo bufo*), la rana verde (*Rana esculenta*) ed il tritone (*Triturus vulgaris*) sono legati agli habitat dei fiumi e delle zone umide.

Gli organismi acquatici possono essere anche distinti in funzione dei loro diversi gradi di mobilità, individuando, così, le seguenti categorie:

- a - *necton* (pesci): nuota liberamente e può risalire la corrente;
- b - *plancton* (piccoli crostacei): nuota o galleggia, ma è incapace di resistere alla corrente;
- c - *neuston* (insetti): vive sulla superficie dell'acqua;
- d - *benthos* (vermi): colonizza il fondo;
- e - *periphyton* (molluschi): vive sulle piante acquatiche.

I corsi d'acqua offrono, quindi, una straordinaria diversità biologica e la varietà di animali che essi ospitano (mammiferi, uccelli, rettili, anfibi, pesci ed invertebrati) risulta a volte più elevata rispetto ad altri ambienti altrettanto preziosi come i prati o i boschi; ciò è sufficiente a giustificare la tutela ed il rispetto di fiumi, torrenti e zone umide in senso lato.

Purtroppo gli interventi umani semplificano sempre più questi ambienti, riducendo nel contempo la composizione faunistica, che tende ad impoverirsi fino al punto di scomparire completamente, come già verificatosi in diverse ampie zone.

### La flora

In relazione alle condizioni morfologiche, alla quota e soprattutto al regime idraulico dei corsi d'acqua, la vegetazione fluviale si distribuisce in associazioni e serie dinamiche nel tempo e nello spazio.

Nel letto del fiume le alghe unicellulari o filamentose (microfite) svolgono un importante lavoro di fitodepurazione ad eccezione, talvolta, dei punti molto ombreggiati.

Le briofite (muschi) colonizzano, spesso le superfici a contatto con l'acqua.

Le piante erbacee superiori raramente sono in grado di vivere nelle acque correnti più o meno rapide, ma alcune eccezioni sono rappresentate, ad esempio, da: *Callitriche*, *Myriophyllum* e *Ranunculus*; fossi, canali

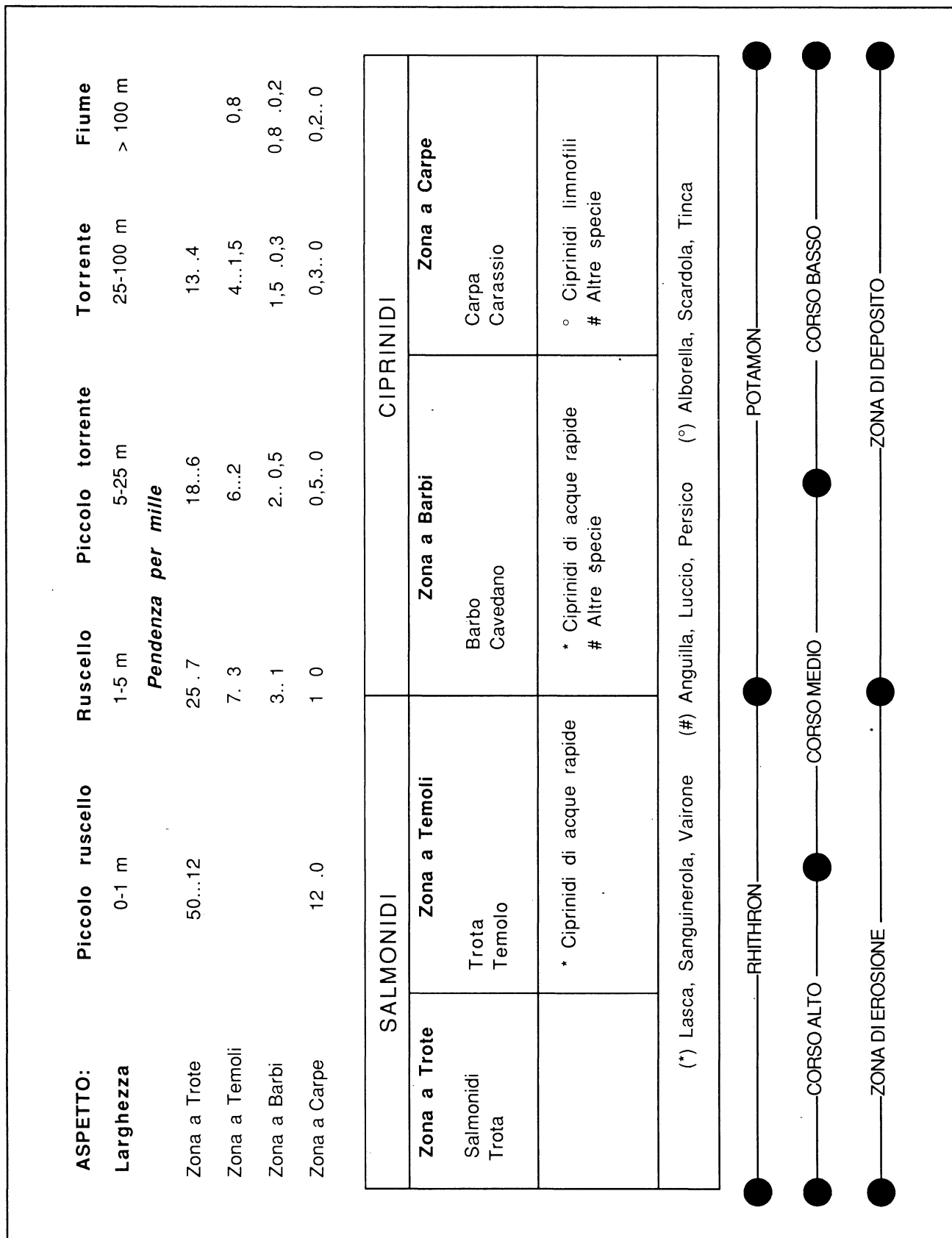


Fig. 4 - Zonazione longitudinale dei corsi d'acqua in funzione della composizione della fauna ittica (Lachat, 1991 - modificata)

e fiumi a corrente lenta sono più adatti, invece, allo sviluppo di altri vegetali acquatici quali le idrofite (*Elodea, Glyceria, Nymphaea, Nuphar* e *Potamogeton*).

Le elofite o vegetali semiacquatici, tipici delle rive (*Carex, Petasites, Phragmites, Schoenoplectus* e *Typha*) per difendersi dalla forza della corrente hanno sviluppato sistemi radicali molto efficaci.

Gli arbusti, soprattutto appartenenti al genere *Salix*, si insediano successivamente, mentre gli alberi occupano aree ancora più distanti dall'alveo di magra: tipiche cenosi forestali sono i boschi ripariali di ontano nero (*Alnus glutinosa*) e di pioppo bianco (*Populus alba*); spesso in tali ambiti si insediano anche specie esotiche o naturalizzate quali: la robinia (*Robinia pseudoacacia*), l'ailanto (*Ailanthus altissima*) e l'indaco (*Amorpha fruticosa*).

Le specie vegetali che colonizzano le zone inondabili vengono periodicamente selezionate dalle piene in quanto sono soggette ad alcuni fenomeni fisici limitanti quali:

- a - l'effetto meccanico della trazione;
- b - la sommersione ed il relativo prolungato ristagno idrico nel suolo;
- c - l'apporto di materiali organici e minerali (limi, ecc.);
- d - le variazioni del livello della falda acquifera (Fig. 5).

La vegetazione riparia, oltre a costituire un ambiente naturale di fondamentale importanza per la sopravvivenza di numerose specie animali legate all'ecosistema fluviale, è in grado di ridurre i carichi inquinanti (nitriti e fosfati) provenienti dalle aree agricole limitrofe.

Da trent'anni, le regimazioni dei corsi d'acqua (sbarramenti idroelettrici, rettificazioni, cementificazioni, ecc.) e lo stato di generale inquinamento in cui versa la grande maggioranza di essi, hanno modificato in maniera considerevole la compagine vegetale presente lungo le rive.

In Alsazia, ad esempio, la vegetazione riparia del fiume Reno è cambiata molto, mentre quella dell'Ill, un vicino torrente, in confronto, ha subito poche trasformazioni.

In Italia, come in altri paesi europei, le zone alluvionali sono state spesso oggetto di intensi interventi antropici ed accurati studi hanno potuto evidenziare che, in rapporto a rilievi effettuati meno di vent'anni fa, la composizione floristica delle associazioni vegetali attualmente presenti rivela la scomparsa di numerosissime specie.

Con le opere di bonifica, di rettificazione e di canalizzazione si sono convertite aree naturali di espansione dei fiumi in aree agricole, come pure le golene che, ricche di un'interessantissima vegetazione, sono state trasformate in pioppeti "industriali", i quali sono da considerare delle colture agrarie a tutti gli effetti, in quanto hanno una composizione monospecifica e sedi di impianto regolari e sono soggetti a periodiche lavorazioni del terreno, a trattamenti antiparassitari, a turni brevi, ecc.

Inoltre, l'aumento quantitativo degli agenti inquinanti di origine chimica ed organica e la relativa massiccia presenza di batteri, che riducono il tenore di ossigeno disciolto, hanno determinato un ulteriore impoverimento delle cenosi.

In sintesi, si può affermare che l'azione antropica ha portato verso una consistente semplificazione ed alterazione della vegetazione idrofita e riparia di molti corsi d'acqua.

#### A.4 IL FIUME COME INSIEME DI VALORI AMBIENTALI E SOCIALI

Oltre alle peculiarità fisiche e biologiche illustrate sinteticamente in precedenza, i corsi d'acqua hanno avuto nei secoli e rivestono tuttora una notevole importanza sociale, in quanto costituiscono un elemento di aggregazione e di comunicazione sede di rilevanti funzioni: produttiva, turistico-ricreativa, ecc.

##### Aspetti estetico-paesaggistici dell'ambiente fluviale

Profondamente inserito nel paesaggio, il fiume ne costituisce parte integrante: è quello che, scorrendo in fondo ad una vallata o tra i paesi conferisce un'atmosfera particolare ad un'intera regione; i giochi di luce sulla sua superficie, i suoni, le linee che esso disegna hanno segnato lo spirito umano in ogni tempo.

Nelle misure gestionali bisogna attentamente valutare quindi l'aspetto paesaggistico cercando di conservarlo il più naturale possibile, attraverso corretti interventi di manutenzione e di sistemazione: una semplificazione verso l'uniformità riduce drasticamente il numero delle forme viventi e banalizza il paesaggio.

E' ormai riconosciuto dalla società moderna il valore del bene "natura": la qualità della vita dipende anche e soprattutto da un ambiente pulito e diversificato.

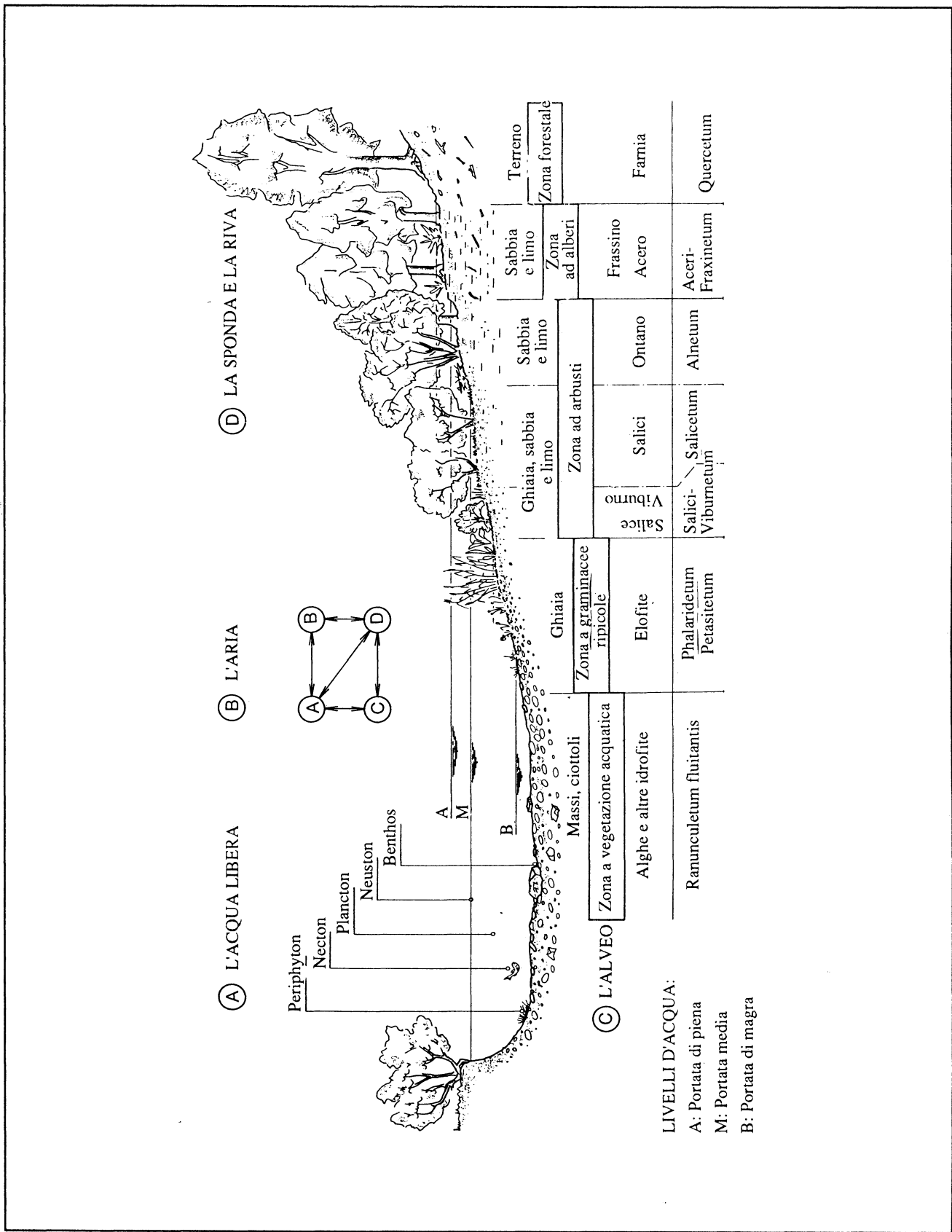


Fig. 5 - Distribuzione della vegetazione e della fauna ittica in un corso d'acqua (sezione trasversale) (Lachat, 1991)

### Attività ricreative e sportive

I fiumi consentono lo svolgimento di attività legate al tempo libero ed allo sport: escursioni, pesca, canoa, bird-watching, ecc.

Nel contempo le attività del tempo libero (motonautica, motocross, ecc.), sempre più numerose ed incontrollate, possono anche nuocere alla vita stessa dei fiumi.

E' auspicabile che, in un prossimo futuro, in certi ambiti fluviali di particolare pregio naturalistico, si applichino norme e regolamenti più rigidi che ne garantiscano maggiormente il delicato equilibrio ambientale; sarà anche opportuno cercare di conservare tratti di fiume nei quali l'impatto umano sia ridotto al minimo: in diversi paesi europei si stanno elaborando nuove strategie di gestione territoriale in linea con i concetti sopra sinteticamente illustrati.

### Attività estrattive

Attraverso un continuo trasporto di materiali, i corsi d'acqua assolvono ad un ruolo fondamentale di modellamento della superficie terrestre e di ripascimento delle coste.

L'eccessivo prelievo di materiali litoidi da parte dell'uomo può modificare considerevolmente i parametri idraulici e biologici dei corsi d'acqua: erosione delle sponde, variazione del livello della falda, riduzione del trasporto solido a valle, alterazione delle zone di frega e degli habitat dei pesci, ecc.

La pianificazione dell'attività estrattiva deve, quindi, tenere presente gli impatti ambientali da essa derivanti e prevedere l'adozione di accorgimenti tecnici in grado di mitigarli.

### Attività produttive ed insediative

L'uomo ha spesso considerato l'ambito fluviale come uno spazio da "colonizzare" anche a fini produttivi ed insediativi, ma, recentemente, si è assistito ad un notevole incremento della pressione antropica sui corsi d'acqua (aree urbane, industriali, agricole).

E' auspicabile che, in un prossimo futuro, almeno le zone soggette a coltura agraria (pioppeti, frutteti, ecc.) ricadenti all'interno degli ambiti fluviali, anche in considerazione delle nuove politiche agricole comunitarie, possano essere rinaturalizzate e restituite al sistema fiume.

Sono, infine, da ricordare le pesanti modificazioni morfologiche e biologiche subite dai corsi d'acqua per la realizzazione di altre opere quali: dighe, infrastrutture viarie e ferroviarie, porti, ecc.

### Regimazioni idrauliche e gestione delle risorse idriche

L'uomo, nel corso dei secoli, ha sempre cercato di sottrarre spazio ai fiumi per ottenere terre coltivabili o edificabili, attraverso la realizzazione di opere idrauliche con un conseguente impatto ambientale sempre più elevato.

In linea di massima, le motivazioni che stanno alla base della maggior parte degli interventi di regimazione idraulica vertono principalmente su due ordini di problemi: la riduzione dei rischi di inondazione e la riduzione dell'erosione dell'alveo e delle sponde.

Le cause che determinano le piene e le erosioni devono essere attentamente analizzate al fine di poter adottare un'efficace strategia di azione con misure attive, passive o miste (Fig. 6).

Studiati da molto tempo da parte degli ingegneri, i corsi d'acqua sono sempre stati assimilati a canali nei quali scorre un liquido, mentre i parametri biologici sono stati indagati assai raramente, anche in relazione al fatto che sono difficilmente trasferibili e riducibili a modelli ed a formule matematiche.

Una delle classiche equazioni di deflusso utilizzate dagli ingegneri per dimensionare un corso d'acqua è la seguente (*Manning - Strickler*):

$$Q = K S R^a I^b$$

dove:

$Q$  rappresenta la portata che scorre attraverso una sezione ( $S$ ) la quale dipende, come il raggio idraulico ( $R$ ), dai seguenti parametri: profondità dell'acqua, pendenza delle sponde e larghezza dell'alveo;  $K$  rappresenta un empirico coefficiente di scabrezza che esprime la natura dell'alveo, delle sponde e degli eventuali ostacoli presenti, mentre  $I$  rappresenta la pendenza del corso d'acqua.

Da ciò deriva che, più elevati sono questi parametri, maggiore è la portata che può transitare e, quindi, diventano rilevanti le seguenti caratteristiche morfologiche:

- a - le superfici lisce, che aumentano il valore di  $K$ ;
- b - il profilo trapezoidale, che conferisce a  $S$  ed a  $R$  valori ideali, in quanto si ottiene così una sezione che consente il passaggio della portata massima;
- c - la riduzione della lunghezza del corso d'acqua, mediante tratti rettilinei, che aumentano il valore della pendenza ( $I$ ).

Per ottenere le tre condizioni precedenti, bisogna operare interventi di elevato costo e di notevole impatto ambientale. Nonostante il nuovo dimensionamento

del corso d'acqua in esso possono formarsi, però, accumuli di materiale alluvionale e la vegetazione può insediarsi all'interno dell'alveo, riducendo così i parametri determinati in fase progettuale, infatti:

- a - il coefficiente di scabrezza ( $K$ ) diminuisce per la presenza di ostacoli quali la vegetazione o altro, con conseguente rallentamento del deflusso idrico;
- b - la sezione ( $S$ ) diminuisce allo stesso modo, a causa dell'ingombro da parte della vegetazione, dei manufatti o dei materiali ghiaiosi depositatisi.

I corsi d'acqua così regimati sono, dunque, in uno stato di costante e forzata instabilità che può richiedere l'ulteriore costruzione di opere di difesa longitudinali e trasversali.

Talvolta si è cercato addirittura di modificare il tracciato originario dei fiumi, rettificandoli ed eliminando il più possibile i meandri e le lanche: è stato dimostrato che in tali situazioni il corso d'acqua tende

a ricercare un nuovo equilibrio e, pertanto, in base alla natura dell'alveo, al nuovo profilo, alle rettifiche ed alle regimazioni idrauliche, in alcuni casi si sono verificati i seguenti fenomeni:

- a - l'aumento artificiale delle pendenze determina una maggiore capacità di trasporto di materiale, rispetto al tratto superiore non rettificato (Fig. 7). Questo squilibrio è compensato da una progressiva erosione del letto, proprio a monte della correzione (A'). A valle del tratto in esame (A-B), quindi, si verifica un maggiore apporto di materiale, ma la minore pendenza non ne consente l'ulteriore trasporto (B'). In conclusione, la rettifica può causare a monte una destabilizzazione dell'alveo e delle sponde, legata all'approfondimento del fondo, mentre a valle si può registrare un eccessivo accumulo di materiale ed un conseguente aumento del rischio di inondazione;

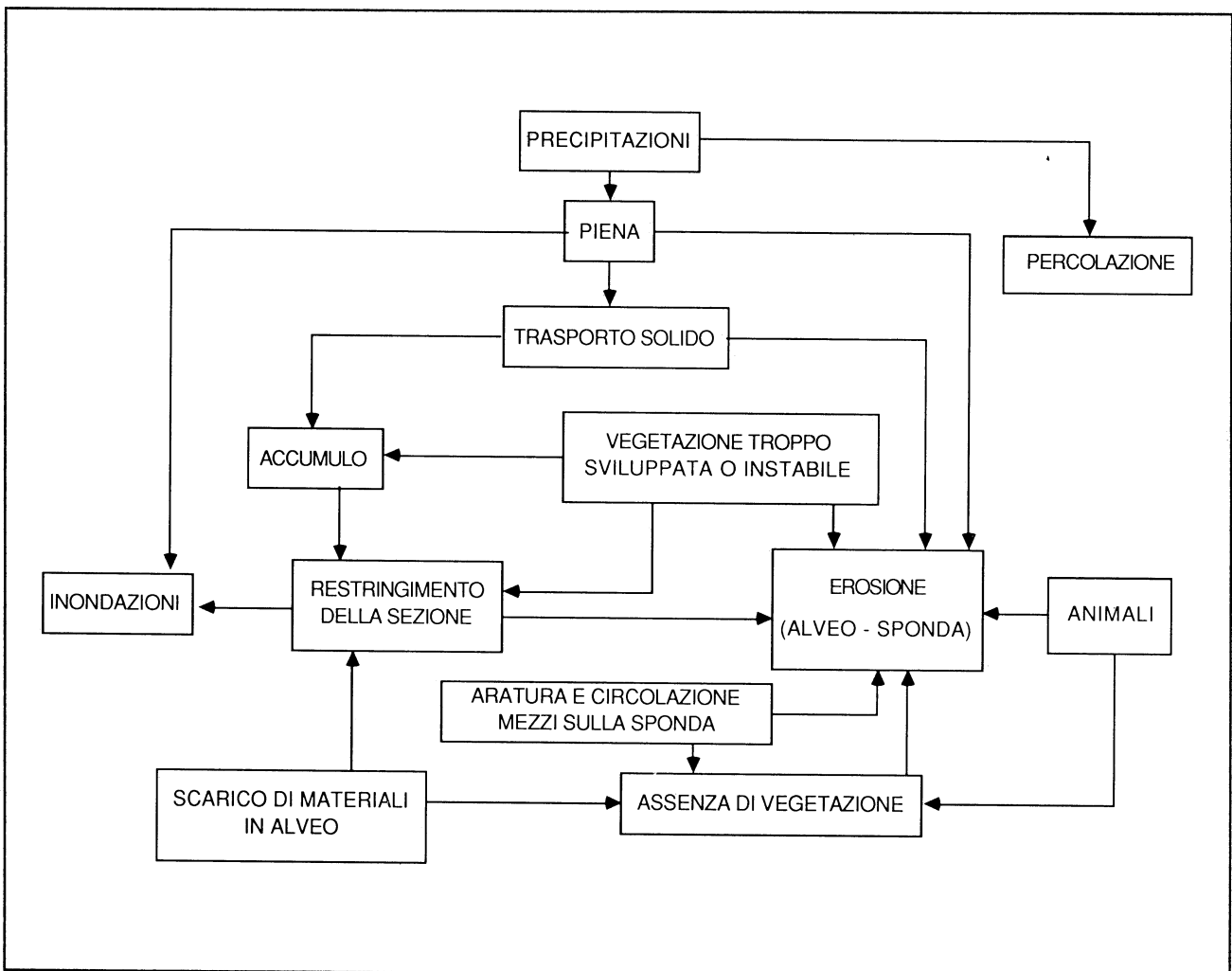


Fig. 6 - Principali cause di inondazione e di erosione nei corsi d'acqua (Lachat, 1991 - modificata)

- b - il profilo trapezoidale troppo regolare non soddisfa le esigenze ecologiche in quanto, in fase di magra, il livello dell'acqua è spesso insufficiente per la fauna ittica presente;
- c - sul tratto rettificato la velocità è superiore e può limitare le possibilità di vita della fauna e della vegetazione acquatica; inoltre, la forza di trascinamento dei materiali è più elevata e la velocità dell'acqua in movimento può provocare danni a valle, obbligando a realizzare ulteriori opere di difesa spondale;
- d - il corso d'acqua ha una tendenza naturale a ritrovare la sua antica pendenza, attraverso l'erosione e la ricostituzione di nuovi meandri;
- e - un abbassamento del letto nella costituzione di un nuovo profilo o nella rettificazione può provocare fenomeni di erosione che modificano l'ambiente naturale circostante e possono abbassare i livelli della falda freatica.

Gli effetti delle modifiche della morfologia dell'alveo sulle biocenosi ed in particolare sulla fauna ittica sono stati abbondantemente descritti in parecchi studi e si possono così sintetizzare: perdita di habitat, aumento della torbidità e della temperatura dell'acqua, diminuzione della capacità trofica e della biomassa, riduzione della biodiversità.

La diversificazione ambientale è il presupposto

fondamentale per una ricca presenza di specie animali e vegetali in qualsiasi ambiente: acque più o meno profonde, rami e ceppaie affioranti o sommersi, vegetazione acquatica, fondo a diversa granulometria creano le condizioni ottimali per l'alimentazione, il rifugio e la riproduzione delle diverse specie (Fig. 8).

Alcuni studi hanno anche quantificato le conseguenze della riduzione dei microambienti fluviali: nei corsi d'acqua con sponde ricche di vegetazione è stata censita una fauna ittica dieci volte superiore a quella presente in tratti con sponde in calcestruzzo.

Lo stesso dicasi per i canali di irrigazione che, pur essendo di origine artificiale, hanno discrete potenzialità di miglioramento in termini di qualità ambientale sia per la vegetazione che per la fauna; ciò è possibile, ad esempio, realizzando nuovi meandri, creando piccole anse, diversificando le pendenze delle sponde e dell'alveo, variando le profondità del fondo, ecc.

Un impatto ancora più pesante si è registrato laddove, al fine di acquisire nuovi spazi per l'agricoltura o per l'urbanizzazione, si è addirittura proceduto ad intubare piccoli e grandi ruscelli con la conseguente drastica riduzione di micro e macroambienti naturali.

La presenza di un ruscello sinuoso, con un'interessante vegetazione ripariale, può anche complicare in parte la ricomposizione fondiaria o la coltivazione dei terreni limitrofi, ma ciò non giustifica l'eliminazione di questi biotopi naturali che svolgono utili funzioni per la

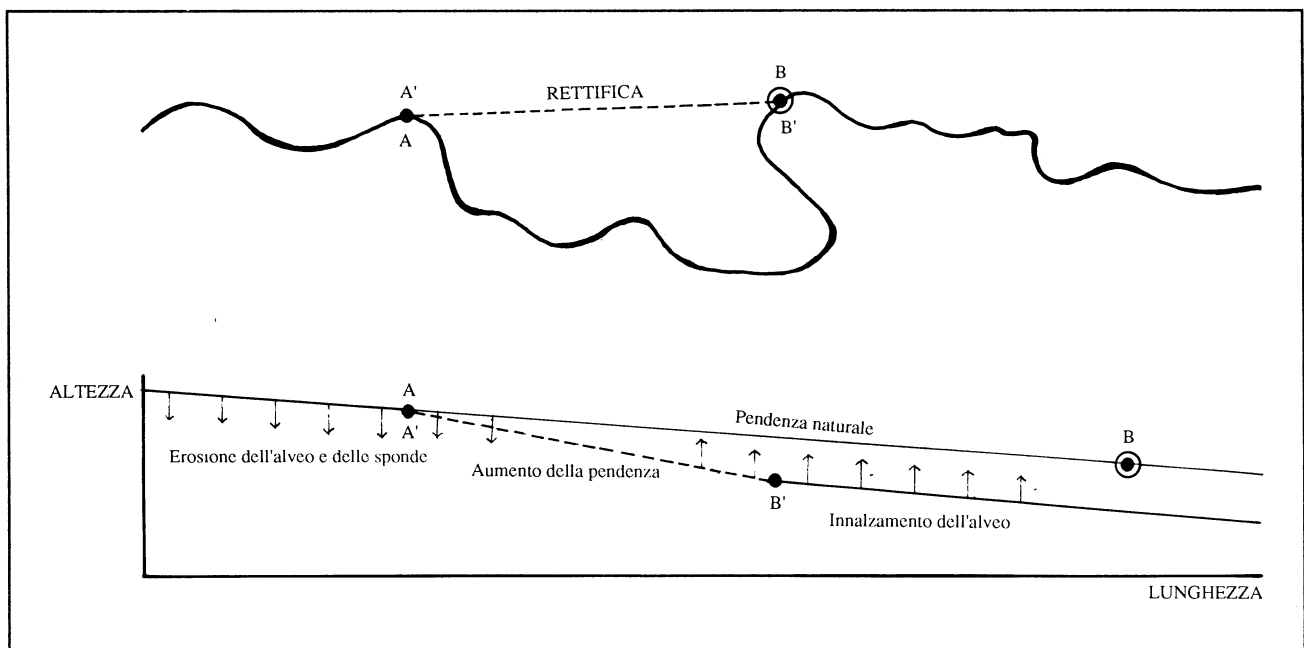


Fig. 7 - Conseguenze morfologiche della rettifica del tracciato di un corso d'acqua (Lachat, 1991 - modificata)

collettività ed hanno spesso un ruolo benefico anche per la stessa agricoltura.

Una corretta gestione integrata degli ambiti fluviali presuppone, quindi, che si rinunci sistematicamente alle intubazioni, tranne in casi eccezionali, mentre, nel limite del possibile, dovrebbero essere progettati interventi volti al ripristino dei corsi d'acqua precedentemente tombinati, come si sta facendo già da alcuni anni in molti paesi europei.

Infine, va ricordato che le opere di sistemazione idraulica, le derivazioni e le dighe costituiscono spesso un ostacolo insormontabile per la fauna ittica in quanto suddividono il corso d'acqua in tratti isolati fra loro; ove possibile, andrebbe, pertanto, prevista anche la realizzazione di idonee rampe o scale di risalita per i pesci.

Per quanto concerne l'utilizzo delle risorse idriche un grave problema, tuttora insoluto, è quello degli eccessivi prelievi di ingenti quantità d'acqua resi possibili, ad esempio, dai grandi sbarramenti o dalle derivazioni idriche, per svariati usi (agricoli, artigianali, industriali o domestici), in quanto le portate di restituzione, chiamate anche residuali, non consentono il mantenimento di un sufficiente equilibrio ecologico del corso d'acqua.

Una gestione delle risorse idriche più attenta agli effetti sull'ambiente può evitare impatti troppo negativi attraverso l'adozione di alcuni accorgimenti e precauzioni: una variazione dei prelievi a seconda delle stagioni, una politica delle concessioni che tenga conto della loro compatibilità ambientale, una "gestione" delle piene, il rilascio di una portata minima vitale per l'intero ecosistema, l'esecuzione dei lavori idraulici in periodi idonei in funzione delle esigenze trofiche e riproduttive dell'ittiofauna, contribuirebbero senz'altro ad una migliore conservazione e ad una maggiore protezione dei corsi d'acqua.

La determinazione del deflusso minimo vitale da rilasciare in un fiume per consentire il mantenimento di un certo equilibrio ambientale è un problema di notevole importanza e, a tal fine, sono stati elaborati diversi metodi per una sua quantificazione: tra questi si ricorda quello elaborato in Austria che si basa, in particolare, sull'analisi del benthos presente nel corso d'acqua, ma anche su altri parametri fisico-chimici quali la morfologia dell'alveo, la granulometria dei sedimenti, ecc.

Infine, vanno sottolineate anche le conseguenze provocate dallo svuotamento dei bacini idroelettrici in quanto, spesso, con tali operazioni, si viene a determi-

nare, per diversi chilometri dell'asta fluviale, la totale scomparsa di vari organismi viventi.

Oltre ai sopracitati problemi di utilizzo e prelievo di ingenti quantità d'acqua dai fiumi vanno sottolineati quelli connessi alla qualità della medesima, in relazione al suo impiego ed al successivo rilascio nell'ambiente.

La mentalità di liberarsi dei rifiuti sfruttando la capacità di trasporto dei fiumi è, sfortunatamente, ben radicata e difficile da modificare, cosicché i corsi d'acqua ricevono ancora troppi rifiuti solidi e liquidi di ogni genere e di varia origine (industriale, agricola, urbana).

La raccolta delle acque inquinate in bacini di decantazione o in canali filtranti può, ad esempio, aiutare considerevolmente i tratti urbani o periurbani dei fiumi a ritrovare una soddisfacente qualità biologica.

Infatti, sono stati sperimentati diversi sistemi di depurazione delle acque inquinate con metodi biologici utilizzando, in particolare, determinate specie vegetali (fitodepurazione).

Con tali tecniche si è riusciti a ridurre sia il carico inquinante di natura organica, sia quello chimico, in quanto alcune specie vegetali acquatiche (giacinto d'acqua, tifa, lenticchia d'acqua, ecc.) sono particolarmente attive nell'assimilare la sostanza organica presente in eccesso o nell'accumulare i metalli pesanti nei propri tessuti.

Anche le piante acquatiche o di ripa presenti lungo i corsi d'acqua svolgono un'importante funzione di filtraggio e di assorbimento delle sostanze inquinanti trasportate: si è potuto notare, infatti, che nei tratti di fiume o di canale ricchi di vegetazione si verifica un maggiore abbattimento del carico inquinante.

A conclusione di quanto sopra esposto, va comunque sottolineato il fatto che la capacità di autodepurazione dei fiumi, per quanto rivesta un ruolo importante nella mitigazione degli impatti ambientali legati all'inquinamento, non è certamente illimitata e, quindi, le immissioni di sostanze organiche o chimiche di origine urbana, industriale e rurale devono essere assolutamente regolamentate da norme rigide la cui applicazione sia verificata con controlli qualitativi seri, severi e sistematici di tutti gli scarichi e, nel contempo, è opportuno promuovere un'efficace ed oculata gestione della risorsa acqua anche attraverso un'adeguata protezione delle aree di captazione (sorgenti, fontanili, pozzi, ecc.).

L'installazione di funzionali impianti di depurazione, la riduzione dell'uso di certe sostanze chimiche ed

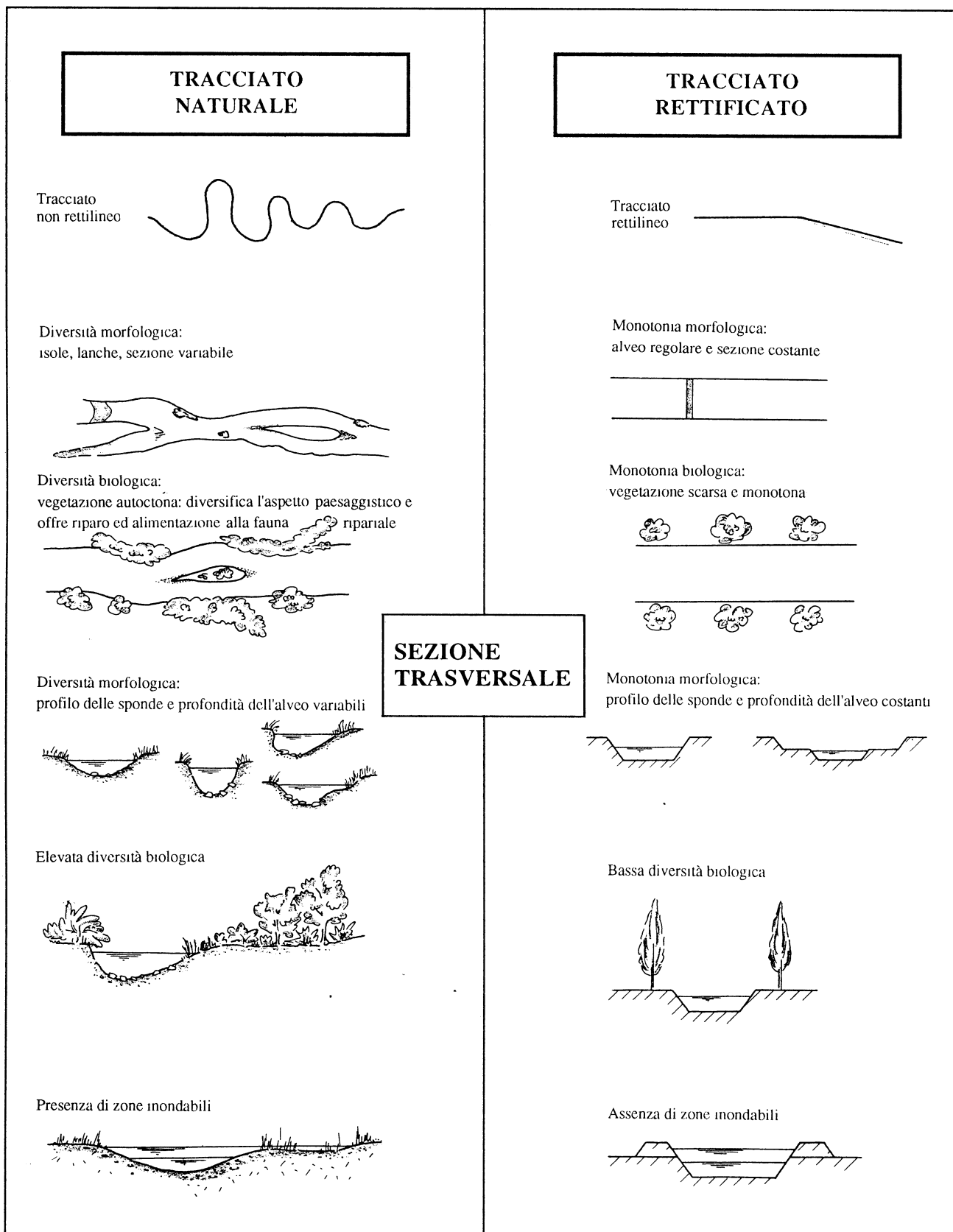


Fig. 8 - Differenze morfologiche tra corsi d'acqua naturali e regimati artificialmente (Lachat, 1991 - modificata)

## PROFILO LONGITUDINALE

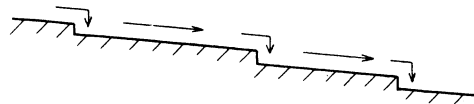
Diversità morfologica:  
la variabilità nelle pendenze del fondo dell'alveo  
determina la presenza di zone a corrente rapida (facies  
lotica) e di zone a corrente lenta (facies lentica)



Diversità morfologica:  
un profilo longitudinale diversificato favorisce un  
mescolamento degli strati di acqua con diverso  
contenuto di ossigeno



Monotonia morfologica:  
la regolarità nelle pendenze del fondo dell'alveo determina  
una costanza nella velocità della corrente



Monotonia morfologica:  
un profilo longitudinale regolare non favorisce un  
mescolamento degli strati di acqua con diverso  
contenuto di ossigeno



*Fig. 8 - Differenze morfologiche tra corsi d'acqua naturali e regimati artificialmente  
(Lachat, 1991 - modificata)*

un corretto smaltimento dei rifiuti sono, altresì, fondamentali per una più moderna e razionale gestione delle risorse idriche.

In definitiva, si può ritenere che le opere idrauliche in senso lato sono spesso necessarie per motivi di sicurezza, ma debbono essere rese il più possibile compatibili con le esigenze di salvaguardia ambientale.

E' opportuno, quindi, far precedere la fase della progettazione degli interventi da una corretta pianifica-

zione basata su studi a carattere interdisciplinare e, a tal fine, vanno ricordati i numerosi progetti-pilota in atto in molti paesi europei come, ad esempio, il vasto programma di ricerca, progettazione, sperimentazione e monitoraggio che la Germania ha avviato da alcuni anni con il preciso scopo di approfondire le tematiche della compatibilità ambientale e del miglioramento qualitativo degli interventi antropici in ambito fluviale in un'ottica di diversificazione e non di sterile semplificazione e generale banalizzazione (Figg. 9-10-11).

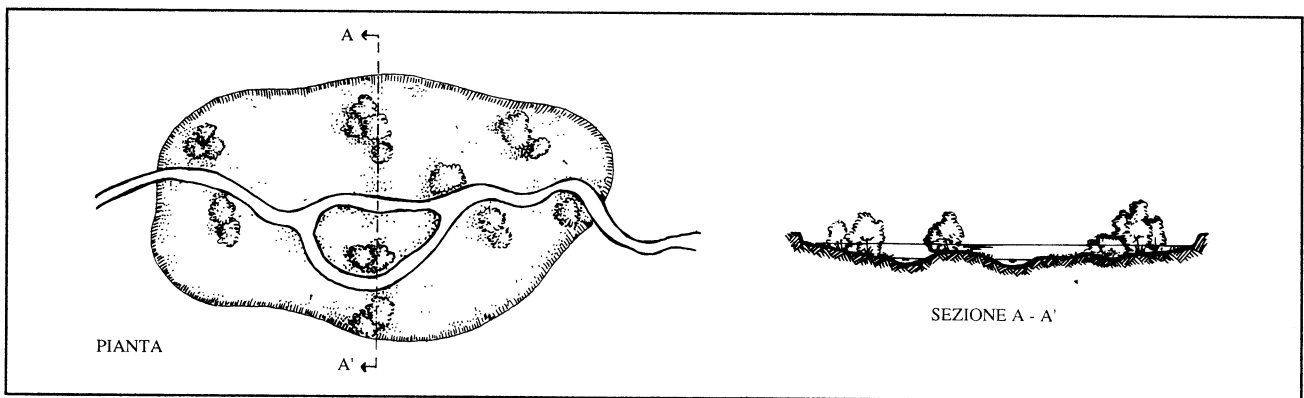


Fig. 9 - Mantenimento o creazione di zone inondabili (casse di espansione) (Lachat, 1991 - modificata)

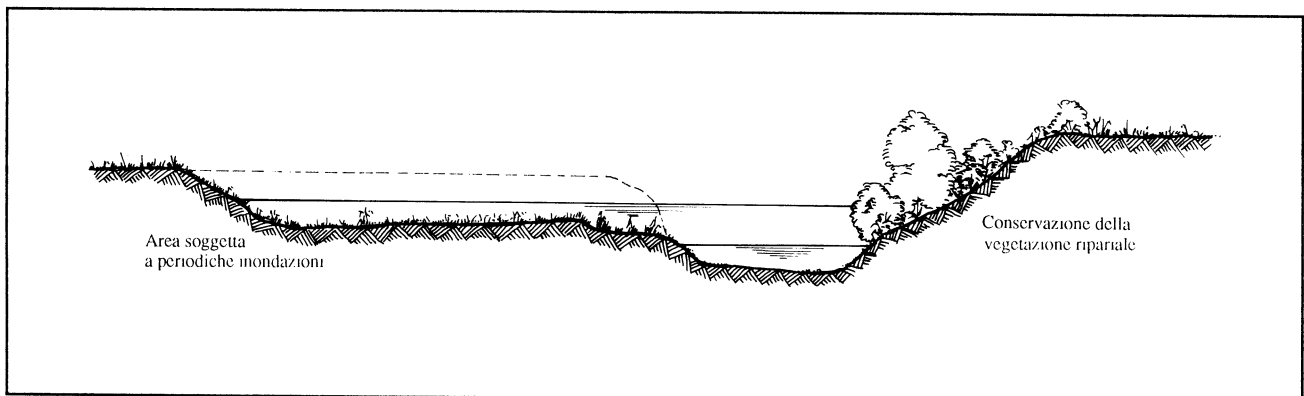


Fig. 10 - Mantenimento di zone inondabili (terreni coltivati a prato o incolti) (Lachat, 1991 - modificata)

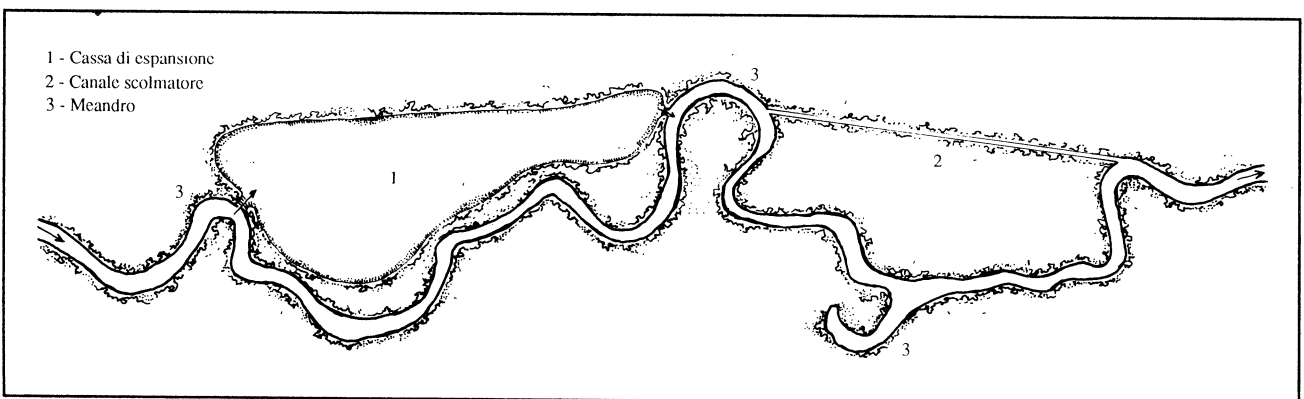


Fig. 11 - Attenuazione delle piene tramite casse di espansione o scolmatori (Lachat, 1991 - modificata)

## A.5 BIOMONITORAGGIO AMBIENTALE

Ogni ecosistema è regolato da una complessa serie di fattori biotici ed abiotici e dalle loro interrelazioni e, quindi, la determinazione della qualità ambientale dipende da una approfondita analisi di diversi parametri.

In alcuni paesi europei si è studiato il modo di verificare, attraverso lo studio delle comunità di organismi viventi, se un corso d'acqua è in buone condizioni dal punto di vista biologico, fisico e chimico.

Alcune categorie di esseri viventi chiamati bioindicatori, infatti, reagendo alle modificazioni del loro ambiente in relazione alla loro valenza ecologica, sono in grado di fornire ottime informazioni complementari alle analisi chimiche tradizionali.

Queste ultime, benché teoricamente più precise, sono significative solamente in relazione al momento ed al luogo esatto in cui vengono svolte, mentre quelle basate sui bioindicatori possono fornire un quadro più completo del sistema fiume in quanto questi organismi viventi risentono anche delle condizioni fisico-chimiche precedenti al rilievo.

Diversi sono i tipi di bioindicatori da tempo studiati ed applicati dagli esperti del settore:

- a - protozoi (animali unicellulari);
- b - diatomee (alghe unicellulari);
- c - briofite (muschi);
- d - macroinvertebrati (insetti, molluschi, crostacei, ecc.);
- e - pesci.

Anche se i macroinvertebrati rappresentano gli indicatori biologici più conosciuti, tutti gli organismi sopraccitati permettono di evidenziare le tre principali possibili cause di disturbo delle biocenosi acquatiche, derivanti dall'azione dell'uomo e che sono:

- a - modifiche artificiali della morfologia dell'alveo e delle sponde;
- b - variazioni artificiali del livello dell'acqua e delle portate;
- c - inquinamento chimico o organico.

In particolare, gli inquinanti agiscono come inibitori delle forme viventi, alterando l'equilibrio esistente tra le varie specie animali e vegetali: mentre quelle resistenti riescono a sopravvivere quelle più sensibili tendono a scomparire.

Per quanto concerne l'inquinamento di natura organica va ricordato che apporti di sostanze nutritive, in quantità minime e compatibili con la capacità di biodegradazione del fiume, provocano un effetto di eutrofizzazione che stimola le biocenosi, ma, se viene oltrepassata

la soglia di tolleranza, l'effetto è paragonabile a quello dell'inquinamento chimico con la conseguente semplificazione delle biocenosi (Fig. 12).

Il metodo biologico di monitoraggio della qualità ambientale dei corsi d'acqua più noto e diffuso è senz'altro l'Extended Biotic Index (E.B.I.) (modificato da *P. F. Ghetti, 1981*), con il quale, analizzando in dettaglio i macroinvertebrati bentonici presenti in un determinato tratto di fiume, in base al numero ed alla valenza ecologica delle specie censite, si ottiene un valore sintetico del grado di alterazione ambientale e, a volte, del tipo di inquinamento eventualmente presente.

Questo sistema di analisi si basa sul fatto che tali organismi sono molto sensibili anche a piccole alterazioni delle cenosi acquatiche e ciò si manifesta con una diminuzione del numero delle specie, soprattutto di quelle più sensibili, con il conseguente verificarsi di una riduzione della diversità biologica.

Il monitoraggio delle popolazioni e delle comunità di macroinvertebrati fornisce, attraverso un indice suddiviso in 5 classi di qualità (Fig. 13), delle informazioni che, opportunamente trasferite su di una base cartografica, consentono di ottenere una zonizzazione dell'asta fluviale in funzione del grado di alterazione esistente; al fine di individuare e quantificare gli agenti inquinanti è consigliata, comunque, l'effettuazione di alcune analisi fisico-chimiche e microbiologiche mirate, in modo da poter arricchire ed integrare i dati raccolti con l'E.B.I.

Va sottolineato, infine, il fatto che l'E.B.I., oltre a consentire di ottenere una significativa valutazione della qualità ambientale del fiume e non una mera analisi della qualità dell'acqua, è in grado di evidenziare gli effetti negativi sulle biocenosi causati da miscele di inquinanti di origine chimica che, in sinergia fra loro, possono determinare un'alterazione ambientale ancora più grave.

Un'ulteriore evoluzione nel campo del monitoraggio ambientale attraverso lo studio di bioindicatori è costituito dal Riparian Channel and Environmental Inventory (R.C.E.) (elaborato da *R. Petersen, 1987*).

Questo metodo, da affiancare alle indagini E.B.I., consiste nel valutare, attraverso apposite schede di rilevamento, 16 parametri relativi all'ecosistema fluviale: vegetazione ripariale ed acquatica, morfologia dell'alveo e delle rive, granulometria del fondo, presenza di ittiofauna, grado di ombreggiamento, ecc.

Tale sistema di analisi consente soprattutto di valutare sinteticamente, ma in maniera attendibile, il grado di naturalità dell'ambiente fluviale, attraverso lo studio

delle sue principali componenti biotiche ed abiotiche, sia acquatiche che ripariali.

Un altro metodo di monitoraggio della qualità ambientale dei corsi d'acqua attraverso bioindicatori è quello basato sull'analisi delle macrofite acquatiche (alghe, muschi, angiosperme); questo sistema, denominato Macrophyte Index Scheme (M.I.S.) è correlato alla resistenza ed alla sensibilità di alcune specie erbacee acquatiche agli agenti inquinanti, soprattutto di

natura organica, presenti nei fiumi.

In definitiva, le analisi con bioindicatori, sufficientemente semplici da effettuare, ma al tempo stesso attendibili e precise, ripetute con una certa regolarità, consentono di valutare le conseguenze dell'azione antropica nei fiumi a livello di inquinamento, di alterazione della morfologia dell'alveo e del regime idrico, nonché di seguirne l'evoluzione nel tempo.

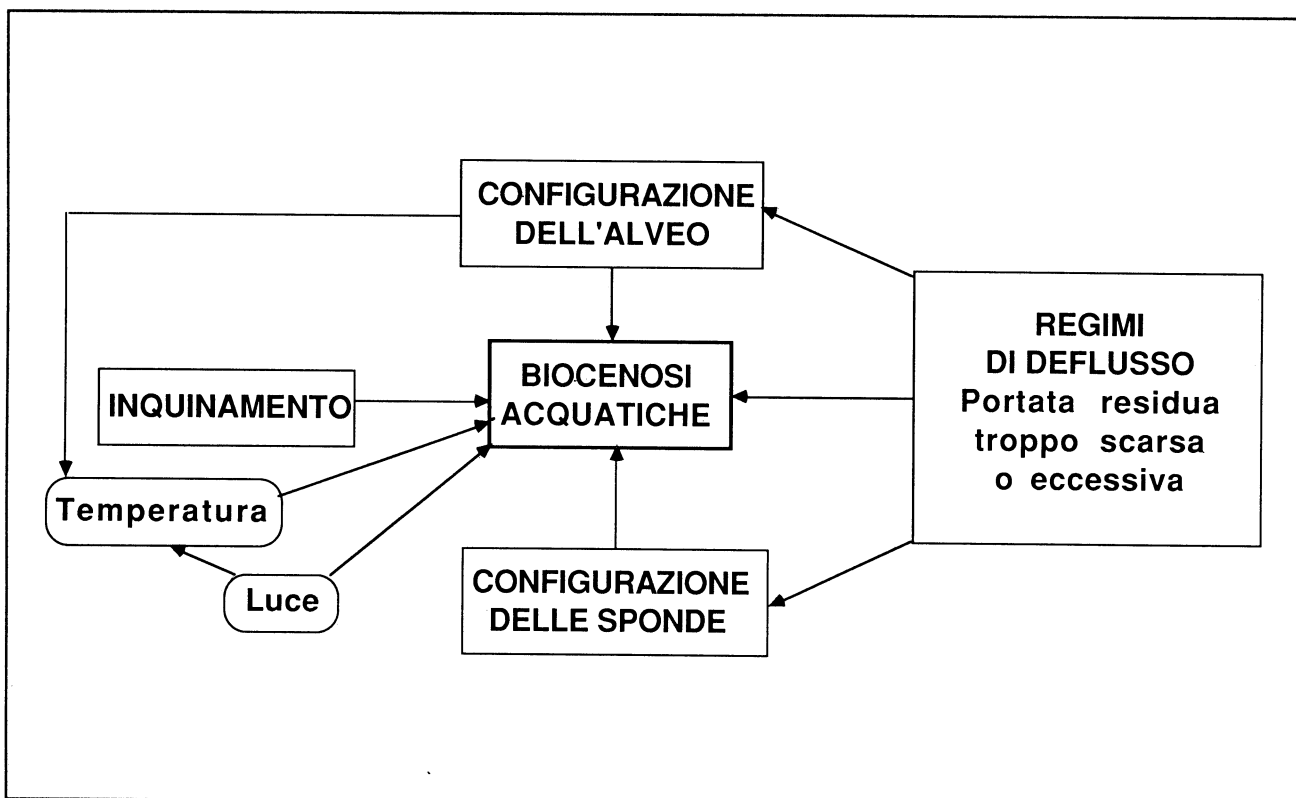


Fig. 12 - Correlazioni tra le diverse cause di disturbo antropico delle cenosi acquatiche (Lachat, 1991 - modificata)

CLASSI DI QUALITA'	VALORE E.B.I.	GIUDIZIO	COLORE DI RIFERIMENTO
Classe I	10-11-12	Ambiente non inquinato	azzurro
Classe II	8 - 9	Ambiente poco inquinato	verde
Classe III	6 - 7	Ambiente inquinato	giallo
Classe IV	4 - 5	Ambiente molto inquinato	arancione
Classe V	1 - 2 - 3	Ambiente fortemente inquinato	rosso

Fig. 13 - Classificazione dei valori E.B.I. con relativo giudizio di qualità ambientale (Ghetti, 1986)

# B.

## I VERSANTI

### B.1 CONCETTI GENERALI

Sia la realtà alpina che quella appenninica sono interessate da un elevato grado di instabilità geomorfologica anche se differenti possono essere le cause e le conseguenze.

L'uomo, insediandosi in questi territori, ha dovuto affrontare quotidianamente i problemi legati al dissesto idrogeologico (erosione, frane, trasporto solido, ecc.) ed è evidente che la tendenza all'urbanizzazione ed all'utilizzazione del territorio montano, più che in qualunque altra zona, ha dovuto rapportarsi con l'accentuato dinamismo che è insito in questi ambienti e che conferisce loro un certo fascino unito ad una latente pericolosità in una "facies" particolare ed unica.

I fenomeni di dinamicità del territorio si pongono spesso in contrasto con la presenza dell'uomo ed il loro controllo tende innanzitutto a ridurre complessivamente il problema dell'erosione e del trasporto solido e, in definitiva, al consolidamento delle aree instabili.

L'approccio alla questione della difesa del suolo in montagna non può più essere, però, quello di un tempo, pur essendo sempre evidente il contrasto tra la dimensione statica della presenza dell'uomo e la dimensione dinamica dell'ambiente che è in continua evoluzione; attualmente sono diverse le forme di questa contrapposizione perché è cambiata la presenza antropica, sia in termini qualitativi che quantitativi.

In particolare, l'abbandono della montagna, con i fenomeni di migrazione e la conseguente riduzione delle attività agro-pastorali, rende oggi impossibile quella capillare serie di microinterventi sul territorio che gli stessi abitanti si prodigavano a realizzare per difendere le proprie attività e, di conseguenza, se stessi.

Accanto a questi, inoltre, furono spesso realizzati imponenti lavori di consolidamento del suolo basati su sistemi integrati di drenaggi, opere in legname e pietra-me, viminate, cordonate, ecc.

Con i suddetti lavori si ottennero spesso dei buoni risultati e, a riprova di ciò, in alcuni siti di intervento difficilmente se ne colgono ancora i segni, in quanto la vegetazione erbacea, arbustiva ed arborea si è affermata completamente.

Queste tecniche costituivano parte integrante delle professionalità e delle conoscenze degli operatori addetti alle sistemazioni idraulico-forestali e, a tal propo-

sito, si ricorda che un Decreto Ministeriale del 20 agosto 1912 stabiliva le norme per la redazione dei progetti di sistemazione idraulico-forestale nei bacini montani e sottolineava, tra l'altro, l'opportunità di utilizzare: "materiali rustici del sito, pietre e legnami, chiedendo alla vegetazione la forza per il consolidamento dei terreni"; per le frane, inoltre, il decreto consigliava di adottare: "piccole palizzate, graticciate o fascinate basse, nonché inerbimenti, semine o piantagioni di alberi".

Modificandosi nel tempo la presenza dell'uomo in montagna si sono evoluti anche gli obiettivi stessi della pianificazione territoriale in quanto è mutato il criterio di valutazione del reale valore dei beni da difendere; inoltre, sono cambiati i ruoli dei soggetti preposti alla difesa del suolo, con un aumento delle competenze dell'amministrazione pubblica.

Mentre nella pianificazione sono cambiati gli strumenti e gli obiettivi rispetto agli anni '20 e '30, nel settore operativo, invece, si sta cercando di recuperare le esperienze e le professionalità di un tempo, soprattutto in relazione alla crescita di una nuova sensibilità ambientale.

Ciò è anche legato al fatto che nella nostra realtà si è registrato in passato un intenso uso e, a volte, un abuso di alcuni materiali quali il calcestruzzo, con la conseguente perdita di una certa professionalità in merito alle tecniche di intervento su base biologica, oggi definite di ingegneria naturalistica; nei paesi centroeuropei, al contrario, tali metodologie, seppure in passato abbiano registrato un certo declino, non sono mai state abbandonate completamente e, in certi casi, si sono addirittura ampliate ed evolute.

In definitiva, i problemi inerenti il dissesto idrogeologico restano i medesimi di un tempo, ma sono cambiate le valutazioni che stanno alla base della definizione delle priorità degli interventi di consolidamento; infatti, escludendo i casi di immediato pericolo per l'incolumità pubblica o di potenziale minaccia per le opere e le infrastrutture essenziali per l'economia di un paese e per le quali è doveroso fornire una risposta immediata, negli altri casi si deve valutare la reale opportunità di un eventuale intervento, nonché le modalità per renderlo compatibile con l'ambiente circostante.

Esistono, ad esempio, fenomeni di dissesto quali

grosse frane o macereti d'alta quota che rappresentano un elemento caratteristico del paesaggio, specialmente nelle zone alpine, e non vi è nessuna motivazione logica nel tentare di eliminarli o di mascherarli, in quanto tale operazione risulterebbe una forzatura sia sotto il profilo geomorfologico che ambientale in senso lato.

Al contrario, molti piccoli dissesti, apparentemente poco significativi, rappresentano delle ferite che la natura non è in grado di risanare, se non in tempi lunghissimi; in queste situazioni è opportuno intervenire al fine di ridurre drasticamente questi tempi attraverso un'opportuna scelta delle tipologie, delle tecniche costruttive e dei materiali da utilizzare.

Nella maggior parte dei casi, quindi, i lavori di consolidamento non vanno intesi come modifiche artificiali di un'evoluzione dinamica del territorio, in quanto determinerebbero l'instaurarsi di un equilibrio precario ed innaturale, bensì devono rappresentare un aiuto ed un'integrazione ai lenti processi spontanei di consolidamento in modo da raggiungere un sufficiente grado di stabilità.

## B.2. PRINCIPALI CAUSE DI INSTABILITA' DEI VERSANTI

Con il termine di dissesto di un versante si intende lo scivolamento, più o meno veloce, di masse di terreno modeste o anche ingenti; tale movimento può manifestarsi superficialmente o in profondità.

I fenomeni franosi non sono facilmente schematizzabili in quanto la casistica è molto ampia, sia per quanto riguarda la loro genesi, sia per quanto concerne la loro evoluzione.

Esistono vari tipi di classificazione in funzione dei criteri adottati quali, ad esempio, la natura geologica del substrato, la genesi del fenomeno franoso, la sua dinamica, ecc.

Un inquadramento sintetico di tali fenomeni, che considera le cause del dissesto anche in relazione agli interventi da realizzare per un suo contenimento e che individua le situazioni critiche più comuni, è il seguente:

- a - erosione al piede del pendio;
- b - circolazione idrica superficiale;
- c - circolazione idrica profonda;
- d - eccessiva pendenza.

a - *erosione al piede del pendio*: si verifica quando un corso d'acqua asporta per erosione la parte basale

(piede) di un pendio. In questo caso viene alterata la stabilità del versante che tende a riportarsi in equilibrio mediante lo scivolamento verso il basso.

Le soluzioni tecniche adottabili possono essere le seguenti:

- proteggere il piede attraverso la realizzazione di una idonea "difesa spondale";
- rimodellare la morfologia del pendio;
- consolidare il versante mediante la messa a dimora di idonee specie erbacee, arbustive o arboree;

b - *circolazione idrica superficiale*: accade spesso che i deflussi idrici che si raccolgono in piccoli collettori naturali o che provengono da superfici impermeabili (strade, piazzali, ecc.) provochino l'erosione superficiale delle pendici sottostanti. In una prima fase si registrano modeste erosioni lungo le linee di massima pendenza, ma in seguito, soprattutto durante il verificarsi di intense precipitazioni atmosferiche, l'accumulo di acqua nella pendice può anche provocare un fenomeno franoso di una certa rilevanza.

Le soluzioni tecniche adottabili possono essere le seguenti:

- captare tutte le acque di deflusso superficiale a monte del pendio ed allontanarle mediante un'idonea canalizzazione;
- rimodellare la morfologia del pendio;
- consolidare il versante attraverso la messa a dimora di idonee specie erbacee, arbustive o arboree;

c - *circolazione idrica profonda*: quando nella pendice si verificano delle infiltrazioni d'acqua in profondità la stabilità del pendio può venire compromessa. E' il caso più complesso da risolvere per la difficoltà di emungere le acque circolanti.

Le soluzioni tecniche adottabili possono essere le seguenti:

- eseguire un'indagine conoscitiva mediante perforazioni per individuare la profondità della falda;
- procedere, in base ai risultati delle indagini, alla realizzazione di drenaggi profondi per la raccolta e l'allontanamento delle acque dal corpo di frana;
- prevedere, in ogni caso, anche un sistema di controllo del movimento della frana mediante posa in opera di alcuni capisaldi di riferimento.

Qualora la circolazione idrica sia molto profonda (oltre i 6-10 m) ed in relazione all'ubicazione della frana, a volte, può dimostrarsi più valida la scelta di lasciare evolvere il fenomeno, tenendolo ovviamente sotto controllo;

d - *eccessiva pendenza*: nel modellamento di pendici o

di rilevati o durante i lavori di realizzazione di infrastrutture viarie, se non viene rilasciata una pendenza del profilo compatibile con le caratteristiche fisiche del terreno, si può verificare, talvolta, un assestamento del materiale.

Le soluzioni tecniche adottabili possono essere le seguenti:

- rimodellare il pendio attraverso scoronamenti;
- difendere la pendice con inerbimenti e piantumazioni;
- impiegare materiali a funzione antierosiva (griglie, reti o stuoie in fibra naturale o sintetica); l'effetto stabilizzante verrà garantito anche dalla presenza della vegetazione.

Le pendenze ammissibili per questi tipi di interventi non devono comunque differire molto da quelle di naturale declivio del materiale presente in loco. Qualora gli spazi non consentano la realizzazione di rilevati con pendenze modeste, si potranno costruire strutture di sostegno opportunamente rinverdate quali terre rinforzate o muri modulari a gravità realizzati con griglie o tessuti in materiale sintetico, con elementi prefabbricati in calcestruzzo, con strutture in legno o con armature metalliche.

Per quanto concerne, invece, il problema del controllo dell'erosione nei versanti occupati da piste da sci e da impianti di risalita, esso è legato soprattutto ad una corretta progettazione ed esecuzione dei lavori in modo tale che non siano previsti ingenti movimenti di terreno; è altresì opportuno che venga effettuato un accurato studio preliminare sulla vegetazione erbacea presente per poter eseguire il successivo inerbimento dell'intera superficie in modo efficace e duraturo.

### **B.3 TIPOLOGIE DI INTERVENTO DI CONSOLIDAMENTO DEI VERSANTI**

Per poter affrontare correttamente la progettazione di un qualsiasi intervento sistematorio di una frana, inizialmente va sempre condotta una fase conoscitiva finalizzata a definire, analizzare e quantificare i seguenti elementi:

- a - la natura geologica e pedologica del versante;
- b - l'orografia;
- c - il clima;
- d - l'idrologia;
- e - la copertura vegetale.

Dopo aver acquisito questi dati fondamentali, si è in

grado di elaborare un'ipotesi di azione che, seppur variabile da caso a caso in relazione alle diverse tipologie di fenomeni franosi sopra illustrati sinteticamente, può essere ricondotta ad una sequenza metodologica comune, quale:

- a - la regimazione idrica;
- b - il consolidamento meccanico;
- c - gli interventi di ricostituzione della copertura vegetale.

#### **La regimazione idrica**

L'acqua è spesso la causa o l'elemento scatenante di un movimento franoso, sia superficiale che profondo; in ogni caso, quindi, la sua regimazione è necessaria e, a volte, anche sufficiente per diminuire il rischio di innesco di un fenomeno di dissesto o per favorire una sua regressione.

E', ovviamente, molto diverso intervenire per proteggere il piede di una pendice divenuta instabile a causa dell'azione erosiva di un torrente, piuttosto che consolidare una pendice soggetta ad erosione superficiale a causa di deflussi idrici incontrollati; in entrambe le situazioni, comunque, è prioritario risolvere il problema della regimazione delle acque.

Nel primo caso, l'allontanamento della corrente idrica dal piede del versante è una componente fondamentale dell'intervento di consolidamento e può essere effettuato attraverso la realizzazione di pennelli in grado di deviare il flusso dell'acqua al centro dell'alveo (Fig. 14) o tramite opere longitudinali che difendano il versante (gabbionate o scogliere rinverdate con talee, coperture diffuse con astoni, ecc.) (Fig. 15).

Nel secondo caso, l'acqua rappresenta un fattore scatenante se defluisce in maniera incontrollata lungo il versante; si vengono così a formare dei solchi che aumentano il grado di erosione superficiale del suolo, impedendo, nel contempo, l'attecchimento e lo sviluppo della vegetazione erbacea ed arbustiva.

Per limitare o annullare questi effetti è necessario realizzare una rete drenante lungo il pendio in grado di smaltire le acque in modo ordinato; saranno adatte allo scopo, a seconda dei casi, canalette in pietrame o in legname, drenaggi con fasciname, drenaggi in pietra-me con tubi fessurati e con tessuto non tessuto a funzione filtrante, ecc. (Figg. 16-17).

I drenaggi in pietrame, di solito, devono avere una pendenza minima del 2% per evitare dannosi ristagni d'acqua, una profondità di 1-1,5 m ed una larghezza di 60-100 cm.

Alcune tipologie di intervento possono anche essere

di tipo misto combinando opportunamente piante, legname e reti in materiale biodegradabile o sintetico.

Per i movimenti franosi profondi causati dalla presenza di acque sotterranee, è innanzitutto importante definire la provenienza, la quantità e la profondità delle acque attraverso indagini geognostiche che individuino anche la natura del substrato e la sua stratificazione.

Dopo aver quantificato e definito il fenomeno si potrà intervenire al fine di emungere le acque con dei drenaggi profondi opportunamente integrati con pozzi di ispezione e di raccolta disposti lungo il tracciato e con tubazioni idonee allo smaltimento delle acque.

### Il consolidamento meccanico

Qualora si sia in presenza di fenomeni erosivi di pendici causati da pendenze non compatibili con l'angolo di attrito del terreno, un primo intervento dovrà mirare a riportare la pendenza su livelli accettabili tramite lo scoronamento dei cigli franosi, il rimodellamento del pendio e la realizzazione di gradoni (Fig. 18).

Questi lavori possono essere eseguiti a mano o con l'ausilio di un mezzo meccanico, in relazione alle difficoltà operative ed all'entità del lavoro.

Spesso vi è la necessità di realizzare delle strutture di sostegno per trattenere il terreno o per fornire una solida base al pendio e ciò è strettamente connesso sia alle caratteristiche fisiche del terreno, sia al grado di

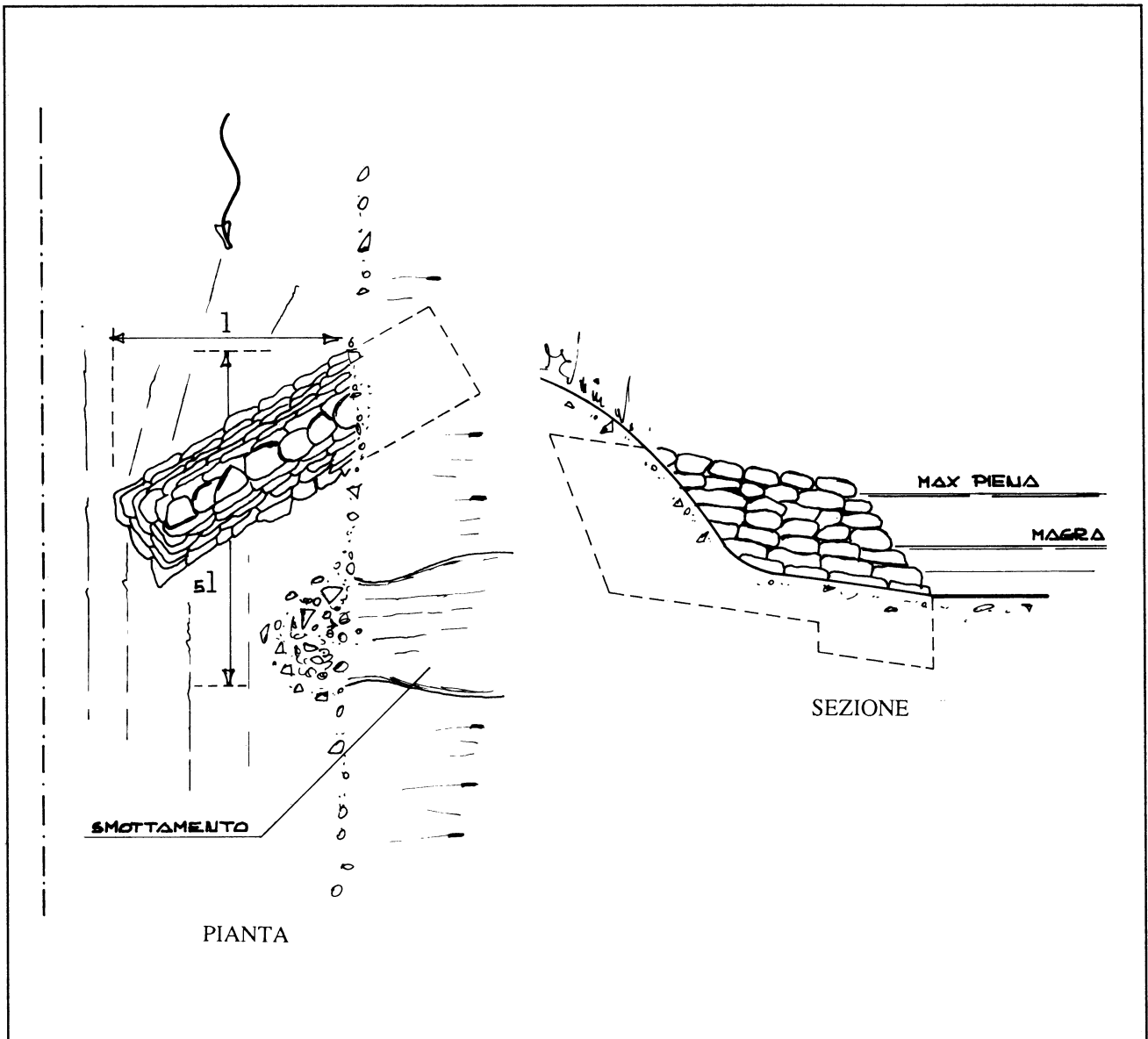


Fig. 14 - Pennello in pietrame

inclinazione del versante; tra le tipologie più utilizzate si possono ricordare: le gradonate con talee o con piantine, le viminate, le palificate, le grate in legname e le terre rinforzate.

Con queste metodologie di intervento il consolidamento viene affidato, in una prima fase, ai materiali inerti (ad esempio: il legname) mentre, con l'affermarsi della vegetazione erbacea, arbustiva o arborea, la funzione meccanica di sostegno è demandata in parte o completamente agli apparati radicali delle specie vegetali introdotte; esse debbono essere, quindi, frugali e rustiche in quanto fungono, nella maggioranza dei casi, da specie pioniere.

### Gli interventi di ricostituzione della copertura vegetale

Con questa definizione si comprendono tutti quegli interventi volti a favorire l'insediamento di una copertura vegetale su di una superficie di terreno nudo.

La vegetazione erbacea, proprio grazie alla sua capacità di colonizzare immediatamente il suolo, riveste un ruolo importante nel limitare l'azione erosiva delle acque meteoriche, impedendo l'asportazione delle particelle superficiali del terreno, per cui il suo sviluppo può risultare determinante per un successo finale della sistemazione di un versante.

Il cotico erboso crea, tra l'altro, un certo quantitativo di sostanza organica e, quindi, contribuisce in modo

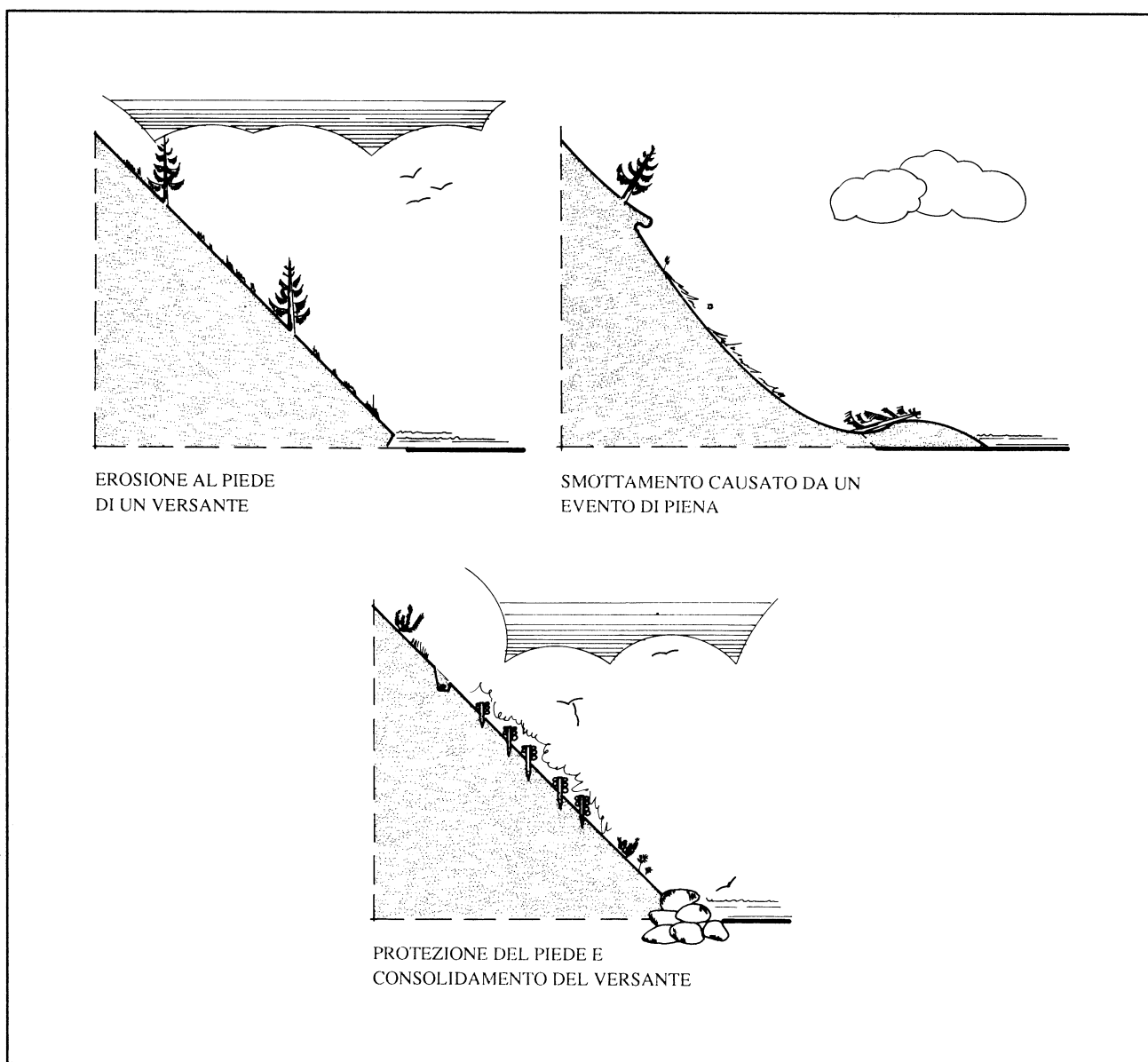


Fig. 15 - Dinamica di un fenomeno erosivo e successivo intervento di consolidamento del terreno

considerabile alla formazione di quello strato di humus idoneo per il successivo insediamento delle specie pioniere autoctone di tipo arbustivo o arboreo.

Tra i vari metodi di rinverdimento si possono ricordare i diversi tipi di semina (a spaglio, idrosemina, con coltre protettiva, ecc.) e la messa a dimora di tappeti erbosi, talee o piantine di specie arbustive o arboree.

Queste tipologie possono anche essere integrate attraverso l'uso di reti, stuoie o tessuti in materiale naturale o sintetico in quanto favoriscono la germinazione dei semi e quindi concorrono ad una più rapida riuscita del rinverdimento.

In conclusione, si può affermare che nell'affrontare il problema del consolidamento di un versante franoso, generalmente, è opportuno tendere all'ottenimento dei seguenti principali risultati:

- a - il contenimento dei processi erosivi;
- b - il ripristino di un ecosistema "paranaturale" in grado di evolvere verso una fase climax o, più probabilmente, verso associazioni vegetali durevoli nel tempo;
- c - il corretto inserimento degli interventi sotto il profilo estetico-paesaggistico, nonché naturalistico.

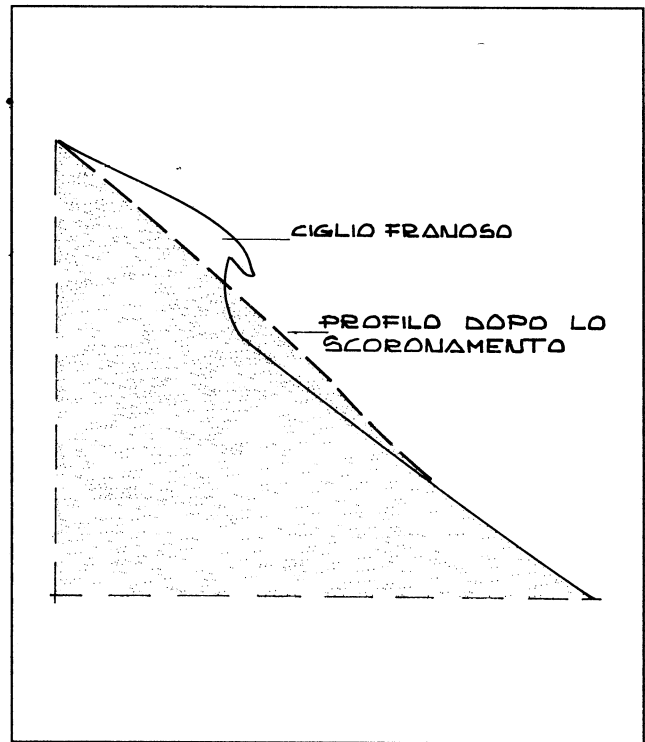


Fig. 18 - Lavori di modellamento del pendio franoso

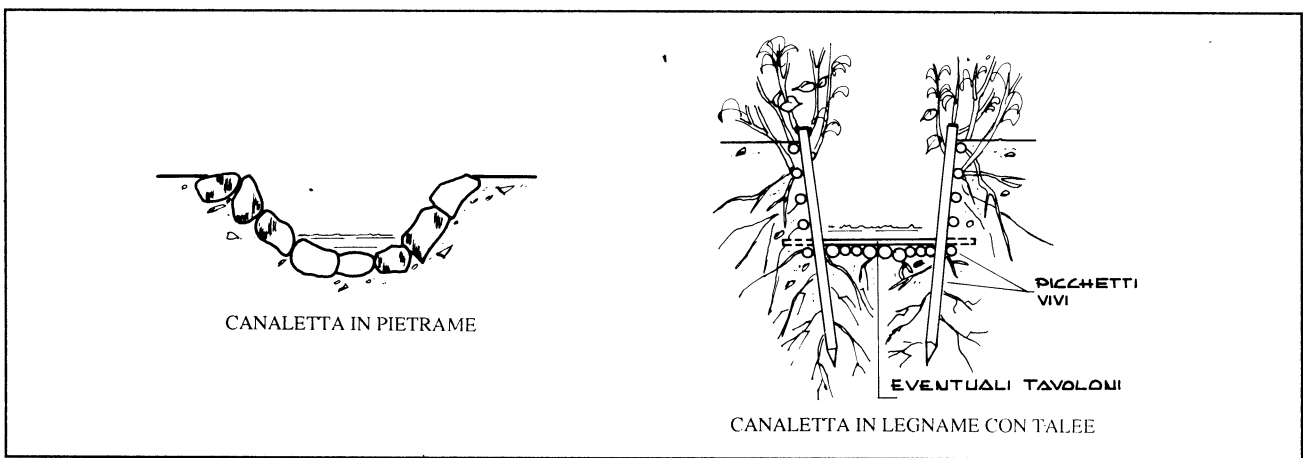


Fig. 16 - Esempi di canalette: a) in pietra, b) in legno con talee

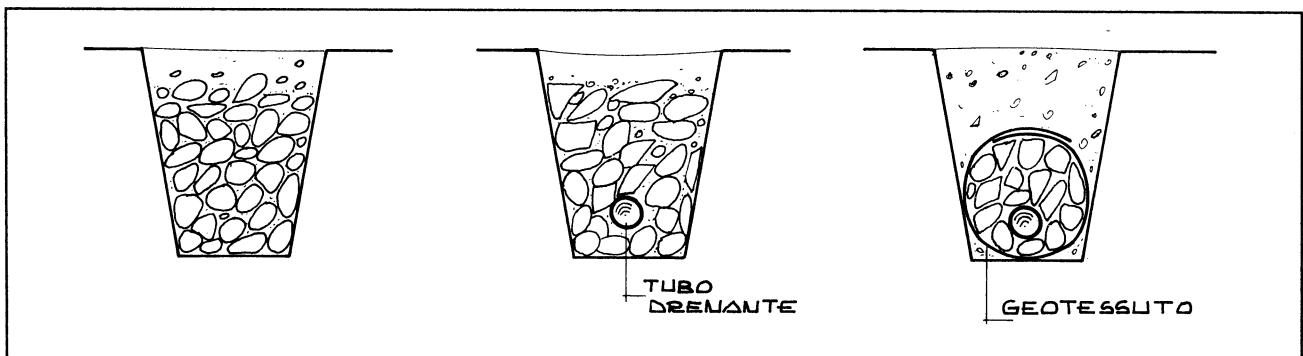


Fig. 17 - Esempi di drenaggi in pietra

# C.

## L'ATTIVITA' ESTRATTIVA

### C.1 CONCETTI GENERALI

Tra le diverse attività umane ad elevato impatto ambientale si può senz'altro annoverare quella legata all'estrazione di materiali litoidi (argilla, sabbia, ghiaia, pietrame, ecc.) effettuata nei corsi d'acqua, nelle pendici montane o in pianura.

Da alcuni anni, oltre ad una maggiore regolamentazione dell'intero settore attraverso la pianificazione territoriale, l'emanazione di norme specifiche e l'applicazione di vincoli, sono stati promossi diversi studi ed interventi volti ad ottenere dei dati concreti per quanto concerne le metodologie di mitigazione degli impatti, sia a livello naturalistico che estetico-paesaggistico.

In tale contesto va senz'altro sottolineata anche l'esigenza di cercare di ridurre il fabbisogno stesso di inerti, impiegando in maniera sempre maggiore i materiali alternativi, nell'ottica di ridurre al minimo l'attività estrattiva.

Comunque, nelle cave abbandonate o in quelle ancora attive, l'intervento umano si rende oltremodo necessario per poter accelerare quel lento processo di recupero che inizierebbe spontaneamente dal momento di cessazione dell'attività estrattiva, ma che sarebbe caratterizzato da tempi molto lunghi e da esiti, a volte, incerti.

Le tecniche di intervento in questi ambienti fortemente antropizzati variano notevolmente in funzione di diversi fattori, quali:

- a - l'ubicazione della zona (pianura, montagna, corso d'acqua);
- b - l'orografia (altitudine, esposizione, pendenza, ecc.);
- c - la litologia e la pedologia;
- d - il clima;
- e - il livello della falda freatica;
- f - la forma e le dimensioni della cava;
- g - l'inclinazione delle pareti del fronte di cava;
- h - il contesto ambientale.

I migliori risultati di ripristino sono stati ottenuti nei casi in cui lo stesso piano di coltivazione della cava contemplava il recupero dell'intera area; infatti, risulta molto più difficoltoso intervenire a posteriori su pareti ad elevata inclinazione e con un notevole dislivello, oppure dove il terreno vegetale presente in origine non sia stato accumulato in previsione del ripristino stesso.

Il criterio guida di ogni recupero ambientale, anche

in questo ambito, risulta essere quello legato all'ottenimento della massima diversità biologica e morfologica possibile, al fine di ottimizzarne l'inserimento nel contesto territoriale.

A tal fine è opportuno progettare i ripristini in modo da cercare di "movimentare" il più possibile le pareti del fronte di cava imitando le forme naturali dei pendii (aree montane) o delle zone umide (aree di pianura) ed eliminando, nel contempo, le forme geometriche che identificano inequivocabilmente l'azione antropica.

Talvolta, il progettista del recupero di zone degradate ha adottato soluzioni con il fine di ottenere una mitigazione del mero impatto visivo riducendo, quindi, l'intervento ad un'azione puramente estetica, mentre si dovrebbe sempre cercare di ottenere un vero e proprio ripristino della zona sotto il profilo naturalistico; va sottolineato il fatto che ogni recupero tecnicamente riuscito da un punto di vista ambientale lo è sicuramente anche da quello estetico-paesaggistico.

In certi casi le tecniche di rinaturalizzazione possono addirittura consentire di raggiungere ottimi risultati sotto il profilo ambientale come già verificatosi, ad esempio, in alcune zone di pianura, un tempo soggette all'attività agricola e che, in seguito ad un corretto intervento di ripristino eseguito al termine dell'attività estrattiva, sono divenute interessanti zone umide ricche di specie animali e vegetali.

Le tecniche di intervento sono molteplici e diversificate in funzione della tipologia e della zona su cui si intende effettuare il recupero, ma spesso è consigliato effettuare delle prove sperimentali su piccole superfici al fine di individuare eventuali fattori limitanti la riuscita stessa del ripristino.

Per quanto concerne la scelta delle specie vegetali da impiegare, da un lato ci si baserà sullo studio della vegetazione presente in zona, dall'altro si dovrà tenere conto delle particolari caratteristiche fisiche, chimiche e biologiche del substrato, prediligendo le specie più precoci, rustiche e resistenti, idonee a vivere in quelle condizioni estreme.

Si potrà prevedere, comunque, una successiva e graduale fase di sostituzione, naturale o artificiale, delle specie "pioniere" introdotte; infatti, l'obiettivo finale rimane sempre quello della ricostituzione delle associazioni vegetali presenti nella zona prima dell'inizio dell'attività estrattiva.

In conclusione, è opportuno sottolineare il fatto che un corretto recupero di ex-cave debba sempre rispondere a precise finalità (zona naturalistica, zona ricreativa, zona di espansione industriale, ecc.) e, qualora gli obiettivi non siano compatibili fra loro, è necessario operare scelte altrettanto chiare e motivate.

## **C.2 IL RECUPERO AMBIENTALE DI EX-CAVE DI VERSANTE**

In presenza di ex-cave ubicate in zone collinari o montane, un corretto piano di recupero ambientale dovrà porsi l'obiettivo di ricreare quelle condizioni di vita sufficienti per l'insediamento delle componenti vegetali ed animali tipiche della zona.

Uno dei limiti maggiori al raggiungimento di tale obiettivo è senz'altro quello della pendenza del fronte di cava: in questi casi si dovrà cercare di ricreare nicchie, piazzole o piccoli gradoni nei quali possa accumularsi un minimo di sostanza organica in grado di costituire quel substrato idoneo per l'attecchimento delle specie vegetali "pioniere".

Le tecniche e gli strumenti per ottenere questo tipo di variabilità morfologica della superficie, mediante scaronamenti e modellamenti, sono vari: impiego mirato di materiale esplosivo (mine), uso di escavatori, inserimento di reti metalliche o in materiale sintetico (realizzazione di sacche contenenti terreno vegetale), ecc.

Un importante aspetto da evidenziare è quello della corretta regimazione delle acque superficiali attraverso la predisposizione di una idonea rete scolante e drenante, al fine di evitare pericolosi fenomeni di ruscellamento e di erosione del prezioso strato di terreno fertile presente.

Al termine di questa prima fase di preparazione del substrato si può procedere con la lavorazione superficiale del suolo presente in loco o, eventualmente, con il riporto e la stesura di uno strato di terreno vegetale (spessore: 20-30 cm).

In seguito si può effettuare un inerbimento e, qualora le condizioni stazionali così ottenute lo consentano, si potrà anche procedere alla fase di messa a dimora di specie arbustive "pioniere".

Negli anni successivi, si renderanno necessari i lavori di manutenzione quali: concimazioni, irrigazioni (nei periodi più siccitosi), semina di specie erbacee, risarcimento delle fallanze, inserimento di specie arbustive o arboree più esigenti, ecc.

Un valido metodo di recupero, già sperimentato con

successo in diverse situazioni, consiste nel procedere al rinverdimento dell'area per lotti successivi, interessando quelle superfici in cui l'attività estrattiva è appena terminata.

Operando in questo modo, mentre il fronte della cava avanza, il terreno vegetale, che costituisce il cosiddetto "cappellaccio", viene utilizzato nel lotto appena dimesso, in quanto costituisce un preziosissimo substrato per l'inerbimento e la messa a dimora degli arbusti; qualora il terreno vegetale debba essere accumulato per un certo periodo di tempo è importante realizzare dei cumuli non troppo grandi (altezza < 2 m), al fine di evitare l'insorgere di alterazioni fisiche, chimiche e biologiche nel terreno stesso, oppure, qualora i cumuli, per motivi di spazio, siano necessariamente di dimensioni rilevanti, è opportuno movimentarli attraverso frequenti arature ed erpicature.

Tale sistema di ripristino ambientale di ex-cave consente di ottenere un risparmio in termini economici ed una maggiore probabilità di riuscita del recupero medesimo.

## **C.3 IL RECUPERO AMBIENTALE DI EX-CAVE DI PIANURA**

In presenza di ex-cave ubicate in territori di pianura le potenzialità di un recupero ambientale sono spesso maggiori rispetto a quelle situate in montagna, ma anche in questo caso vanno tenuti presenti alcuni concetti fondamentali.

Al fine di ottenere un'elevata diversità biologica, si dovrà ricreare una molteplicità di macro e microambienti, in sintonia con quelli circostanti, e a tal proposito, se si intende realizzare una zona umida nell'area di una ex-cava, è consigliato modellare le sponde e gli argini non in modo uniforme, geometrico e con la stessa pendenza, ma, al contrario, alternando pareti verticali ad altre più degradanti e poco inclinate.

E' noto che, a livello di avifauna, una leggera differenza di profondità del livello dell'acqua può consentire o limitare in maniera determinante la presenza di certe specie: i piccoli limicoli sono tipici di zone umide di limitata profondità (0-15 cm), gli ardeidi possono spingersi in acque più profonde (0-50 cm), mentre gli anatidi gradiscono le zone caratterizzate da livelli d'acqua ancora maggiori (1-2 m) (Fig. 19).

Lo stesso concetto di diversificazione ambientale è valido per quanto concerne i siti di riproduzione: ad esempio, pareti verticali costituiscono l'ambiente natu-

rale per alcune specie di piccoli uccelli quali il topino (*Riparia riparia*), il gruccione (*Merops apiaster*) ed il martin pescatore (*Alcedo atthis*).

Ovviamente anche la componente vegetale è in grado di essere più ricca e più variegata se la morfologia del terreno non è uniforme: le ninfee (*Nymphaea alba*) necessitano di acque profonde (2-3 m), i canneti (*Typha spp.*, *Phragmites communis*, ecc.) crescono in condizioni di acque più basse (30-80 cm), mentre sulle sponde si sviluppano le siepi ed i boschetti ripariali che costituiscono una presenza fondamentale per poter ricreare una zona umida di elevata qualità e pregio ambientale.

In tal senso, si sottolinea il fatto che ogni specie animale o vegetale è in grado di occupare un certo ambiente solamente se le condizioni di alimentazione, di riproduzione e di rifugio sono sufficienti per svolgere in parte, o completamente, il proprio ciclo vitale.

Al fine di costituire idonei siti di riproduzione per talune specie animali, spesso, è consigliato realizzare degli isolotti all'interno della zona umida; questi manufatti possono essere realizzati in diversi modi, in fun-

zione anche delle dimensioni dello specchio d'acqua: da semplici zattere in legno ricoperte di terreno vegetale, inerbite e fissate al fondo con dei pali (Fig. 20), a vere e proprie isole realizzate con una struttura portante in gabbioni ricoperta di terreno vegetale, successivamente inerbite (Fig. 21).

E' importante che le forme siano il più possibile irregolari, in modo da alternare zone leggermente sommerse, in grado di essere colonizzate dal canneto, a zone temporaneamente interessate dal livello dell'acqua, a zone asciutte, inerbite ed eventualmente con presenza di specie arbustive.

Anche la forma del bacino che si intende creare nell'area dell'ex-cava è determinante per una buona riuscita del recupero e, nella fase progettuale, si dovranno possibilmente evitare le forme geometriche e privilegiare al massimo le irregolarità e le sinuosità del perimetro del bacino stesso (Fig. 22).

Un altro fattore da tenere presente è la dimensione della zona umida, in quanto vi è una superficie minima, variabile da specie a specie, al di sotto della quale la componente animale non è più in grado di colonizzare

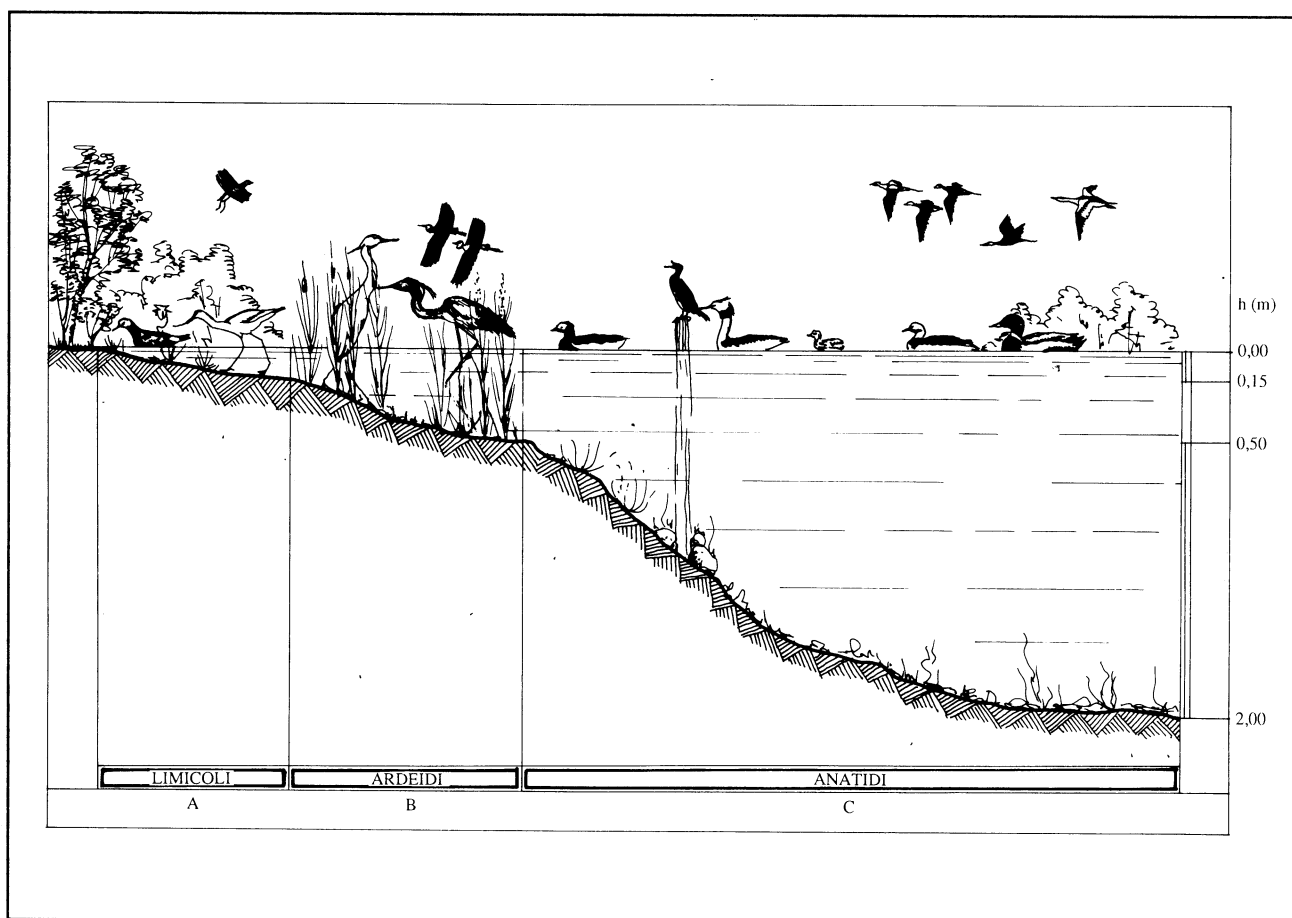
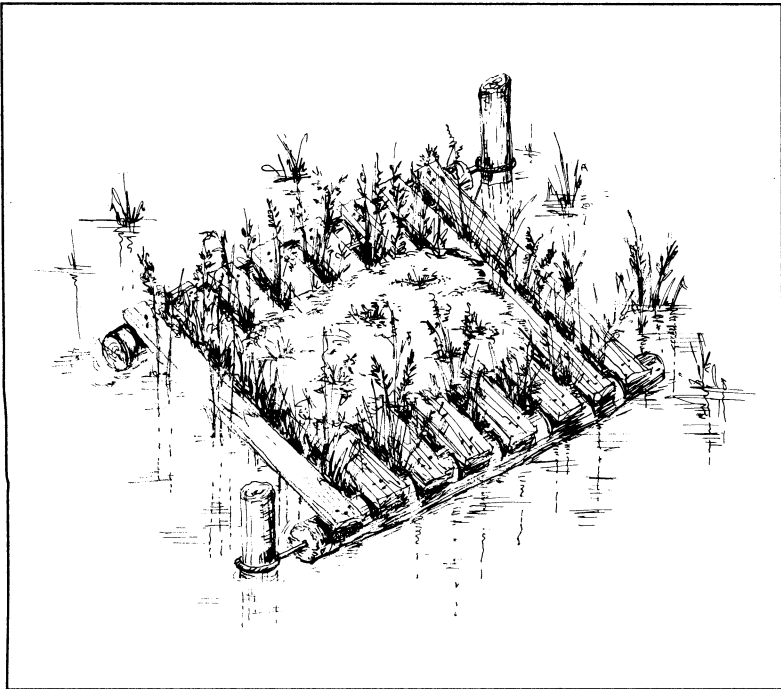


Fig. 19 - Correlazione tra il livello dell'acqua e la presenza di avifauna

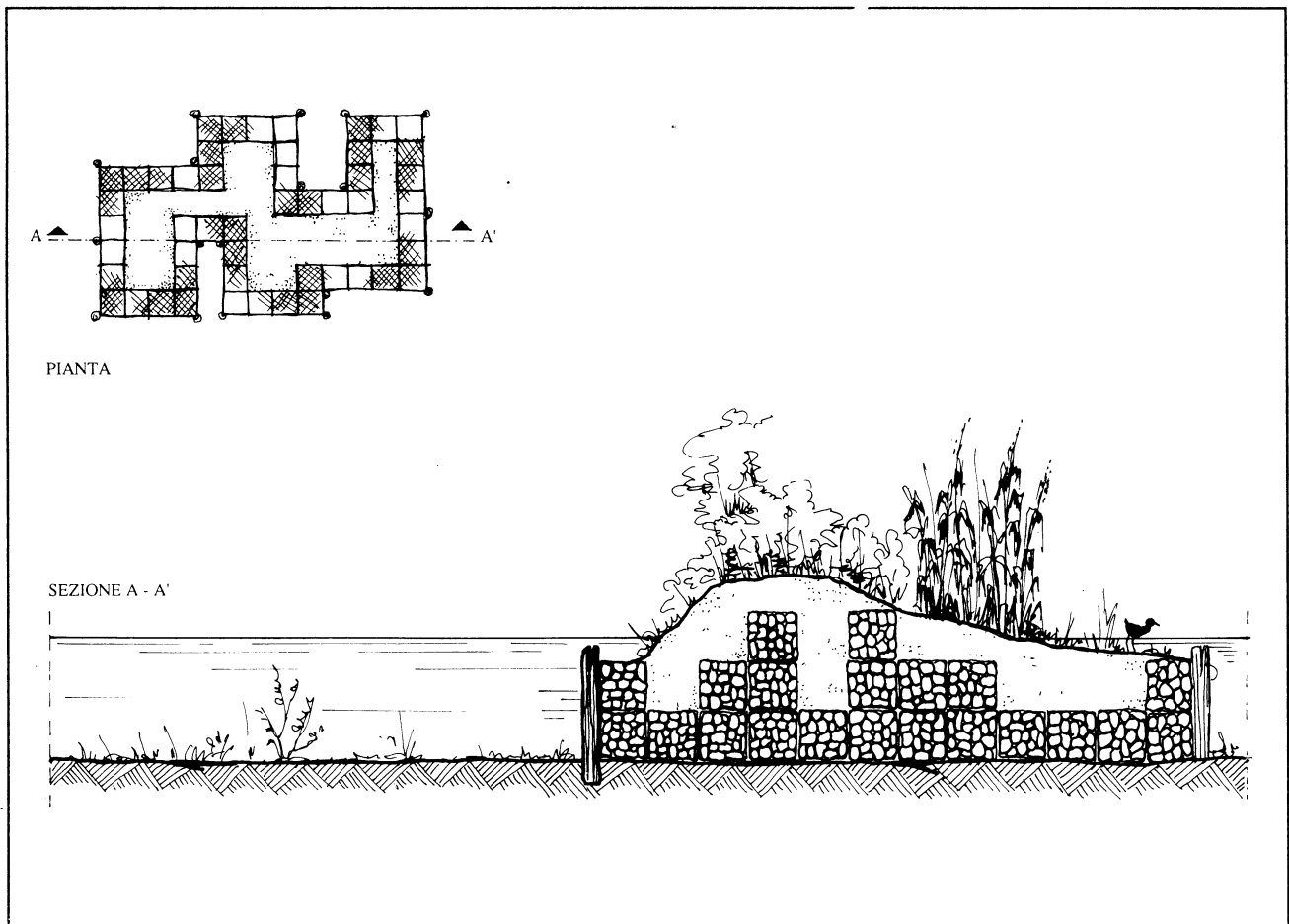


*Fig. 20 - Isolotto in legno fissato con pali, ricoperto di terreno ed inerbito*

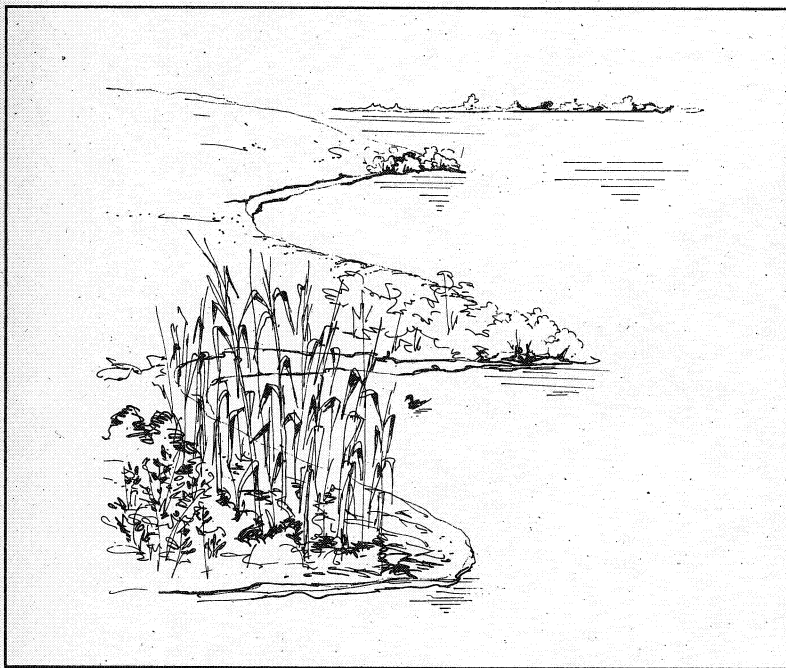
quell'ambiente: ad esempio, l'avifauna tipica delle zone umide (limicoli, trampolieri ed anatidi) necessita di almeno 1-2 ettari di superficie naturale indisturbata da fattori antropici quali possono essere le aree ricreative, sportive, turistiche, ecc., mentre per l'ittiofauna una superficie di 0,2-0,3 ettari può anche essere sufficiente.

Infine, si dovranno esaminare attentamente gli aspetti idraulici in modo da garantire un corretto bilancio idrico all'interno dell'ecosistema, riducendo al minimo i fenomeni di interrimento, di prosciugamento o di eutrofizzazione.

L'escavazione di un canale perimetrale alla zona umida, eventualmente arricchito da una siepe sull'argine, oltre a garantire una certa funzionalità idrau-



*Fig. 21 - Isola in gabbioni ricoperta di terreno ed inerbita*



*Fig. 22 - Un bacino di forma sinuosa è indice di biodiversità ambientale*

lica, crea un prezioso diaframma in grado di ridurre notevolmente i potenziali fattori di disturbo.

In conclusione, si può rilevare che l'attività estrattiva è sempre ad elevato impatto ambientale, ma gli effetti negativi ad essa connessi possono essere notevolmente mitigati qualora si intervenga, sia a livello di pianificazione e sia di progettazione, per cercare di ristabilire un certo equilibrio naturale; in tal senso, anche la successiva fase gestionale dell'area dovrà tenere conto dell'estrema fragilità della zona, al fine di evitare usi irrazionali che possano vanificare le energie profuse per la realizzazione del ripristino ambientale.



*Foto n. 2 - Recupero ambientale di una ex-cava di versante con la tecnica del ripristino per lotti successivi (Innsbruck)*



*Foto n. 3 - Recupero ambientale di una ex-cava di pianura (Cavone - S.Giovanni in Persiceto - Bo)*



*Foto n. 4 - Recupero ambientale di una ex-cava di pianura (Bora - S.Giovanni in Persiceto - Bo)*

# D.

## LE INFRASTRUTTURE (viarie e ferroviarie)

### D.1 CONCETTI GENERALI

L'ingegneria naturalistica è un insieme di tecniche che, come esposto in precedenza, consentono di mitigare gli impatti negativi causati dai vari interventi antropici sul territorio.

Tra le numerose applicazioni di tali metodologie vanno senz'altro ricordate quelle legate al miglioramento dell'inserimento nel paesaggio delle infrastrutture viarie e ferroviarie.

Infatti, oggi, è possibile intervenire al fine di ridurre alcuni degli effetti negativi di natura estetica ed ambientale connessi alle vie di comunicazione già realizzate, anche se va ricordato che è sempre più efficace predisporre certi interventi direttamente nella fase progettuale dell'infrastruttura, in modo tale che le caratteristiche ed i limiti di tali tecniche possano essere considerate e ponderate a priori e possano, quindi, rientrare tra i vari fattori che determinano le scelte progettuali.

Le diverse tipologie di mitigazione di impatto applicabili possono essere ricondotte a quattro principali categorie funzionali:

- a - *funzione statica*: strutture di sostegno;
- b - *funzione antierosiva*: inerbimenti e reti protettive;
- c - *funzione antirumore*: barriere fono-assorbenti;
- d - *funzione estetica*: piantumazione di specie arbustive ed arboree.

Per quanto concerne la funzione statica, qualora lo spazio disponibile consenta solo la realizzazione di scarpate con pendenze elevate, è possibile costruire strutture di sostegno rinverdibili quali le terre rinforzate o i muri modulari a gravità che possono essere costituite da diversi materiali: armature metalliche, griglie o tessuti in fibre sintetiche, travi o elementi planari in calcestruzzo, pali o travi in legno.

Tali metodologie consentono la realizzazione dei cosiddetti "muri cellulari verdi" che hanno caratteristiche meccaniche, di durata e costi competitivi rispetto ai tradizionali muri in calcestruzzo e, nel contempo, un grado di inserimento nel paesaggio più elevato.

Le suddette strutture possono essere anche impiegate allo scopo di creare delle barriere fono-assorbenti (Figg. 23-24); l'inquinamento da rumore, infatti, sta diventando un problema sempre più importante legato soprattutto all'enorme sviluppo della rete viaria e ferro-

viaria che, spesso, non ha tenuto conto delle conseguenze negative connesse all'attraversamento di aree urbane intensamente abitate.

Nel contempo, una barriera antirumore costituisce un efficace ostacolo al trasporto di polveri e particolati, a volte ricchi di metalli pesanti, e quindi può anche svolgere una funzione di protezione dall'inquinamento delle aree urbane situate troppo vicino a strade caratterizzate da un traffico intenso.

In tali realizzazioni risulta di fondamentale importanza la scelta di un'opportuna compagine vegetale, in quanto le finalità estetiche e fonoassorbenti vengono maggiormente ottenute se lo sviluppo degli arbusti è ottimale.

Le condizioni ambientali all'interno di tali strutture sono particolari, soprattutto per il difficile approvvigionamento idrico e, di conseguenza, nella scelta delle specie vegetali da inserire andranno preferite quelle più rustiche e con uno sviluppo epigeo ed ipogeo proporzionato agli spazi disponibili.

Al fine di ridurre i fattori limitanti la crescita e lo sviluppo degli arbusti messi a dimora nelle strutture di sostegno rinverdibili sono da preferirsi, ove possibile, quelle che consentono all'apparato radicale di penetrare in profondità nel terreno retrostante e che non creano i cosiddetti "vasi" o "tasche", in quanto isolerebbero la componente vegetale dal contesto del rilevato o del versante.

Anche il materiale di riempimento dei vuoti di queste strutture dovrà essere idoneo ad un corretto sviluppo delle piantine o delle talee messe a dimora e, quindi, dovrà contenere una discreta percentuale di terreno vegetale ricco di humus.

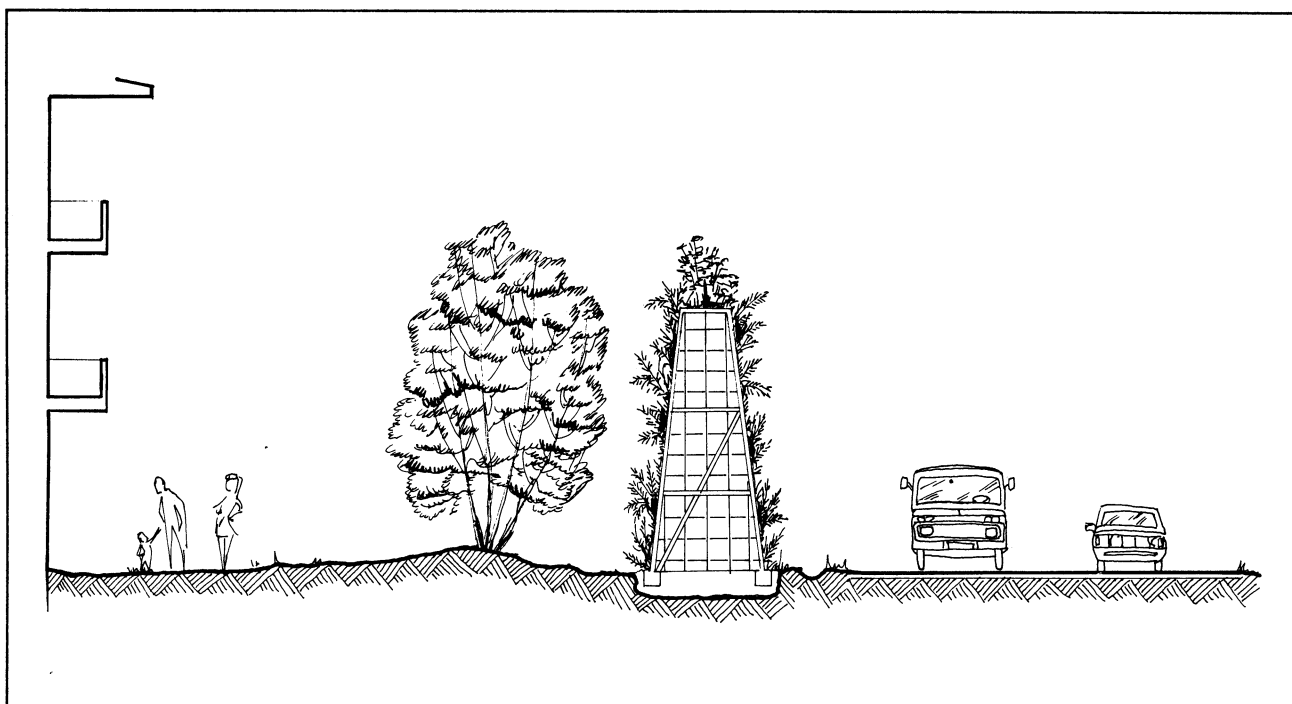
Per quanto concerne i rilevati caratterizzati da pendenze più modeste, le tecniche di intervento dell'ingegneria naturalistica consentono la realizzazione di scarpate rinverdate attraverso l'inerbimento con miscugli di sementi di specie erbacee idonee; qualora sia necessario assicurare una certa protezione della superficie, si potranno anche impiegare reti o stuoie in fibra naturale (juta, cocco, paglia, ecc.) o in materiale sintetico (poliammide, polietilene, polipropilene o poliestere).

Per quanto riguarda l'obiettivo di migliorare l'inserimento estetico-paesaggistico delle infrastrutture viarie, qualora gli spazi disponibili lo consentano, è consigliata la piantumazione anche di specie arbustive ed

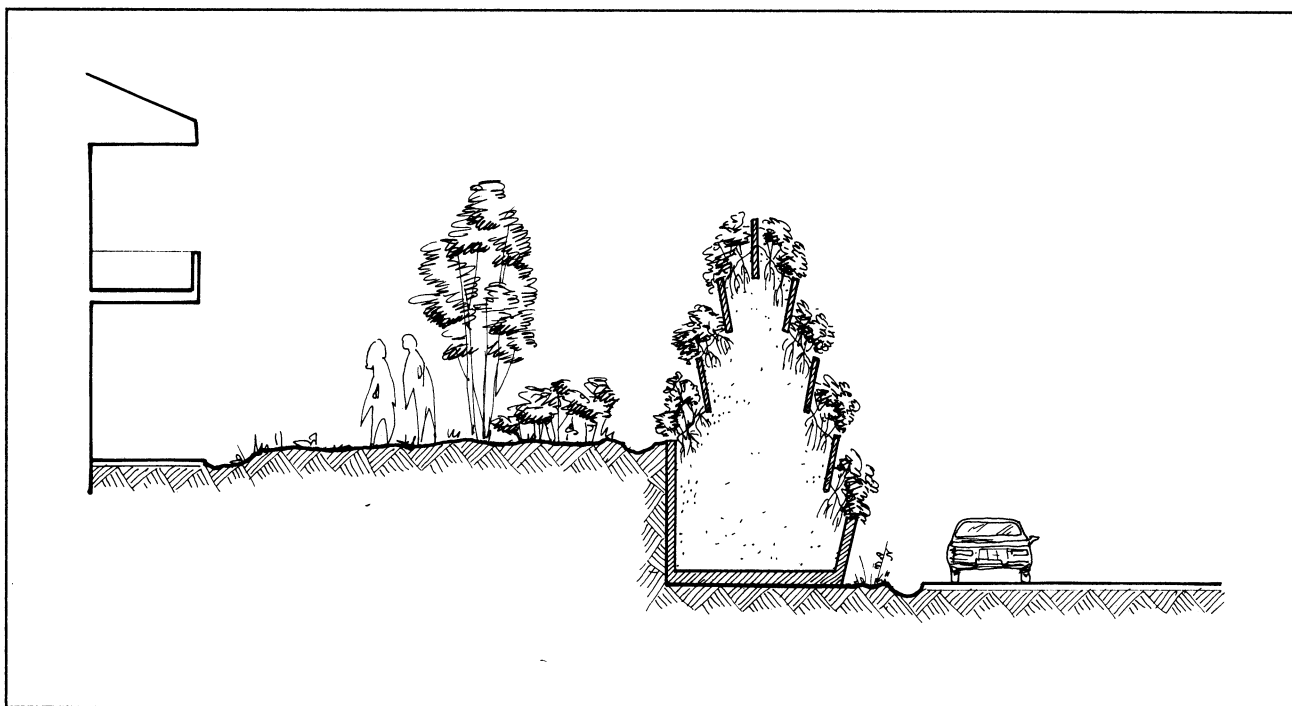
arboree appartenenti alla vegetazione autoctona, ai bordi delle strade, negli svincoli, nelle aree di sosta ecc.

In conclusione, si può affermare che l'impatto ambientale delle infrastrutture viarie e ferroviarie è sempre notevole, ma, se si adottano le opportune tecniche descritte sinteticamente in precedenza, si possono otte-

nere alcuni significativi risultati per migliorare l'inserimento di tali opere nel territorio a condizione che sia stata, ovviamente, verificata a priori la reale necessità di realizzazione dell'infrastruttura stessa e che anche nella scelta del tracciato si sia tenuto opportunamente conto delle conseguenze ambientali che esso comporta.



*Fig. 23 - Barriere antirumore in elementi metallici*



*Fig. 24 - Barriere antirumore in elementi prefabbricati in calcestruzzo*

## **Le tecniche dell'ingegneria naturalistica**

## CONCETTI GENERALI

Conosciute fin dal Medio Evo, le tecniche che utilizzano le piante ai fini del consolidamento dei versanti e delle sponde fluviali sono state descritte per la prima volta in Austria, nel 1826.

In seguito alle catastrofi verificatesi nelle regioni alpine dal 1878 al 1884 soprattutto in Francia, i bacini imbriferi di ruscelli e torrenti furono risistemati con l'aiuto di piante vive e tecniche miste.

In Svizzera, il primo scritto su tali metodologie di sistemazione idraulico-forestale apparve nel 1886, mentre applicazioni concrete si ebbero in quel periodo nell'impero austro-ungarico (Austria, Cecoslovacchia, Ungheria, Jugoslavia ed Italia settentrionale).

Con l'avvento dello sviluppo tecnologico, le metodologie si sono evolute verso una maggiore meccanizzazione e verso l'uso di materiali diversi (ad esempio: il calcestruzzo), anche se negli ultimi trent'anni, soprattutto nelle regioni alpine, si è di nuovo manifestato un certo interesse nei confronti delle tecniche di consolidamento che utilizzano le piante.

Alla luce del rapido degrado dei corsi d'acqua, legato anche ad alcuni pesanti interventi di regimazione idraulica, l'attenzione di molti progettisti, tra i più sensibili ad una gestione integrata del territorio, si è rivolta a queste tecniche caratterizzate da un minor impatto ambientale.

L'approccio moderno avviene su basi molto più scientifiche di un tempo, ma un certo empirismo, basato sul senso pratico e sull'esperienza, rimane una carta vincente insostituibile nel momento della progettazione e della realizzazione delle opere.

Le tecniche dell'ingegneria naturalistica sono finalizzate principalmente alla protezione del suolo dai fenomeni franosi e dall'erosione (entrambi connessi alla disgregazione della litosfera causata dagli agenti atmosferici) attraverso l'uso di piante vive o di loro parti, in modo tale da svolgere contemporaneamente funzioni idrogeologiche, naturalistiche ed estetico-paesaggistiche (Fig. 25).

Gli ambiti di intervento possono essere diversi: corsi d'acqua, zone umide, coste marine, ex-cave, versanti, discariche ed infrastrutture viarie.

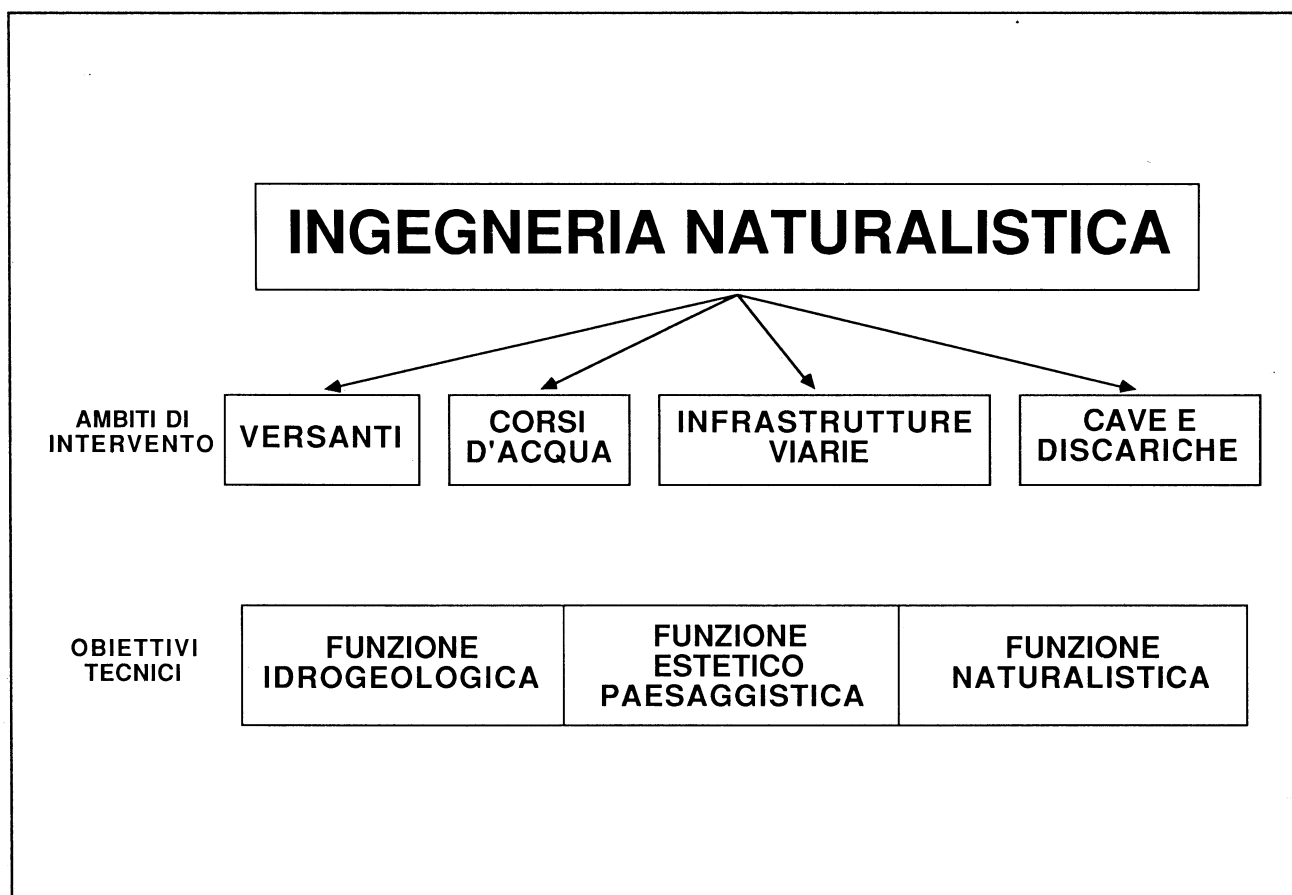


Fig. 25 - Ambiti di intervento ed obiettivi dell'ingegneria naturalistica (Lachat, 1991 - modificata)

Tenuto presente che i fattori ambientali devono necessariamente essere inseriti tra i parametri di una moderna analisi progettuale, quest'ultima dovrà essere compiuta in un'ottica di interdisciplinarietà, in modo tale che i diversi aspetti di un problema possano essere valutati in maniera esaustiva.

In tale prospettiva è anche opportuno che le esigenze dell'ingegneria naturalistica siano tenute presenti già nella fase progettuale, in modo da ottenere risultati

indubbiamente migliori rispetto a quelli raggiungibili con interventi di mitigazione effettuati a posteriori.

In definitiva, attraverso l'impiego di queste tecniche si registrerebbe una positiva evoluzione nei criteri di gestione del territorio con il conseguente passaggio, per quanto concerne ad esempio i corsi d'acqua, da una fase di realizzazione di opere idrauliche ad una di opere "idro-ecologiche".

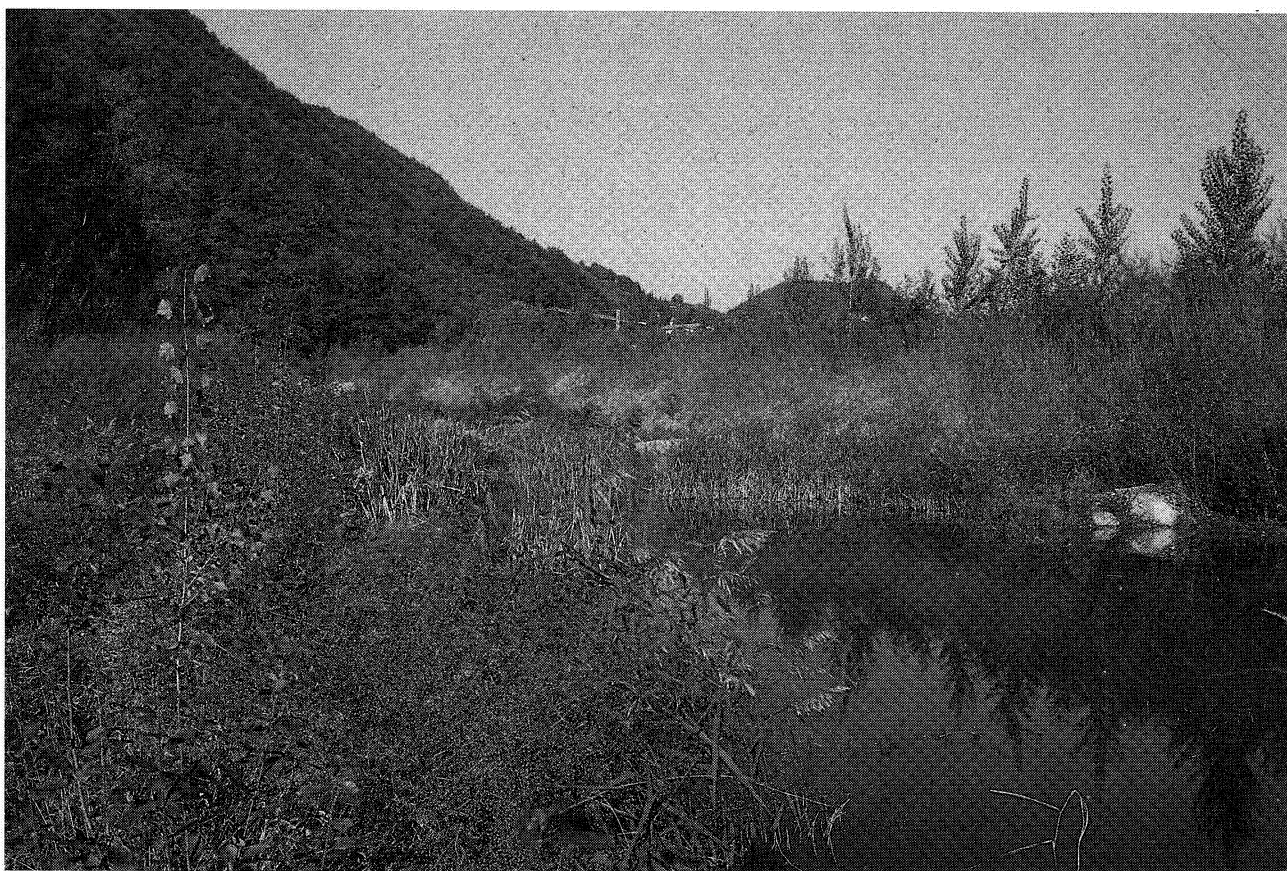


Foto n. 5 - Bacino di deposito del trasporto solido, rinaturalizzato con tecniche di ingegneria naturalistica (Nalles - Bz)

# A.

## I MATERIALI

In funzione dei problemi da risolvere o dei miglioramenti da apportare ad un ecosistema paranaturale, le tecniche di ingegneria naturalistica utilizzano diversi materiali tra cui le piante.

Attualmente, infatti, la tecnologia offre anche prodotti non naturali, ma di sintesi e, perciò, è opportuno suddividere i vari materiali disponibili in:

a - materiali organici (o naturali):

- materiali vegetali vivi;
- materiali organici inerti;

b - materiali di sintesi;

c - altri materiali.

### A.1 MATERIALI VEGETALI VIVI

Sono materiali provenienti dal mondo vegetale che hanno la capacità di rinnovarsi rapidamente rendendo più stabile il terreno:

a - *sementi*;

b - *semenzali e trapianti di specie arbustive o arboree*;

c - *talee di specie arbustive o arboree*: la talea è un segmento di fusto separato dalla pianta madre capace di produrre radici avventizie e di rigenerare così un altro esemplare, a volte con sviluppi considerevoli ed in breve tempo; questa capacità è insita in diverse specie quali: salici, pioppi, noccioli, ecc. Le talee possono presentarsi sotto diverse forme:

- *culmo*: stelo di graminacea, in genere elofita, che produce un tallo;

- *talea piccola*: fusto legnoso di 20-50 cm di lunghezza ed un diametro < 1-2 cm;

- *talea grossa*: fusto legnoso di 50-100 cm di lunghezza ed un diametro di 2-4 cm;

- *astone*: fusto legnoso di 1-3 m di lunghezza ed un diametro di 4-15 cm;

- *ramaglia*: rami dai quali non vengono eliminate le ramificazioni secondarie;

d - *rizomi e radici*: parti di organi sotterranei di riserva, in prevalenza di elofite, capaci di produrre nuove piante;

e - *piote erbose (zolle)*: insieme compatto di radici e fusti erbacei, di origine naturale o prodotti in vivaio; vengono commercializzati in elementi di dimensioni variabili (0,3-0,5 x 0,5-2,5 m), hanno uno spessore di 1-5 cm ed un peso di 20-30 kg/mq.

### A.2 MATERIALI ORGANICI INERTI

I materiali di origine organica, ma senza capacità vegetativa, vengono detti inerti o "morti"; il loro uso può rendersi necessario, ad esempio, qualora il periodo di intervento non sia idoneo all'impiego di quelli viventi; ovviamente è auspicabile, ove tecnicamente possibile, un uso combinato dei diversi materiali:

a - *legname*: tronchi, ramaglia, sciaveri, ecc.;

b - *reti di juta, fibra di cocco o di altri vegetali*: idonee al rivestimento di terreni soggetti ad erosione ed al successivo inerbimento; sono materiali caratterizzati da una decomposizione abbastanza rapida;

c - *stuoie in fibra di paglia, di cocco o di altri vegetali*: sono costituite da uno scheletro in materiale vegetale ed hanno impieghi simili alle precedenti; in commercio sono disponibili anche stuoie preseminate;

d - *paglia o fieno*: fissati al suolo mediante picchetti e fili di materiale biodegradabile consentono una buona protezione dall'erosione superficiale;

e - *compost*: a base di cellulosa e lignina, viene utilizzato nell'idrosemina per la realizzazione di un feltro di protezione del terreno, del seme e delle sostanze fertilizzanti e per il mantenimento di un certo grado di umidità;

f - *concimi organici*: da impiegarsi qualora il substrato sia povero di sostanze nutritive.

### A.3 MATERIALI DI SINTESI

Esistono diversi materiali di sintesi che consentono di integrare efficacemente le tecniche "biologiche" ed assolvere al ruolo di protezione del suolo fornendo una maggiore stabilità al terreno, soprattutto nelle prime delicate fasi di un intervento di consolidamento:

a - *griglie, reti o tessuti di materiale sintetico*: sono in poliammide, polietilene, poliestere o polipropilene e sono particolarmente idonee per:

- il rivestimento dei terreni soggetti ad erosione e da consolidare;

- il sostegno del terreno senza l'impiego di materiali quali ferro o calcestruzzo in quanto il tessuto è in grado di sopportare da solo le spinte e le tensioni esercitate dal terreno stesso;

- il trattenimento delle sementi lungo i pendii instabili;
- il drenaggio;
- l'impermeabilizzazione.

Possono essere bi-tridimensionali o a struttura alveolare (romboidale o esagonale) e vengono commercializzate in rotoli; dopo essere state messe in opera possono essere eventualmente ricoperte con terreno ed inerbite;

- b - *fertilizzanti chimici*: da impiegarsi qualora il substrato sia povero di sostanze nutritive;
- c - *collanti chimici*: da utilizzarsi qualora vi siano fenomeni erosivi di un certa rilevanza;
- d - *sostanze miglioratrici del terreno*: idonee su substrati poveri di sostanze nutritive o con una struttura ed una tessitura del terreno non ottimali.

#### A.4 ALTRI MATERIALI

Vi sono altri materiali che vengono spesso utilizzati nelle tecniche di ingegneria naturalistica e, in particolare, si ricordano:

- a - *pietrame*: viene impiegato spesso per opere di protezione, di consolidamento e, più raramente, di sostegno, nonché per la realizzazione di opere trasversali quali le rampe di risalita per pesci;
- b - *ferro e acciaio*: sono normalmente utilizzati quali elementi accessori di alcune tipologie di opere quali, ad esempio, le difese spondali flessibili e le terre rinforzate.

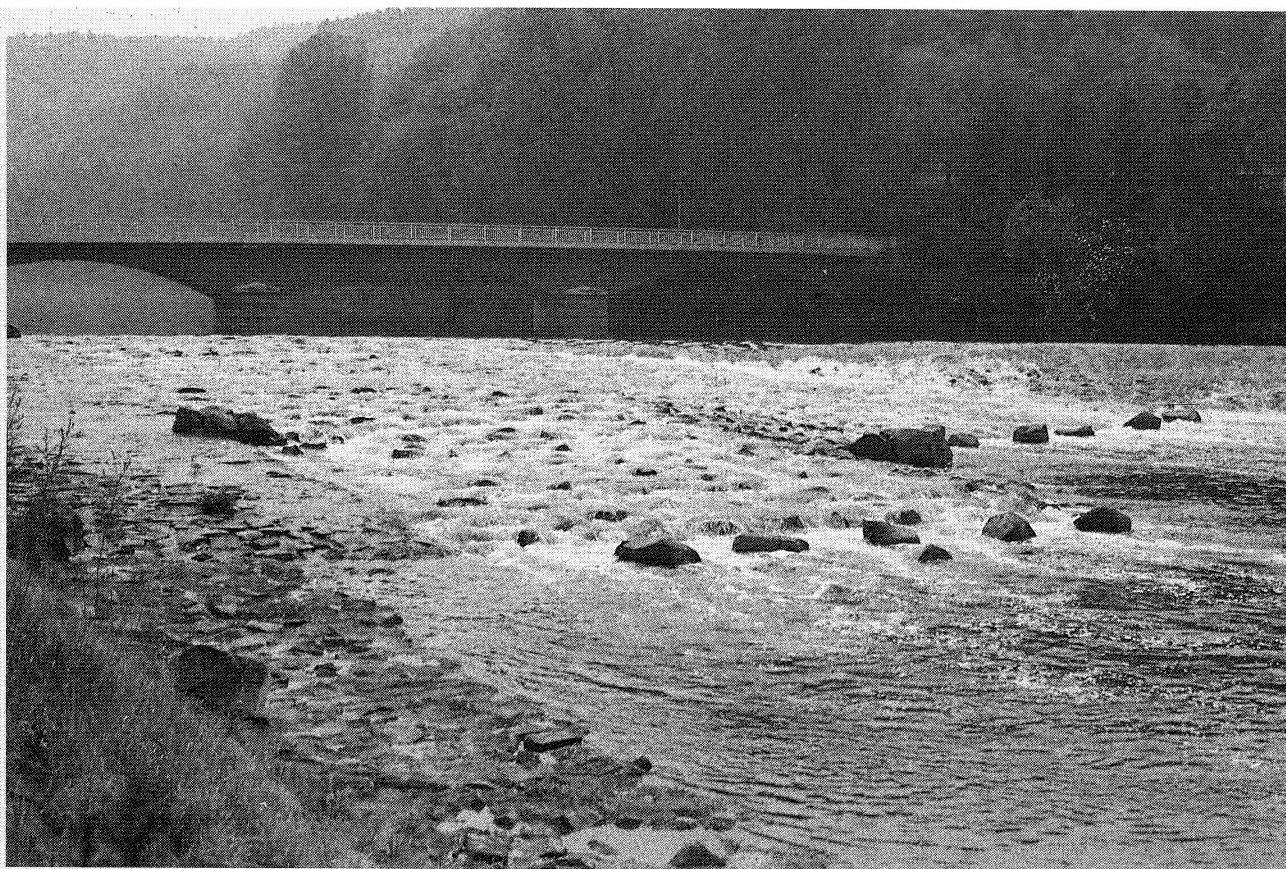


Foto n. 6 - Rampa in pietrame (la realizzazione di tali opere favorisce la risalita della fauna ittica) (Fiume Sieg)

# B.

## LE METODOLOGIE

### B.1 CONCETTI GENERALI

Nell'ingegneria naturalistica le piante non sono più considerate solo da un punto di vista estetico, ma piuttosto come un efficace materiale vivente da costruzione e ciò costituisce la peculiarità maggiore di tale disciplina che si differenzia da quelle che utilizzano solo materiali inerti o impiegano le piante per l'arredo degli spazi urbani; le moderne innovazioni, inoltre, hanno consentito di ampliare le applicazioni di queste tecniche vegetali e di aumentarne l'efficacia.

I principali vantaggi offerti dall'uso dei materiali viventi sono i seguenti:

a - svolgono un'importante funzione antierosiva (Fig. 26). In particolare, ai fini del consolidamento del terreno le piante assolvono ad un'importante funzione meccanica trattenendo le particelle del suolo ed evitando il loro dilavamento: è stato calcolato che

la resistenza alla trazione di certe radici di graminacee è di 20-30 N/mq (*Borkenstein*), quella degli arbusti è di 100-140 N/mq e quella della copertura diffusa di salici è di 150-300 N/mq (*Florineth*);

b - conferiscono stabilità al terreno in maniera dinamica, direttamente proporzionale al loro sviluppo (Fig. 27);

c - costano relativamente poco, in quanto spesso si trovano in loco e/o provengono da operazioni di manutenzione di lavori simili effettuati in precedenza e di conseguenza anche l'onere per il trasporto può essere modesto; si può affermare che, in diversi casi, queste tecniche consentono sostanziali economie (40-90%) in rapporto a quelle tradizionali;

d - creano habitat naturali per la fauna selvatica (luoghi di alimentazione, di rifugio e di riproduzione);

e - forniscono un ombreggiamento utile per limitare l'eccessiva crescita di altre compagini vegetali in-

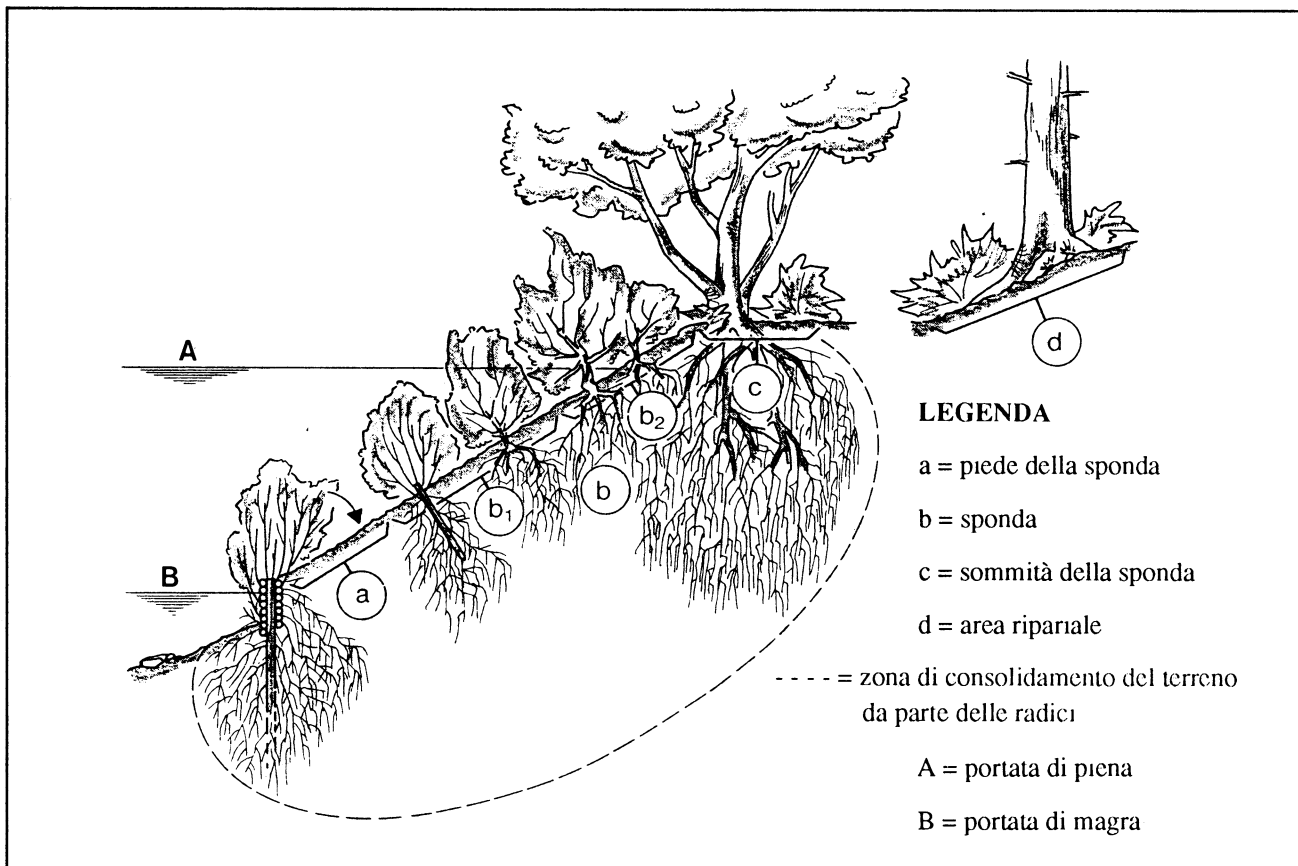
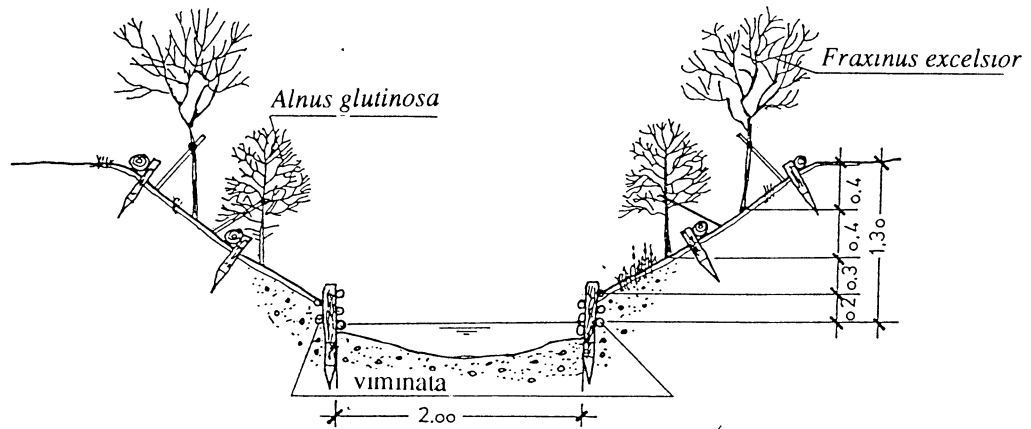


Fig. 26 - Possibili applicazioni di tecniche vegetali in un fiume (profilo trasversale) (Lachat, 1991)

Situazione post-intervento



Situazione dopo 10 anni

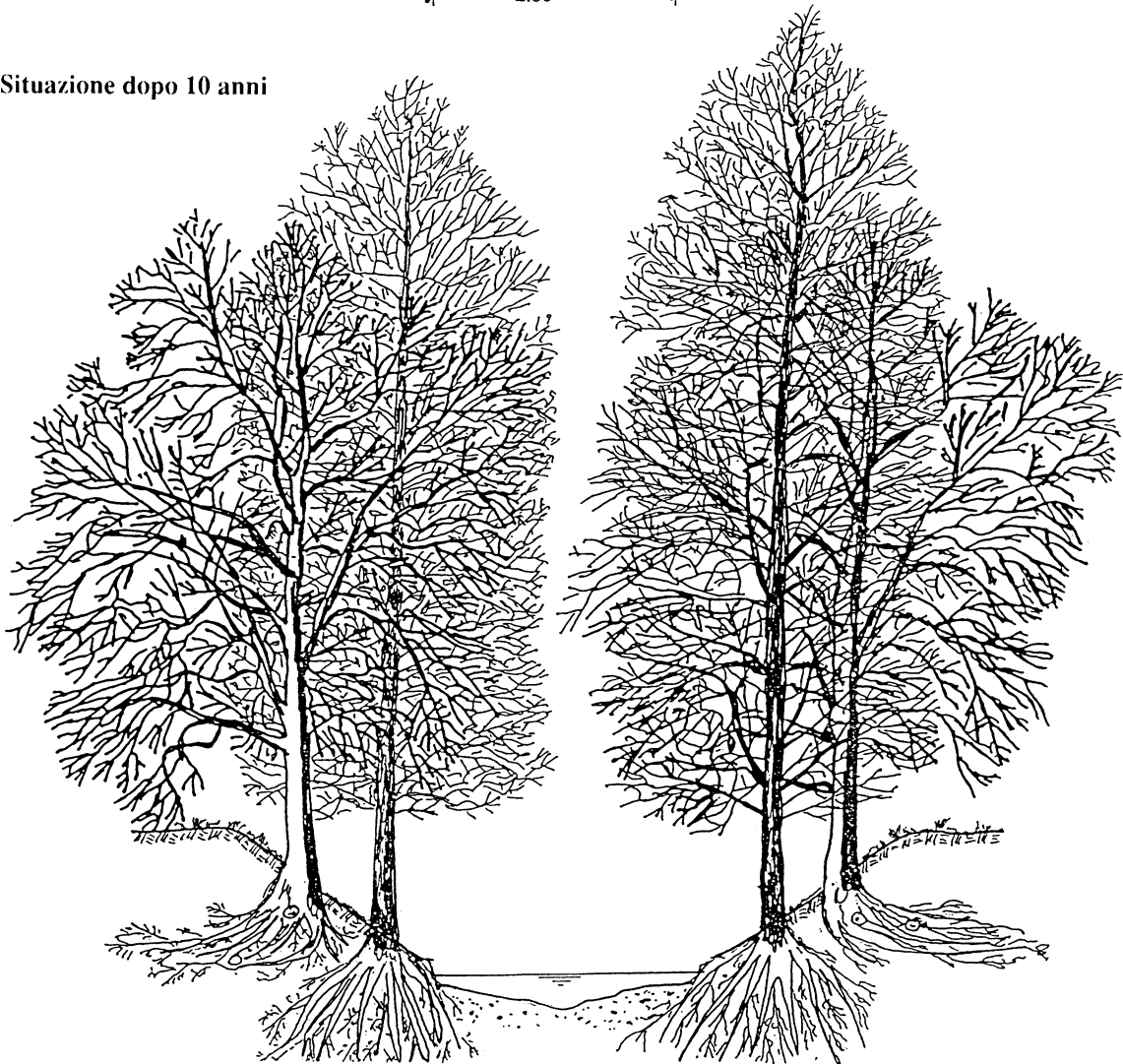


Fig. 27 - Evoluzione spatio-temporale di un consolidamento di sponda con viminate e messa a dimora di piantine (Hauck, 1990)

desiderate nell'alveo fluviale, mantenendo bassa, nel tempo, la temperatura dell'acqua;

- f - favoriscono, a livello radicale, la depurazione del corso d'acqua dalle impurità presenti assimilando gli eccessi di sostanza organica ed assorbendo anche metalli pesanti o altre sostanze chimiche (fitodepurazione);
- g - contribuiscono ad aumentare la diversità biologica, principale fattore di pregio e di stabilità di ogni ambiente naturale;
- h - non sconvolgono le relazioni che intercorrono tra il corso d'acqua e la falda freatica;
- i - conservano e migliorano il paesaggio ed il patrimonio naturale e culturale che esso rappresenta.

I principali svantaggi di tali tecniche possono essere così riassunti:

- a - richiedono, in genere, una regolare manutenzione, scaglionata nel tempo ed eseguita da manodopera professionalmente competente;
- b - esistono fattori limitanti (altitudine, luce, regime termo-pluviometrico, tipologia del suolo, inquinamento, periodo di intervento, ecc.);
- c - non sempre i risultati sono immediati e richiedono un certo periodo di tempo per poterne verificare l'efficacia.

L'Italia, inoltre, avendo una configurazione geografica ed orografica molto ricca e diversificata, è caratterizzata da condizioni stagionali particolari che influenzano la distribuzione della vegetazione e la formazione di numerosi tipi di associazioni vegetali; ciò comporta la necessità di un adeguamento delle tipologie di inter-

vento in funzione delle varie situazioni ambientali riscontrabili.

Un'ulteriore considerazione di carattere generale da tenere presente in caso di un recupero ambientale è quella che gli ecosistemi risultano più stabili qualora il numero delle specie presenti sia elevato e, quindi, maggiore sia la diversità biologica complessiva.

Da ciò ne consegue l'opportunità di prevedere l'inserimento di un certo numero di specie vegetali in modo tale da rendere meno precario l'equilibrio ecologico che si sta cercando di ricreare.

La conoscenza delle esigenze delle diverse specie vegetali arboree, arbustive ed erbacee è, altresì, fondamentale per effettuare una loro corretta scelta e per la conseguente buona riuscita dell'intervento di ingegneria naturalistica.

A tal fine, nella fase progettuale, è importante precisare quale ruolo le piante dovranno svolgere in quella precisa situazione e, per fare ciò, sarà opportuno analizzare i seguenti fattori di natura fisica, chimica e biologica:

- a - il clima (regime termometrico, pluviometrico, ecc.);
- b - il suolo (profondità, granulometria, acidità, ecc.);
- c - l'orografia (altitudine, esposizione, pendenza, ecc.);
- d - le caratteristiche biotecniche delle piante (capacità di consolidamento del terreno, di resistenza alle sollecitazioni meccaniche, all'erosione ed all'inghiottimento, di miglioramento del suolo, di depurazione delle acque, ecc.) (Fig. 28);
- e - le caratteristiche fisiologiche delle piante: capacità di propagazione e di moltiplicazione, velocità di crescita, resistenza ad attacchi parassitari, rusticità ed adattabilità (specie viventi in un ampio spettro di

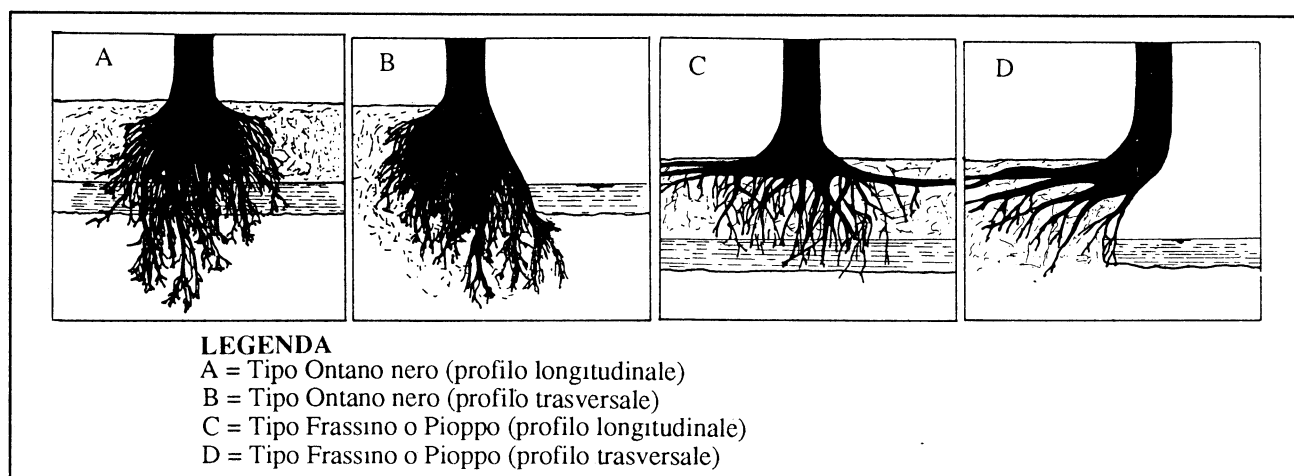


Fig. 28 - Diversità tipologiche degli apparati radicali (Lachat, 1991)

ambienti hanno spesso minori esigenze edafiche o climatiche);

- f - il grado di inserimento ecologico (sono da preferirsi le piante autoctone);
- g - il grado di inserimento estetico-paesaggistico (cromatismo, morfologia, ecc.);
- h - l'evoluzione spazio-temporale dell'ecosistema (associazioni e successioni vegetali);
- i - la provenienza delle sementi e delle piante e la relativa disponibilità sul mercato vivaistico;
- l - il periodo di intervento;
- m - la necessità di cure colturali.

Un intervento di ingegneria naturalistica può, infine, considerarsi riuscito qualora si siano verificate le seguenti condizioni:

- a - la copertura vegetale (erbacea, arbustiva ed arborea) è totale e si è affermata un'associazione stabile;
- b - il substrato sterile si è trasformato in terreno vegetale;
- c - i fattori predisponenti l'instabilità del versante sono stati neutralizzati;
- d - la superficie oggetto di intervento è tutelata e gestita in maniera adeguata.

In sintesi, si può sostenere che è da considerare ben riuscita un'azione di consolidamento o di recupero ambientale se, dopo un certo intervallo di tempo, non è più riconoscibile "la mano dell'uomo" e cioè se è difficilmente individuabile la zona ripristinata.

In conclusione, considerando che nei recuperi ambientali è consigliato tendere a diversificare al massimo le caratteristiche morfo-ecologiche dell'ambiente,

nei corsi d'acqua, ad esempio, è opportuno realizzare sponde con pendenze variabili, mantenere sinuosi i tracciati, prevedere tratti non sistemati (il "non intervento" è, in certe situazioni, l'approccio più corretto) (Fig. 29).

Alla base di una oculata scelta delle modalità di intervento vanno predisposte, quindi, precise indagini fitosociologiche e stazionali, supportate da paralleli studi geologici ed ingegneristici in un'ottica di interdisciplinarietà progettuale quale presupposto imprescindibile per un corretto approccio a tali problemi (Fig. 30).

### Considerazioni generali

- 1 - I pendii soggetti a fenomeni franosi, spesso, prima di essere rinverditi, devono essere interessati da lavori preparatori di rimodellamento del terreno. E', infatti, necessario riportare le condizioni di stabilità del terreno a livelli di sicurezza rimuovendo, mediante lo scoronamento, le sporgenze e le parti più ripide ed instabili. Il grado di stabilità di un versante è legato a vari fattori tra i quali vanno ricordati la natura del terreno (granulometria, tessitura, porosità, ecc.) ed il clima. La vegetazione assolve ad una funzione di consolidamento delle particelle del terreno e, quindi, consente di ottenere pendenze più elevate rispetto a quelle ottenibili con pendii nudi, con evidenti vantaggi anche dal punto di vista economico.
- 2 - In relazione al valore ecologico intrinseco del terreno vegetale eventualmente presente nell'area oggetto di un qualsiasi intervento sul territorio che preveda un successivo recupero ambientale (ad esem-

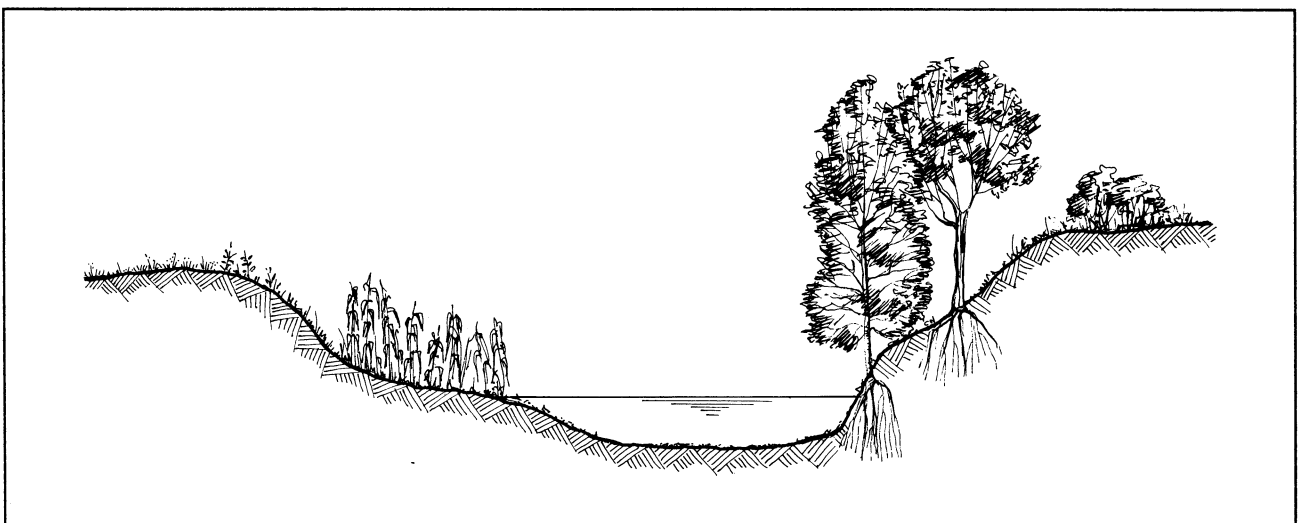


Fig. 29 - Diversità morfologica ed ecologica in ambito fluviale

pio una cava) è consigliato provvedere alla rimozione ed allo stoccaggio del suddetto terreno che, in seguito, potrà essere utilizzato in loco al fine di costituire un prezioso substrato per la messa a dimora di specie vegetali.

3 - Il terreno vegetale eventualmente utilizzato e proveniente da altro sito dovrà rispondere a determinate caratteristiche, quali:

- assenza di corpi estranei;
- assenza di pietrame;
- presenza di materiale inerte grossolano, avente un diametro > 2 mm, in quantità inferiore al 25% del volume totale;
- assenza di materiale legnoso (tronchi, rami, radici);
- assenza di agenti patogeni della vegetazione;
- assenza di sostanze tossiche.

A tal fine l'effettuazione di un'analisi del suolo consentirà di evidenziare le caratteristiche fisico-chimiche del materiale.

4 - E' importante non eccedere nella quantità di terreno vegetale adoperato in quanto le radici delle piante tenderebbero a colonizzare lo strato fertile ma incoerente, senza ancorarsi al substrato roccioso, con possibili conseguenze di smottamenti per sovraccarico; è consigliato, quindi, riportare uno strato di terreno non superiore a 5-10 cm di spessore.

5 - Le specie vegetali da impiegare devono offrire una grande capacità di resistenza, una crescita rapida, una copertura diffusa, una radicazione forte ed un'elevata rusticità, soprattutto per quanto riguarda le esigenze edafiche.

6 - Particolare attenzione andrà posta per la salvaguardia della vegetazione arborea ed arbustiva presente

## **FATTORI DA VALUTARE NELLA SCELTA DEL METODO DI CONSOLIDAMENTO DELLE SPONDE FLUVIALI CON TECNICHE BIOLOGICHE**

### **FATTORI ABIOTICI**

#### **OROGRAFIA:**

- pendenza
- altitudine
- esposizione

#### **CLIMA:**

- precipitazioni
- luce

#### **SUOLO:**

- struttura
- porosità
- profondità
- acidità
- sostanza organica

#### **REGIME IDRAULICO:**

- livello dell'acqua
- velocità della corrente
- qualità chimica e fisica dell'acqua

### **FATTORI BIOTICI**

#### **VEGETAZIONE:**

- composizione specifica
- struttura epigea e ipogea
- rusticità
- resistenza ai parassiti
- capacità di moltiplicazione
- grado di naturalità
- resistenza alle sollecitazioni meccaniche

#### **FAUNA:**

- periodo riproduttivo
- esigenze trofiche
- aree di rifugio

### **FATTORI ANTROPICI**

- periodo di intervento
- possibilità di manutenzione
- grado di fruizione dell'area
- modalità di esecuzione del lavoro

*Fig. 30 - Fattori da valutare nella scelta del metodo di consolidamento delle sponde fluviali con tecniche biologiche (Lachat, 1991 - modificata)*

in loco, in quanto, se compatibile con i lavori previsti, consente di ottenere, a costo zero, un recupero ambientale, nonché idrogeologico, più immediato e più sicuro.

- 7 - Quando si opera con materiale vegetale vivente è necessario che l'esecutore del lavoro fornisca una garanzia di attecchimento del 100% per le piante messe a dimora, relativamente ad un arco di tempo determinato, e che venga previsto il risarcimento delle eventuali fallanze.
- 8 - Qualora si eseguano dei recuperi ambientali in zone soggette al pascolo di animali domestici o selvatici è consigliato realizzare opportune recinzioni per la protezione delle piantine.
- 9 - L'uso di mezzi meccanici idonei, come ad esempio particolari escavatori (tipo "ragno"), consente di ridurre l'impatto anche nelle importanti fasi di impianto del cantiere e di realizzazione dell'opera.
- 10 - I fini naturalistici di un recupero ambientale si basano, oltre che su precise regole ecologiche, anche sul rispetto e sulla sensibilità nei confronti della flora e della fauna spontanea e dell'ambiente in generale. Al termine dell'intervento, pertanto, è opportuno rimuovere tutti i residui di lavorazione ancora presenti nel cantiere (contenitori vari, parti di griglie o reti, filo di ferro, ecc.).

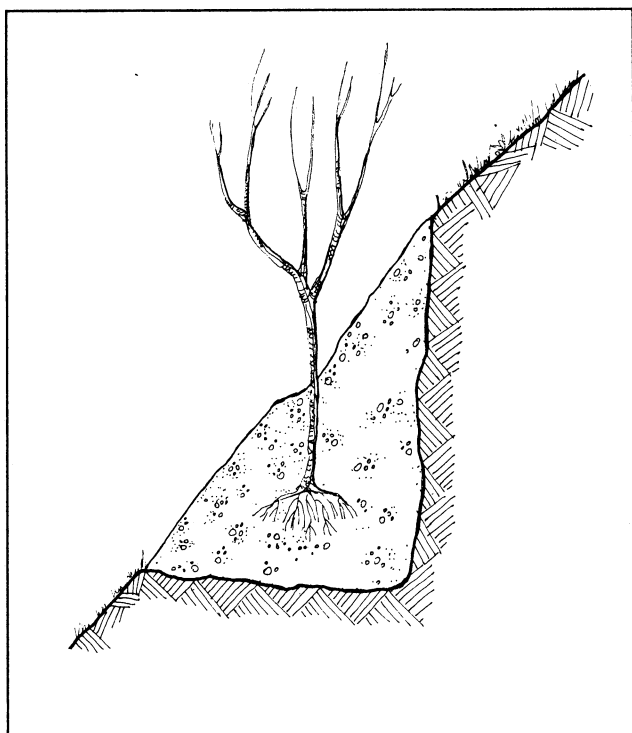


Fig. 31 - Piantina radicata

## B.2 USO DI MATERIALE VEGETALE VIVO

### Piante intere

- a - *Semenzali e trapianti di specie arbustive o arboree*: si possono impiegare sulle rive dei corsi d'acqua (al piede delle sponde le piante elofite, nell'alveo le idrofite) o sulle pendici instabili, anche ad integrazione del consolidamento effettuato con talee. Gli alberi e gli arbusti possono essere acquistati a radice nuda (latifoglie), in fitocella o con pane di terra e l'apparato radicale dovrà essere proporzionato alle dimensioni della chioma (Fig. 31); va sottolineato il fatto che, però, le piante a radice nuda non offrono le stesse garanzie di attecchimento di quelle in fitocella o con pane di terra. Per quanto concerne la messa a dimora delle piantine, il periodo più idoneo è quello del riposo vegetativo. Particolare cura dovrà essere posta sia nell'acquisto del materiale vegetale, verificando attentamente la provenienza, lo stato sanitario (assenza di malattie, parassiti, ferite, ecc.) e le dimensioni, sia durante il trasporto e la messa a dimora delle piante, al fine di evitare di procurare loro ferite, traumi, essiccamenti, ecc.
- b - *Piote o zolle erbose*: servono a proteggere le sponde o i pendii sistemati di recente (Fig. 32). La posa in opera delle zolle può avvenire in diversi modi: a

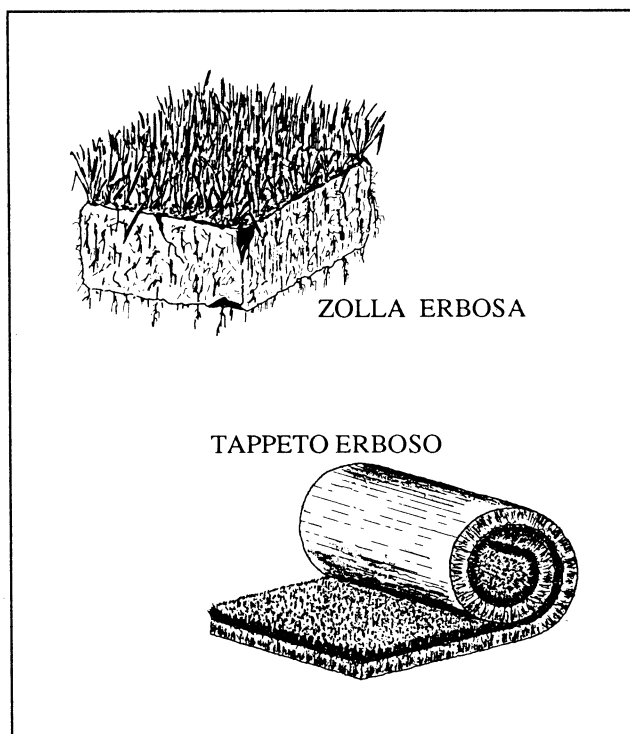


Fig. 32 - Piote e tappeti erbosi  
(Lachat, 1991)

scacchiera, a linee oblique, a cordoni orizzontali, in modo continuo o isolatamente; gli eventuali spazi vuoti verranno chiusi naturalmente dalla vegetazione spontanea con il passare del tempo, anche se, a volte, si potranno verificare difficoltà in tal senso. In relazione agli elevati costi di impianto, gli interventi che prevedono la copertura totale potranno essere effettuati solo su piccole superfici o in zone molto importanti da un punto di vista naturalistico laddove l'impiego di specie autoctone risulti essere indispensabile; va sottolineato il fatto che l'utilizzo di zolle provenienti da località limitrofe è una garanzia di idoneità del materiale di propagazione utilizzato. E' consigliato, infine, utilizzare le zolle erbose durante il periodo vegetativo e collocarle su di un sottile strato di terreno.

c - *Tappeto erboso*: assolve alle stesse funzioni delle piante erbose naturali, ma la sua produzione in vivaio offre alcuni vantaggi: maggiore disponibilità, maggiore uniformità e relativo migliore attecchimento. Risulta di fondamentale importanza, però, la possibilità del reperimento sul mercato di tappeti erbosi con composizione specifica diversificata ed in stretta relazione con la stazione ecologica di impiego; anch'esso va messo a dimora durante il periodo vegetativo (Fig. 32).

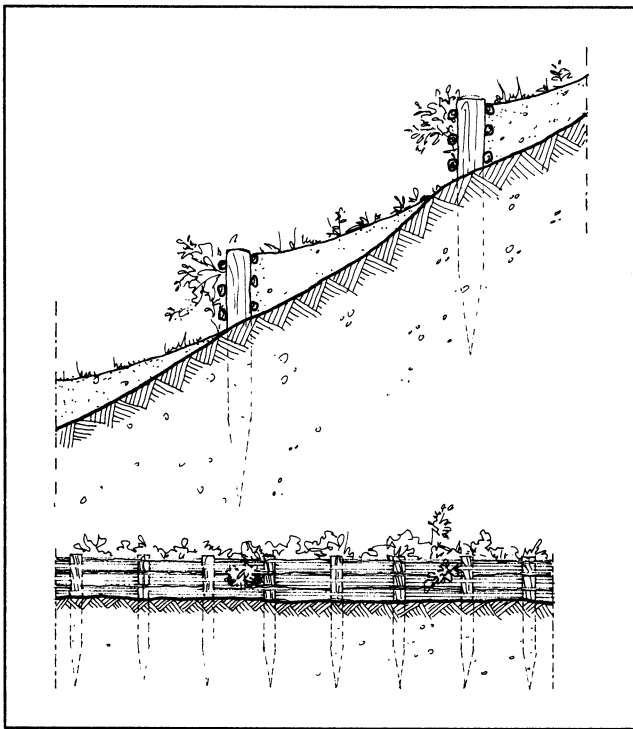


Fig. 33 - Viminata

### Parti di pianta

a - *Talea*: diverse specie (*Salix spp.*, *Populus spp.*, ecc.)

hanno la capacità di svilupparsi a partire da semplici rami o loro parti, denominate appunto talee. Con esse si possono realizzare alcune tra le tipologie di consolidamento del terreno più importanti, quali:

- la viminata: talee intrecciate tra paletti (Fig. 33);
- la fascinata: rami lunghi e raccolti a mazzi, di lunghezza > 1 m; si possono così realizzare consolidamenti di pendici soggette ad erosione, nonché drenaggi (Fig. 34);
- la difesa spondale con ramaglia: fasci di rami stesi in una nicchia di erosione di una sponda fluviale e trattenuti da pali di legno; l'effetto filtrante della struttura determina un deposito dei materiali fini trasportati in sospensione dalla corrente che aumenta la stabilità dell'opera, la quale protegge la sponda dall'azione erosiva dell'acqua;
- la copertura diffusa con astoni: grosse talee disposte sulle sponde dei corsi d'acqua in modo da formare un rivestimento dell'intera superficie e svolgere così una funzione antierosiva;
- il rinverdimento dei manufatti: le talee sono utilissime per poter rinverdire le opere di consolidamento, di sostegno o di difesa spondale quali: gabbioni, scogliere, muri di sostegno o palificate.

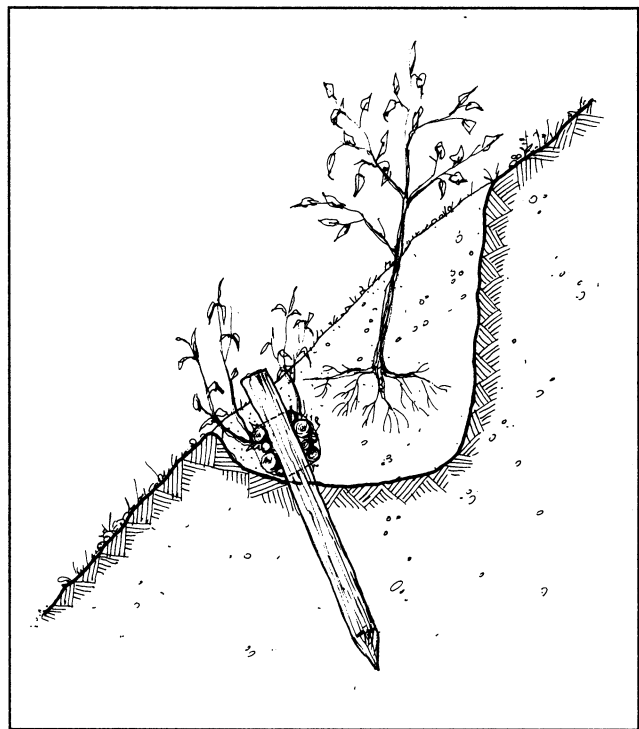


Fig. 34 - Fascinata

L'epoca del taglio e dell'utilizzo delle talee è legata al periodo di riposo vegetativo delle diverse specie e, quindi, a quello autunnale-primaverile; tutte le talee, comunque, per poter radicare e svilupparsi, devono essere dotate di gemme laterali. Le talee, se poste orizzontalmente, producono una maggiore massa di radici, a differenza di quelle poste in senso verticale. Particolare attenzione, infine, andrà posta durante il trasporto e lo stoccaggio al fine di evitarne l'essiccamento.

- b - *Margotta*: tecnica che consiste nel piegamento di un ramo o di un pollone e nel suo successivo interrimento: in tali condizioni vengono emesse nuove radici e, una volta che il ramo viene separato dalla pianta madre, si ha un nuovo esemplare (Fig. 35).
- c - *Rizomi*: si possono ottenere individui arborei o arbustivi anche utilizzando rizomi o loro parti.

### Sementi

I principali obiettivi raggiungibili con l'impiego di idonei miscugli di sementi di specie erbacee sono di carattere idrogeologico (azione antierosiva), naturalistico e paesaggistico.

I campi di applicazione degli inerbimenti sono vari: versanti franosi, piste da sci, argini fluviali, ex-cave, discariche, infrastrutture viarie o ferroviarie, ecc.

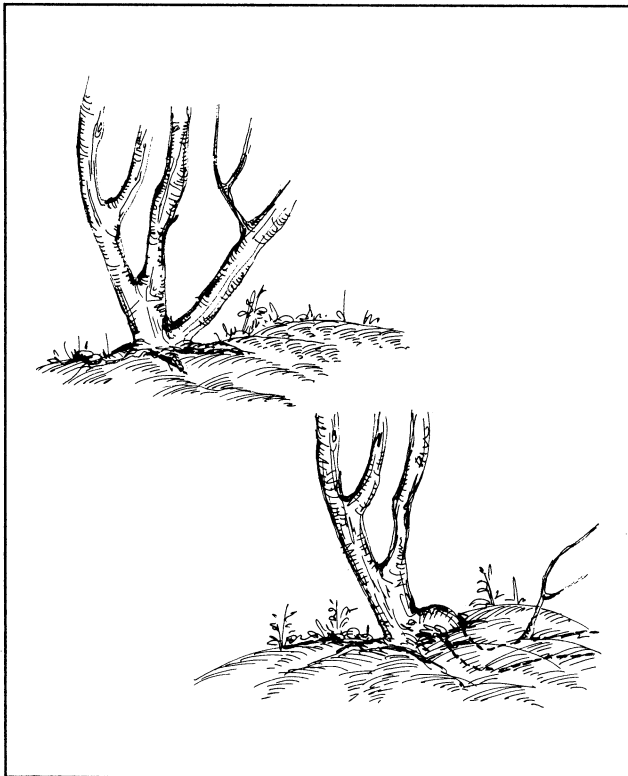


Fig. 35 - Margotta

Particolare attenzione andrà posta nell'adeguato modellamento del terreno, nella corretta scelta del periodo di intervento, ma soprattutto nella selezione del miscuglio delle sementi da adoperare in funzione delle condizioni pedoclimatiche e della vegetazione presente nella località in cui si intende intervenire.

Un buon miscuglio, di solito, è composto da graminacee (ad azione radicale superficiale), da leguminose (ad azione radicale profonda e con capacità di arricchimento del terreno con azoto) (Fig. 36) e, talvolta, da specie arbustive o arboree.

La produzione delle sementi per inerbimenti in Italia è sempre stata orientata verso il settore del verde urbano, ma l'ingegneria naturalistica richiede produzioni di specie vegetali anche diverse, in quanto necessita di una maggiore varietà legata alla considerevole variabilità degli ambiti di intervento.

Un ottimo prodotto può essere considerato il "fiorume" ricavabile dai fienili, ma è evidente quanto risulti difficoltoso il suo reperimento e, inoltre, le quantità richieste sono elevate (0,5-2 kg/mq); se ne consiglia quindi l'uso solo su piccole superfici di notevole valore naturalistico, in quanto il miscuglio di sementi è sicuramente composto da specie autoctone idonee al sito.

Oltre al miscuglio di sementi di specie erbacee o al fiorume è opportuno distribuire, di solito, sia dei fertilizzanti, sia dei prodotti correttivi delle proprietà chimiche (acidità) o fisiche (tessitura, permeabilità, igroscopicità) del terreno su cui si intende procedere all'inerbimento.

Attualmente sono in commercio diversi prodotti in grado di migliorare le qualità chimico-fisiche del terreno, di fungere da leganti o da fertilizzanti in quanto composti da particolari sostanze organiche (alghe, crostacei, farine, spore fungine, ecc.) o sintetiche (resine, schiume, ecc.); in generale sono da preferirsi le sostanze di origine naturale e biodegradabili in tempi brevi.

La semina del fiorume o del seme prodotto in vivaio, da effettuarsi preferibilmente durante il periodo vegetativo, può avvenire manualmente o meccanicamente ed appartenere alle seguenti diverse tipologie:

- a - *semina a spaglio*;
- b - *idrosemina*: le sementi di specie erbacee sono poste in soluzioni acquose contenenti concimi chimici o organici, sostanze miglioratrici del terreno, leganti, prodotti fito-ormonici; diverse sono le soluzioni possibili, in relazione alla tipologia ed alla quantità delle sostanze impiegate;
- c - *semina con coltre protettiva di paglia (mulch)*: le sementi vengono distribuite sul terreno e poi rico-

perte da materiale vegetale (mulch) a funzione protettiva; è particolarmente idonea su superfici povere di humus;

d - *semina con coltre protettiva di paglia e bitume (sistema Schiechteln ®)*: le sementi vengono coperte da sostanze vegetali (paglia) fissate da un'emulsione bituminosa a funzione protettiva.

E' comunque sempre consigliato l'inserimento di specie vegetali tipiche della zona, anche se l'azione miglioratrice del terreno di particolari specie pioniere transitorie può costituire un valido aiuto all'insediamento di quelle definitive più esigenti (Figg. 37-38-39).

### B.3 USO DI GRIGLIE, RETI, STUOIE O TESSUTI

Esistono in commercio numerosi prodotti specifici quali griglie, reti, stuoie o tessuti che possono essere impiegati in svariate condizioni e con diverse finalità:

- a - consolidamento di versanti franosi;
- b - consolidamento di sponde, argini, rive fluviali o lacustri;
- c - consolidamento di dune costiere;
- d - consolidamento di piste da sci;
- e - recupero di ex-cave;
- f - consolidamento di rilevati artificiali (discariche, infrastrutture viarie e ferroviarie, ecc.);
- g - costruzione di barriere antirumore;
- h - realizzazione di parchi urbani ed impianti sportivi.

Le griglie, le reti, le stuoie o i tessuti possono essere di materiale naturale, sintetico o misto e vengono sempre più utilizzati in quanto offrono diversi vantaggi, quali:

- a - riduzione dell'erosione superficiale di origine idrica o eolica durante il delicato periodo post-intervento di sistemazione in attesa che la copertura vegetale si affermi; sono particolarmente utili in zone caratterizzate da notevoli avversità ambientali;
- b - protezione e stabilità degli strati superficiali del terreno contro eventuali smottamenti o slittamenti, in quanto inglobano le particelle del suolo incoerenti o imbibite d'acqua;
- c - capacità di distribuzione dei carichi e degli sforzi di trazione su ampie superfici;
- d - possibilità di inerbimento delle superfici interessate dall'intervento, sia in relazione alla capacità di trattenuta delle particelle di terreno più fini utili allo

sviluppo della vegetazione, sia per la costituzione di un supporto per le specie vegetali pioniere;

- e - possibilità di realizzare pendii con inclinazioni superiori a quelle ottenibili basandosi solo sulla forza di coesione del terreno;
- f - riduzione dell'evaporazione idrica del terreno e capacità di conservazione di un certo grado di umidità del suolo: le reti di origine naturale possono assorbire 2-3 l/mq di acqua;
- g - formazione di un benefico "effetto-serra" con conseguente trattenuta di calore;
- h - capacità di drenaggio degli accumuli di acqua nel terreno;
- i - capacità di impermeabilizzazione del terreno;
- l - disponibilità di una vasta gamma di prodotti con diversi gradi di permeabilità, di resistenza, di flessibilità, di elasticità e di maneggevolezza per svariate possibilità di impiego;
- m - competitività economica rispetto a soluzioni tradizionali, in relazione ai costi di produzione, di trasporto e di posa in opera.

Le reti o le stuoie di origine naturale hanno, inoltre, la capacità di incrementare la fertilità del terreno in seguito alla loro decomposizione ed al conseguente apporto di sostanza organica; esse sono totalmente biodegradabili, in quanto costituite da cellulosa e lignina (si decompongono completamente in 1-6 anni) ed inoltre non sono dannose per piante ed animali.

In sintesi, la loro funzione principale risulta essere quella di protezione temporanea del suolo nella delicata fase di attecchimento della vegetazione.

Le griglie, le reti ed i tessuti di origine sintetica, invece, sono inattaccabili dagli agenti chimici presenti nel terreno, per cui possono avere un impiego nelle situazioni in cui la rete deve mantenere le proprie caratteristiche tecniche nel tempo (ad esempio: le terre rinforzate).

Il loro impiego varia soprattutto in funzione del grado di resistenza alla trazione: i tessuti non tessuti in poliestere hanno principalmente una funzione drenante, mentre le griglie in poliammide (resistenza alla trazione: 1-3 kN/m) sono adatte per ridurre l'erosione su versanti o su rilevati di limitata pendenza; infine, vi sono le griglie e i tessuti in polietilene, in polipropilene e in poliestere (resistenza alla trazione: 15-1000 kN/m) che sono idonei sia per consolidare versanti in erosione, sia per costituire veri e propri muri di sostegno (terre rinforzate) rinverdibili attraverso la messa a dimora di specie vegetali.

SPECIE ERBACEE	A	B	P	U	I	S
<b>Graminacee</b>						
Agropyron repens			x		x	
Agrostis stolonifera			x	x		
Agrostis tenuis			x	x		
Alopecurus pratensis			x	x		
Anthoxanthum odoratum			x			x
Arrhenatherum elatius			x			x
Avena fatua	x				x	
Avena sativa	x			x		
Avenella flexuosa			x		x	
Brachypodium pinnatum			x			x
Bromus inermis			x			x
Cynodon dactylon			x			x
Cynosurus cristatus			x	x		
Dactylis glomerata			x			x
Deschampsia caespitosa			x	x		
Festuca arundinacea			x		x	
Festuca duriuscula			x			x
Festuca ovina			x			x
Festuca pratensis			x	x		
Festuca rubra			x		x	
Festuca tenuifolia			x			x
Festuca trichophylla			x		x	
Holcus lanatus			x	x		
Koeleria cristata			x			x
Lolium multiflorum		x		x		
Lolium perenne			x		x	
Phalaris arundinacea			x	x		
Phleum pratense			x		x	
Poa alpina			x		x	
Poa annua	x				x	
Poa compressa			x		x	
Poa pratensis			x		x	
Poa trivialis			x	x		
Trisetum flavescens			x			x

#### LEGENDA

##### Ciclo biologico

A = pianta annuale

B = pianta biennale

P = pianta perenne

##### Esigenza di umidità nel terreno

U = ambiente umido

S = ambiente secco

I = indifferente

Fig. 36a - Principali specie erbacee (graminacee) idonee per inerbimenti

SPECIE ERBACEE	A	B	P	U	I	S
<b>Leguminose e non graminoidi</b>						
Achillea millefolium			x			x
Anthyllis vulneraria			x			x
Carum carvi			x		x	
Chrysanthemum leucanthemum			x			x
Coronilla varia			x			x
Daucus carota		x				x
Lathyrus pratensis			x		x	
Lotus corniculatus			x			x
Lupinus polyphyllus			x			x
Medicago lupulina		x				x
Medicago sativa			x			x
Melilotus officinalis		x				x
Onobrychis viciifolia			x			x
Papaver rhoeas	x					x
Phacelia tanacetifolia	x					x
Pimpinella saxifraga			x			x
Plantago lanceolata			x			x
Sanguisorba minor			x			x
Trifolium dubium	x			x		
Trifolium hybridum			x	x		
Trifolium pratense			x	x		
Trifolium repens			x		x	
Vicia sativa	x					x
Vicia villosa	x					x

#### LEGENDA

##### Ciclo biologico

A = pianta annuale

B = pianta biennale

P = pianta perenne

##### Esigenza di umidità nel terreno

U = ambiente umido

S = ambiente secco

I = indifferente

Fig. 36b - Principali specie erbacee (leguminose e non graminoidi) idonee per inerbimenti

SPECIE ARBOREE		P	C	M
Abies alba	Abete bianco		x	x
Acer campestre	Acero campestre	x	x	*
Acer platanoides	Acero riccio		x	x
Acer pseudoplatanus	Acero di monte		x	x
Alnus glutinosa	Ontano nero	x	x	x
Alnus incana	Ontano bianco			x
Betula pendula	Betulla bianca		*	x
Carpinus betulus	Carpino bianco	x	x	*
Castanea sativa	Castagno		x	x
Corylus avellana	Nocciolo	*	x	x
Fagus sylvatica	Faggio			x
Fraxinus excelsior	Frassino	x	x	x
Fraxinus ornus	Orniello	x	x	x
Laburnum alpinum	Maggiociondolo alpino			x
Laburnum anagyroides	Maggiociondolo		x	x
Larix decidua (°)	Larice			x
Malus sylvestris	Melo selvatico		x	x
Morus alba	Gelso bianco	x	x	
Morus nigra	Gelso nero	x	x	
Ostrya carpinifolia	Carpino nero	x	x	x
Picea abies (°)	Abete rosso			x
Pinus nigra	Pino nero		x	x
Pinus sylvestris	Pino silvestre		x	x
Pinus uncinata	Pino uncinato			x
Populus alba	Pioppo bianco	x	x	
Populus nigra	Pioppo nero	x	x	x
Populus tremula	Pioppo tremolo	*	x	x
Prunus avium	Ciliegio selvatico		x	x
Prunus padus	Pado	x	x	x
Pyrus pyrastrer	Perastro	x	x	*
Quercus cerris	Cerro		x	x
Quercus ilex	Leccio	x	*	
Quercus petraea	Rovere		x	x
Quercus pubescens	Roverella	*	x	
Quercus robur	Farnia	x		
Salix alba	Salice bianco	x	x	*
Salix caprea	Salicone		x	x
Salix fragilis	Salice fragile		x	*
Sorbus aria	Sorbo montano		x	x
Sorbus aucuparia	Sorbo degli uccellatori			x
Sorbus domestica	Sorbo domestico		x	
Sorbus torminalis	Ciavardello		x	*
Tilia cordata	Tiglio selvatico		x	*
Ulmus minor	Olmo campestre	x	x	x
Ulmus glabra	Olmo montano		x	x

#### LEGENDA

##### Piano di vegetazione

P = pianura: 0-100 m

C = collina: 100-800 m

M = montagna: oltre 800 m

Il simbolo (\*) è indice di una diffusione sporadica della specie.

Le specie contrassegnate con il simbolo (°) sono autoctone dell'arco alpino.

Fig. 37a - Principali specie arboree autoctone (distribuzione altimetrica)

SPECIE ARBUSTIVE		P	C	M
<i>Alnus viridis</i> (°)	Ontano verde		*	x
<i>Amelanchier ovalis</i>	Pero corvino		x	x
<i>Berberis vulgaris</i>	Crespino	x	x	x
<i>Buxus sempervirens</i>	Bosso	x	x	
<i>Calluna vulgaris</i>	Calluna	x	x	
<i>Colutea arborescens</i>	Colutea		x	
<i>Cornus mas</i>	Corniolo	x	x	*
<i>Cornus sanguinea</i>	Sanguinello	x	x	*
<i>Cotinus coggygria</i>	Scotano		x	
<i>Crataegus monogyna</i>	Biancospino	x	x	*
<i>Crataegus oxyacantha</i>	Biancospino		x	x
<i>Cytisus sessilifolius</i>	Citiso		x	x
<i>Erica arborea</i>	Erica	x	x	
<i>Euonymus europaeus</i>	Fusaggine	x	x	x
<i>Frangula alnus</i>	Frangola	x	x	x
<i>Genista germanica</i>	Ginestra spinosa		x	
<i>Genista tinctoria</i>	Ginestrella		x	
<i>Hippophae rhamnoides</i>	Olivello spinoso	x	x	x
<i>Ilex aquifolium</i>	Agrifoglio		x	x
<i>Juniperus communis</i>	Ginepro	x	x	x
<i>Ligustrum vulgaris</i>	Ligustro	x	x	*
<i>Lonicera xilosteam</i>	Caprifoglio		x	x
<i>Prunus spinosa</i>	Prugnolo	x	x	x
<i>Pyracantha coccinea</i>	Agazzino	x	x	
<i>Rhamnus alaternus</i>	Alaterno	x	x	
<i>Rhamnus cathartica</i>	Spino cervino		x	*
<i>Rosa canina</i>	Rosa canina	x	x	x
<i>Rubus caesius</i>	Rovo bluastro	x	x	x
<i>Salix apennina</i>	Salice appenninico		x	x
<i>Salix appendiculata</i>	Salice stipolato		*	x
<i>Salix cinerea</i>	Salice cenerino		x	*
<i>Salix daphnoides</i>	Salice nero		*	x
<i>Salix eleagnos</i>	Salice di ripa	x	x	x
<i>Salix nigricans</i> (°)	Salice di monte		x	x
<i>Salix pentandra</i>	Salice odoroso		*	x
<i>Salix purpurea</i>	Salice rosso	x	x	x
<i>Salix triandra</i>	Salice da ceste	x	x	x
<i>Salix viminalis</i>	Salice da vimini		x	x
<i>Sambucus nigra</i>	Sambuco nero	x	x	x
<i>Sambucus racemosa</i>	Sambuco rosso			x
<i>Sarothamnus scoparius</i>	Ginestra dei carbonai		x	x
<i>Spartium junceum</i>	Ginestra odorosa	x	x	
<i>Tamarix gallica</i>	Tamerice	x	x	
<i>Viburnum lantana</i>	Lantana	x	x	x
<i>Viburnum opulus</i>	Pallon di maggio	x	x	x

Fig. 37b - Principali specie arbustive autoctone (distribuzione altimetrica)

<b>SPECIE ERBACEE</b>	<b>I</b>	<b>E</b>	<b>P</b>	<b>C</b>	<b>M</b>
Acorus calamus		x	x	x	
Apium nodiflorum	x		x	x	x
Berula erecta	x		x	x	x
Callitriche palustris	x		x	x	x
Callitriche stagnatilis	x		x	x	x
Carex acutiformis		x	x	x	
Carex gracilis		x	x	x	x
Carex riparia		x	x	x	
Elodea canadensis	x		x	x	
Glyceria maxima	x		x	x	
Iris pseudacorus		x	x	x	
Myriophyllum spicatum	x		x	x	x
Nimphaea alba	x		x	x	x
Nuphar lutea	x		x	x	x
Petasites hybridus		x	x	x	x
Phragmites communis		x	x	x	x
Potamogeton crispus	x		x	x	x
Potamogeton pectinatus	x		x	x	x
Ranunculus aquatilis	x		x	x	
Schoenoplectus lacustris		x	x	x	x
Typha angustifolia		x	x	x	x
Typha latifolia		x	x	x	x

#### **LEGENDA**

##### **Ambiente**

I = pianta idrofita

E = pianta elofita

##### **Piano di vegetazione**

P = pianura: 0-100 m

C = collina: 100-800 m

M = montagna: oltre 800 m

*Fig. 38 - Principali specie erbacee acquatiche o riparie idonee per recuperi ambientali*

SPECIE ARBOREE	U	A	N	H	G	L	M	a	b	c	d
Acer campestre	2	III	m	2	3	3	x		*	x	x
Acer platanoides	2	III	m	2	3	1,2	x			*	x
Acer pseudoplatanus	2,v	II	m	2	3	2	x	*	x	x	x
Alnus glutinosa	3,v	II	+	3	4	3	x	*	x	x	
Alnus incana	2,v	III	+	2	3	3	x	x	x	x	x
Carpinus betulus	2	II	m	3	3	2	x			x	x
Corylus avellana	2	II	m	2	3	3	x	*	x	x	x
Fraxinus excelsior	3,v	III	+	2	3	3	x	*	x	x	x
Populus tremula	2	II	m	2	3	4	x	*	x	x	*
Prunus avium	2	II	m	2	3	3	x	*	*	*	x
Prunus padus	3,v	III	m	2	4	2	x		*	x	x
Quercus robur	2,v	i	m	3	3	3	x			x	x
Salix alba	3,v	II	+	2	1	3	+	x	x	x	
Salix caprea	2,v	II	m	2	3	3	m			x	x
Salix fragilis	2	II	+	2	3	4	+	*	x	x	
Sorbus aria	1	II	-	2	2	3	m		*	x	x
Sorbus aucuparia	2	I	-	2	3	3	x		*	x	x
Tilia cordata	1	II	-	2	1	2	x			*	x
Ulmus carpinifolia	2,v	III	m	2	3	3	x				x
Ulmus glabra	3,v	II	+	3	4	2	x		x	x	x

Fig. 39a - Principali specie arboree idonee per interventi di recupero ambientale in ambito fluviale (esigenze stazionali, caratteristiche morfologiche e fisiologiche) (Lachat, 1991 - mod.)

SPECIE ARBUSTIVE	U	A	N	H	G	L	M	a	b	c	d
Berberis vulgaris	1	III	-	2	2	3	+	x	x	x	
Cornus sanguinea	2	III	m	2	3	3	x	x	x	x	x
Crataegus monogyna	2,v	III	-	2	3	4	x	*	x	x	x
Crataegus oxyacantha	2	II	m	2	3	3	x		x	x	x
Euonymus europaeus	2,v	III	m	2	4	3	+	x	x	x	
Frangula alnus	3,v	II	-	3	4	3	x	*	x	x	*
Hippophae rhamnoides	1,v	III	-	1	2	4	x	*	x	x	
Ligustrum vulgare	2,v	III	-	2	3	3	+	x	x	x	x
Lonicera xylosteum	2	II	m	2	3	3	+	x	x	x	x
Prunus spinosa	1	III	m	2	2	4	x	x	x	x	x
Rhamnus cathartica	2,v	III	-	3	4	3	x		*	x	x
Ribes uva-crispa	2	II	+	2	3	2	x			x	x
Rosa arvensis	2,v	III	m	2	3	3	x		x	x	
Rosa canina	1	III	m	2	3	3	x	x	x	x	
Rubus caesius	2	II	+	2	1	3	x		*	x	x
Salix appendiculata	2	IV	+	2	1	3	m	*	x	x	
Salix cinerea	3,v	II	-	3	4	4	+			x	x
Salix daphnoides	3	III	-	1	2	4	+	x	x	x	
Salix eleagnos	3,v	III	-	1	3	4	+	x	x	x	
Salix nigricans	2	III	m	2	3	4	+	x	x	x	
Salix pentandra	3	II	+	2	4	3	+		x	x	
Salix purpurea	2,v	II	m	1	2	4	+	x	x	x	
Salix triandra	2	III	+	2	3	3	+	x	x	x	
Salix viminalis	3	III	+	2	3	4	+	x	x	x	
Sambucus nigra	2	II	+	2	3	3	x	x	x	x	x
Viburnum lantana	1	III	-	2	2	3	x	*	*	x	x
Viburnum opulus	2,v	II	m	3	3	3	+	x*	x	x	

Fig. 39b - Principali specie arbustive idonee per interventi di recupero ambientale in ambito fluviale (esigenze stazionali, caratteristiche morfologiche e fisiologiche) (Lachat, 1991 - mod.)

## LEGENDA

*Albero (altezza superiore a 8 metri)*

*Arbusto (altezza inferiore a 8 metri)*

### **U = UMIDITA'**

- 1 = ambiente asciutto
- 2 = ambiente intermedio
- 3 = ambiente umido
- v = ambiente variabile

### **N = AZOTO NEL TERRENO**

- = scarso
- m = medio
- + = elevato

### **G = GRANULOMETRIA DEL TERRENO**

- 1 = grossolana
- 2 = media
- 3 = fine
- 4 = molto fine

### **M = MOLTIPLICAZIONE VEGETATIVA**

- x = scarsa, possibile solo con tecniche speciali  
(ormoni, margotta, colture protette, ecc.)
- m = media
- + = buona

### **A = ACIDITA' DEL TERRENO**

- I     pH = 3,5 - 5,5
- II    pH = 4,5 - 6,5
- III   pH = 5,5 - 8
- IV    pH = > 6,5
- i     pH indifferente

### **H = HUMUS**

- 1 = scarso
- 2 = medio
- 3 = elevato

### **L = LUCE**

- 1 = ombra
- 2 = penombra
- 3 = mezza luce
- 4 = luce

### **UBICAZIONE**

- a = piede sponda
- b = sponda
- c = sommità spondale
- d = area ripariale

\* = specie che si trova allo stato naturale, ma non opportuna, in questa posizione,  
nelle sistemazioni idrauliche

x = specie idonea

Fig. 39c - Legenda delle figure 39a e 39b

Il principio su cui si basano le terre rinforzate è quello per cui, inserendo opportunamente delle armature (barre di acciaio, griglie o tessuti in materiale sintetico) all'interno del versante o della scarpata da consolidare, si riescono a realizzare pendii con un'elevata inclinazione.

A differenza dei tessuti, le griglie e le reti consentono un migliore inerbimento della superficie.

Infine, vi sono le reti metalliche che vengono comunemente usate per proteggere le infrastrutture viarie o ferroviarie dalla caduta dei massi.

L'erosione del suolo è legata principalmente all'azione dell'acqua (precipitazioni atmosferiche, corpi idrici, ecc.) e del vento.

L'erosione eolica è direttamente proporzionale sia alla velocità del vento sia alla tipologia del terreno: per esempio i terreni nudi di origine sabbiosa, se sottoposti a venti con velocità superiore a 1 km/h, iniziano a subire i primi processi erosivi; se il terreno è invece di natura argillosa, lo stesso fenomeno erosivo si manifesta con una velocità del vento di 2 km/h; se, infine, il terreno è coperto da materiale grossolano la velocità deve superare il valore di 8 km/h.

L'azione disgregante delle gocce di pioggia sul terreno è ancora superiore in quanto esse impattano sul suolo ad una velocità di circa 30 km/h.

L'energia cinetica è il parametro utile per la quantificazione di questa azione disgregante ed è legata alle dimensioni delle gocce d'acqua ed alla loro velocità.

La pendenza del suolo e la lunghezza del pendio, inoltre, accrescono le potenzialità erosive delle precipitazioni atmosferiche.

La presenza di una rete o di una griglia riesce a ridurre del 50% l'area scoperta soggetta all'azione erosiva, per cui le reti, intercettando gran parte delle gocce d'acqua, limitano notevolmente l'azione di distacco delle particelle di terra, riducendo, nel contempo, la possibilità di formazione di solchi.

Altri fondamentali fattori erosivi sono il ruscellamento dell'acqua sul suolo, dovuto all'incapacità del terreno di assorbire ulteriori apporti idrici e la spinta esercitata dalla corrente idrica sulle sponde fluviali (diagramma di *Hjulström*) (Fig. 40); la presenza della rete o della griglia consente di ridurre notevolmente l'intensità di tale fenomeno, soprattutto nella fase in cui la vegetazione erbacea non si è ancora affermata e che costituisce il periodo più delicato in assoluto.

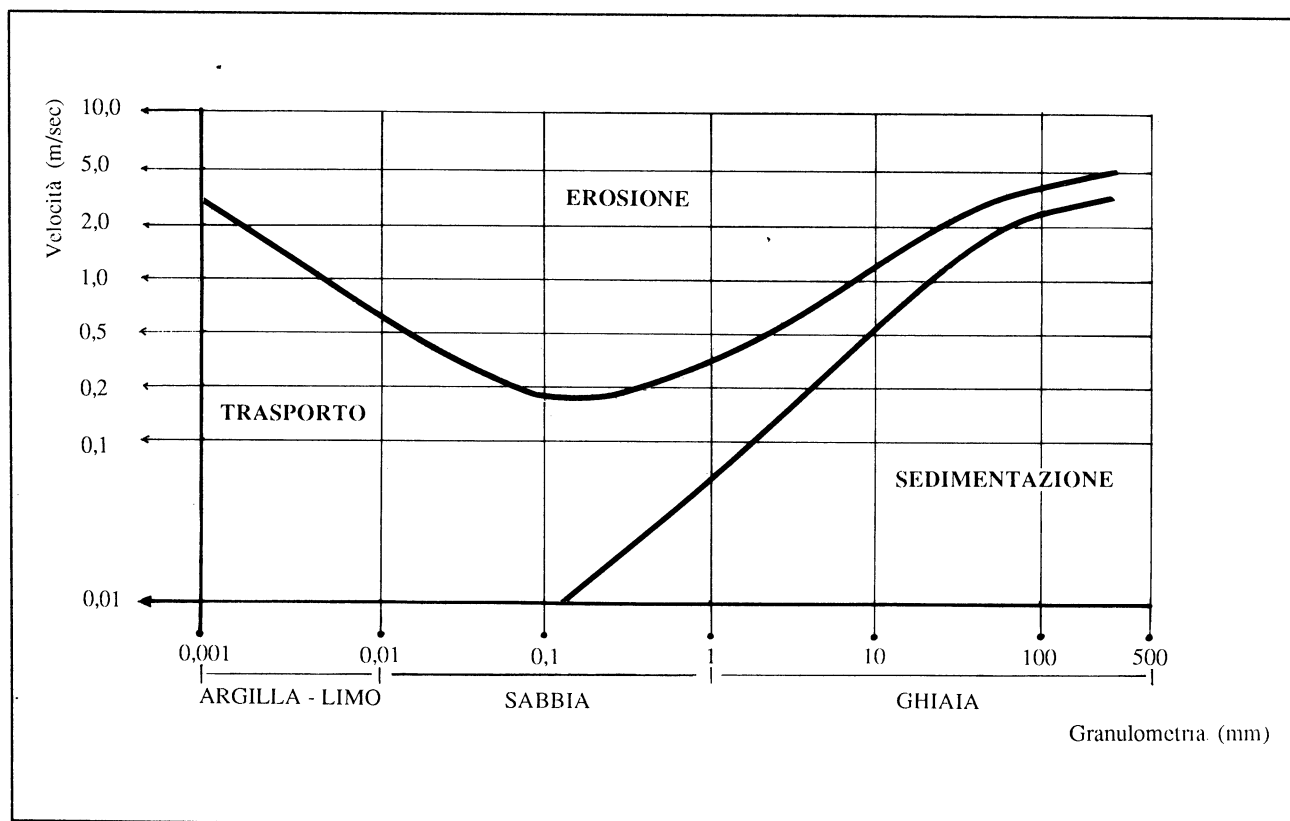


Fig. 40 - Capacità erosiva dell'acqua corrente (velocità di erosione, trasporto e sedimentazione in funzione della granulometria del terreno delle sponde fluviali)

#### B.4 USO DI PIETRAMI (rampe di risalita per pesci)

##### Concetti generali

Un limite notevole insito nelle opere idrauliche trasversali tradizionali (briglie) è quello di costituire un ostacolo insormontabile per la fauna acquatica, in quanto interrompono i flussi trofici ed energetici all'interno dell'ecosistema fluviale.

Nei fiumi, invece, è necessario garantire una certa continuità a livello di morfologia dell'alveo, oltre ad una sufficiente qualità dell'acqua e ad un'adeguata quantità di deflusso idrico.

E' purtroppo diffusa l'errata convinzione che la fauna ittica sia in grado di superare ostacoli verticali di 2-3 m di altezza, mentre, in realtà, questo è vero solamente per pochissime specie (ad esempio: i salmoni).

La presenza nei corsi d'acqua di barriere insormontabili per la fauna ittica crea notevoli danni all'ecosistema in quanto impedisce ai pesci di raggiungere le aree di frega o di ricolonizzare ambienti temporaneamente abbandonati per eventi di piena o di mantenere un certo scambio genetico all'interno delle popolazioni altrimenti frammentate ed isolate.

Nella fase progettuale delle opere idrauliche ultimamente, però, si sta cercando di introdurre, tra i parametri tecnici da valutare, anche quelli di natura biologica.

Un significativo esempio di corretta coniugazione delle esigenze idrauliche con quelle ecologiche in ambito fluviale è rappresentato dalle rampe di risalita in pietrame per pesci, le quali assolvono alla duplice funzione di modificare la pendenza dell'alveo e di consentire, comunque, un interscambio biologico tra la zona a valle e quella a monte.

Le briglie vengono costruite al fine di ridurre la forza erosiva della corrente diminuendo la pendenza longitudinale del tratto a monte delle medesime e concentrando così il dislivello in un unico punto del fiume; l'innalzamento del fondo dell'alveo, oltre a ridurre la velocità dell'acqua determina anche una maggiore stabilità del piede delle sponde.

L'obiettivo di natura idraulica che si desidera raggiungere con le diverse tipologie di rampe di risalita è lo stesso di quello delle briglie, ma tali strutture non costituiscono un ostacolo consentendo sia i normali scambi trofici e sia il ripopolamento ittico naturale dei tratti d'acqua depauperati da eventi episodici (inquinamento, prosciugamento, eccessivo riscaldamento termico, ecc.).

Inoltre, l'ipotesi di ripopolare artificialmente i tratti di fiume regimati dalle briglie ha il limite di introdurre solo alcune componenti dell'ecosistema fluviale (ad esempio: le specie ittiche a valenza produttiva), mentre l'eliminazione degli ostacoli artificiali permette a tutta l'ittiofauna presente nei corsi d'acqua limitrofi di ricolonizzare quel determinato tratto di fiume con un vantaggio anche dal punto di vista economico.

In presenza di fauna ittica rara, infine, la continuità morfologica dell'alveo risulta essere di un'importanza determinante ai fini della sua conservazione.

L'efficacia delle rampe dal punto di vista biologico, per la micro e la macrofauna acquatica, è stata dimostrata anche con prove di laboratorio di simulazione relative a diverse situazioni di deflusso idrico, scabrosità, pendenza, ecc. (*Gebler*).

La funzionalità di tali strutture è legata al rispetto di alcuni parametri costruttivi di natura idraulica e biologica, per cui una loro corretta progettazione presuppone un'attenta analisi di diversi fattori quali: il regime idraulico, la morfologia dell'alveo, la composizione specifica della fauna ittica, ecc.; le rampe vengono realizzate in fiumi con pendenze variabili (0-10%).

Ai fini idraulici la presenza di una briglia determina una dissipazione dell'energia cinetica dell'acqua attraverso il risalto idraulico che si forma a valle dell'opera stessa in maniera proporzionale alla sua altezza, mentre con le rampe in pietrame il processo è legato alla loro irregolarità e scabrosità.

La dissipazione della suddetta energia cinetica a valle della briglia è correlata ad alcuni parametri fisici ed in particolare alla presenza di un "vortice" che si viene a determinare qualora il valore del numero di Froude ( $Fr$ ) sia superiore a 1,7; solo se si registra un valore di  $Fr$  compreso tra 4,5 e 9, però, la dissipazione energetica risulta essere ottimale.

Nel caso delle rampe, invece, il processo è legato alla turbolenza dell'acqua e, perciò, esso si verifica soprattutto con deflussi scarsi o con elevate scabrosità relative ( $k/y$ , dove  $k$  è l'altezza della scabrosità e  $y$  è l'altezza del livello dell'acqua); il valore di  $Fr$  al piede della rampa è, infatti, di 1-1,5, per cui a valle si viene a formare un risalto idraulico. Da ciò deriva la necessità di dimensionare opportunamente le rampe in funzione della portata per la quale si vuole una dissipazione ottimale dell'energia cinetica dell'acqua (Fig. 41).

In molti casi, però, il dimensionamento delle rampe finalizzato solamente alla riduzione dell'energia comporterebbe la costruzione di manufatti di notevoli dimensioni e ciò sarebbe in contrasto con il sopracitato

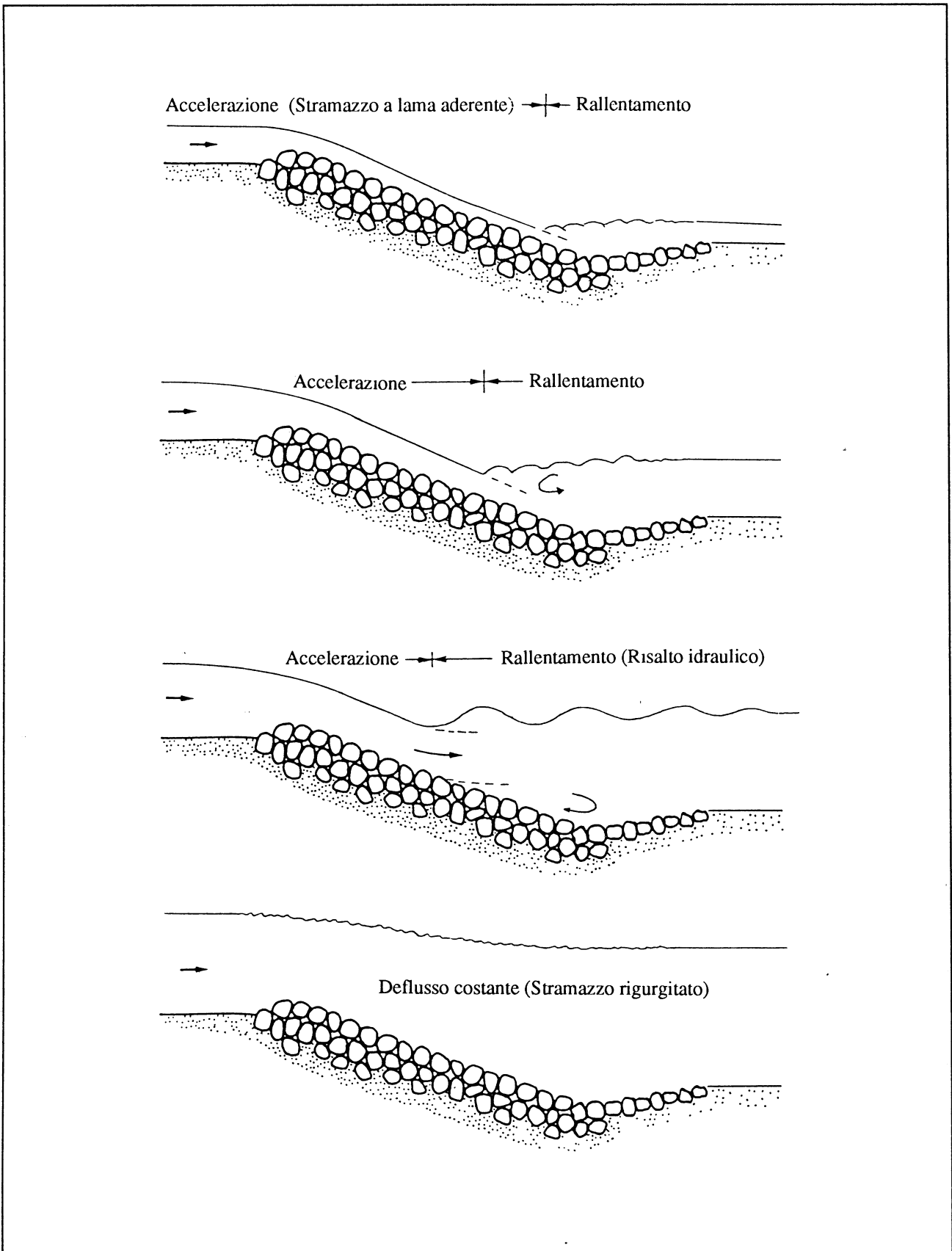


Fig. 41 - Aspetti fluido-dinamici della corrente in funzione di portate idriche crescenti (Gebler, 1990)

obiettivo primario di eliminare gli ostacoli presenti nell'alveo fluviale. Si può, quindi, affermare che le rampe in pietrame comunemente realizzate, di modesta altezza ( $h = 2$  m), in caso di piena consentono una parziale dissipazione energetica.

Va sottolineato il fatto, però, che il vantaggio principale, da un punto di vista idraulico, offerto dalle rampe, in realtà è quello di modificare la pendenza dell'alveo, concentrando il dislivello in un'area ristretta e consentendo così un efficace consolidamento del piede delle sponde situate a monte dell'opera.

In questo modo, pur realizzando strutture di modesta altezza si è in grado di mitigare in modo adeguato la forza erosiva della corrente, senza creare ostacoli insormontabili per la fauna ittica.

In conclusione, le rampe di risalita per i pesci costituiscono un ottimo esempio di opere "idro-ecologiche" in quanto, pur essendo strutture finalizzate ad una regimazione idraulica, sono da considerarsi compatibili da un punto di vista ambientale e paesaggistico.

### Tecniche costruttive delle rampe

Le tipologie costruttive delle rampe descritte in questo testo presentano interessanti soluzioni tecniche al problema della continuità morfologica ed ecologica dei corsi d'acqua in quanto costituiscono esempi concreti di interventi a basso impatto ambientale già sperimentati e caratterizzati da costi di realizzazione competitivi rispetto alle opere idrauliche di tipo tradizionale e con limitati oneri di manutenzione.

Per la costruzione di rampe di risalita per i pesci, in diversi paesi europei dove queste opere sono già state realizzate da tempo e con risultati estremamente positivi, si è dovuto fare riferimento più spesso all'esperienza del progettista che a precisi parametri costruttivi, in quanto carenti o di limitata applicabilità.

In particolare, si sono rivelate molto efficaci le rampe di modesta altezza ( $h < 2$  m), di limitata pendenza ( $i < 1:8$ ), con altezze medie di scabrosità pari a  $0,3-0,5 d_s$  ( $d_s$  = diametro della sfera equivalente del pietrame) e strutturalmente eterogenee.

L'irregolarità delle rampe, dovuta alla posa del pietrame in maniera tale da formare spazi vuoti, crea una positiva alternanza tra le zone a corrente rapida con quelle dove la velocità dell'acqua è modesta, consentendo così, da un lato, il verificarsi delle migliori condizioni per la risalita dell'ittiofauna e, dall'altro, la diversificazione dei microambienti fluviali.

E' preferibile, infine, che il pietrame non venga annegato in una base di calcestruzzo, in quanto si

potrebbe perdere una certa varietà morfologica e, inoltre, nonostante la modesta pendenza, la velocità di scorrimento in questi casi sarebbe più elevata con il conseguente verificarsi di una riduzione della profondità del livello dell'acqua, con effetti negativi per il sistema di risalita.

Al fine di proteggere le sponde e di concentrare il più possibile la portata di magra è anche consigliata l'adozione di idonei accorgimenti tecnici in grado di convogliare il deflusso idrico lungo l'asse centrale dell'alveo.

In base a quanto sopra esposto le principali tecniche costruttive delle rampe in pietrame si possono ricondurre alle seguenti due:

- a - posa in opera di massi in modo irregolare;
- b - posa in opera di massi in modo regolare.

#### a - Posa in opera di massi in modo irregolare:

Il pietrame viene collocato nell'alveo per mezzo di un escavatore, procedendo da valle verso monte; qualora non sia presente sul fondo del materiale inerte grossolano (pietrame o ghiaia) è opportuno realizzare una base di pietrisco ad azione filtrante (Fig. 42). Potendo spesso lavorare anche in presenza di acqua, non è necessario delimitare lo scavo e deviare la corrente. Al fine di rinforzare il piede della rampa, si possono adottare alcuni accorgimenti quali quello di posizionare alla base della struttura del pietrame di dimensioni maggiori oppure fissare sul fondo una fila di pali di legno o di acciaio. L'impiego, invece, di materiali rigidi quali palancole di acciaio in una struttura relativamente elastica quale è una rampa di questo tipo, può creare anche

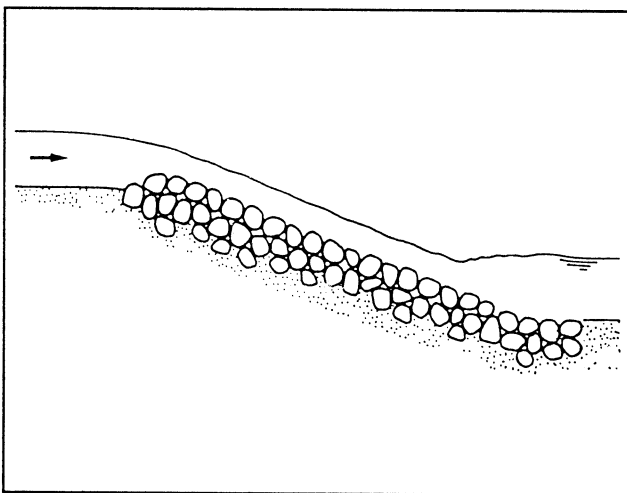


Fig. 42 - Rampe in pietrame poste in opera in modo irregolare (Gebler, 1990)

effetti negativi in quanto lo spostamento di alcuni massi può isolare la parte rigida in acciaio e creare così dei salti dannosi sia da un punto di vista idraulico (maggiore erosione) e sia da quello ecologico (ostacolo insormontabile per la fauna ittica). Grazie alla flessibilità della struttura, l'eventuale presenza di buche è temporanea, in quanto esse vengono colmate dal trasporto solido; la presenza di fenomeni erosivi alla base dell'opera costituisce, comunque, un fattore di instabilità della struttura stessa. Realizzazioni di questa tipologia di rampe ne hanno dimostrato la validità tecnica sia per piccoli corsi d'acqua, sia per quelli caratterizzati da una maggior portata (ad esempio:  $Q = 500$  mc/sec). Questa tecnica, in relazione alle modalità ed ai tempi di esecuzione, nonché ai mezzi da impiegare è conveniente anche sotto il profilo economico. Un'interessante variante è costituita dalla rampa "a gradoni" formata non da un corpo unico in pietrame, ma da vari livelli realizzati con pietrame di diverse dimensioni o con piccole soglie (Tipologie n. 26/a4 e 26/a9 illustrate nella parte speciale del presente testo); tali opere hanno anche il vantaggio di ridurre il rischio di un prosciugamento della rampa durante i periodi di magra.

**b - Posa in opera di massi in modo regolare:**

Il pietrame ( $d = 1$  m) viene dapprima collocato in modo che gli spazi tra i massi siano minimi e successivamente ancorato tramite funi di acciaio (Fig. 43). Anche in questo caso è necessario realizzare una base ad azione drenante costituita da alcuni strati di ghiaia e di pietrisco a granulometria varia-

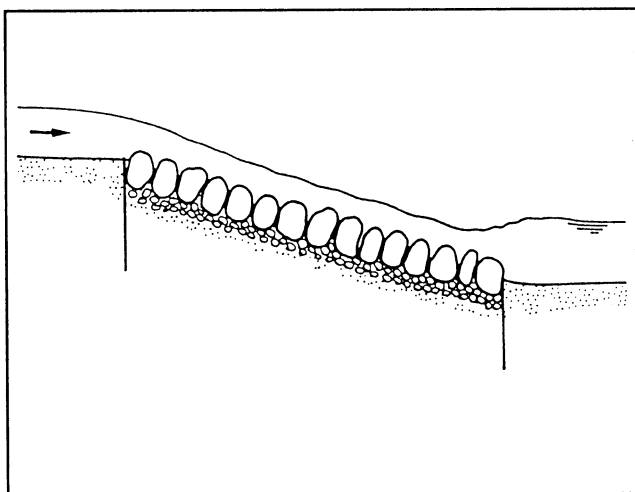


Fig. 43 - Rampe in pietrame poste in opera in modo regolare (Gebler, 1990)

bile; l'uso di geotessili a volte è sconsigliato, in quanto la loro presenza ridurrebbe gli scambi biologici con il fondo. A differenza della tecnica precedentemente descritta, in questo caso si deve operare senza la presenza dell'acqua e quindi, durante la fase costruttiva, la corrente va temporaneamente deviata. Mentre nella precedente tipologia di posa in opera del pietrame ogni singolo masso si oppone alla spinta dell'acqua solamente con il proprio peso, in questa il pietrame è posizionato in modo compatto e, a volte, è anche legato da funi di acciaio, cosicché la resistenza alla pressione idrica è fornita dall'intera struttura. Qualora la pendenza della rampa sia elevata, al fine di evitare che un cedimento dell'opera in un punto più debole possa compromettere la stabilità dell'intera struttura, è consigliata la realizzazione di soglie intermedie anche con l'impiego di pali di acciaio. La scabrosità e l'elasticità di questa tipologia sono inferiori a quelle riscontrabili nel metodo descritto in precedenza.

**Dimensionamento delle rampe**

I metodi di calcolo per il dimensionamento delle rampe e del relativo pietrame da utilizzare sono vari e si basano spesso su esperienze pratiche; tra quelli riconosciuti più validi va ricordato quello di Whittaker-Jäggi.

Nel caso di strutture realizzate con massi posti in maniera irregolare, il valore limite di stabilità della rampa, oltre il quale si verifica il danneggiamento della struttura stessa, è il seguente:

$$q_c = 0,257 \sqrt{(p_s - p_w)/p_w} \sqrt{g} i^{-7/6} d_{65}^{3/2}$$

dove:

$q_c$  = portata specifica critica (mcl/msec)

$p_s$  = peso specifico del pietrame (kg/mc)

$p_w$  = peso specifico dell'acqua (kg/mc)

$g$  = accelerazione di gravità (m/sec<sup>2</sup>)

$i$  = pendenza della rampa

$d_{65}$  = diametro del pietrame con passaggio del 65% al vaglio:  $d_{65} = d_s/1,06$  (m)

$d_s$  = diametro della sfera equivalente del pietrame (m)

La curva che raffigura graficamente il valore della portata specifica critica ( $q_c$ ) sopra descritta, in funzione di due ipotesi di pendenza della rampa ( $i = 1:10$  e  $i = 1:20$ ), è rappresentata dalla figura 44.

Al fine di aumentare il grado di sicurezza è consigliato ridurre il valore di  $q_c$  di un 10-20%; ciò non è più

necessario qualora si consideri, come portata di riferimento per il dimensionamento, quella che determina un cambiamento di deflusso (passaggio dallo stramazzo a lama aderente allo stramazzo rigurgitato).

Infatti, allo scopo di evitare un inutile e costoso sovradimensionamento delle strutture, va tenuto presente il fatto che il limite di sicurezza determinato con la formula precedente si basa sull'ipotesi della massima velocità di scorrimento possibile, in relazione ad una certa portata d'acqua; in realtà, nelle comuni rampe di modeste dimensioni ( $h < 2$  m), una velocità costante dell'acqua si verifica solo con deflussi di limitata

intensità, mentre, durante le piene, si viene a creare un risalto idraulico alla base dell'opera che riduce la velocità dell'acqua sulla rampa ed il conseguente carico sul pietrame (Fig. 41).

In definitiva, il calcolo delle dimensioni dei massi da utilizzare sopra descritto, basato sul valore della portata di piena, è più idoneo per rampe di altezza considerevole, mentre per le altre determina un effettivo sovradimensionamento della struttura.

In relazione a quanto sopra esposto ed al fatto che il carico maggiore sulla struttura si verifica qualora il deflusso idrico sia regolare, nelle rampe di altezza

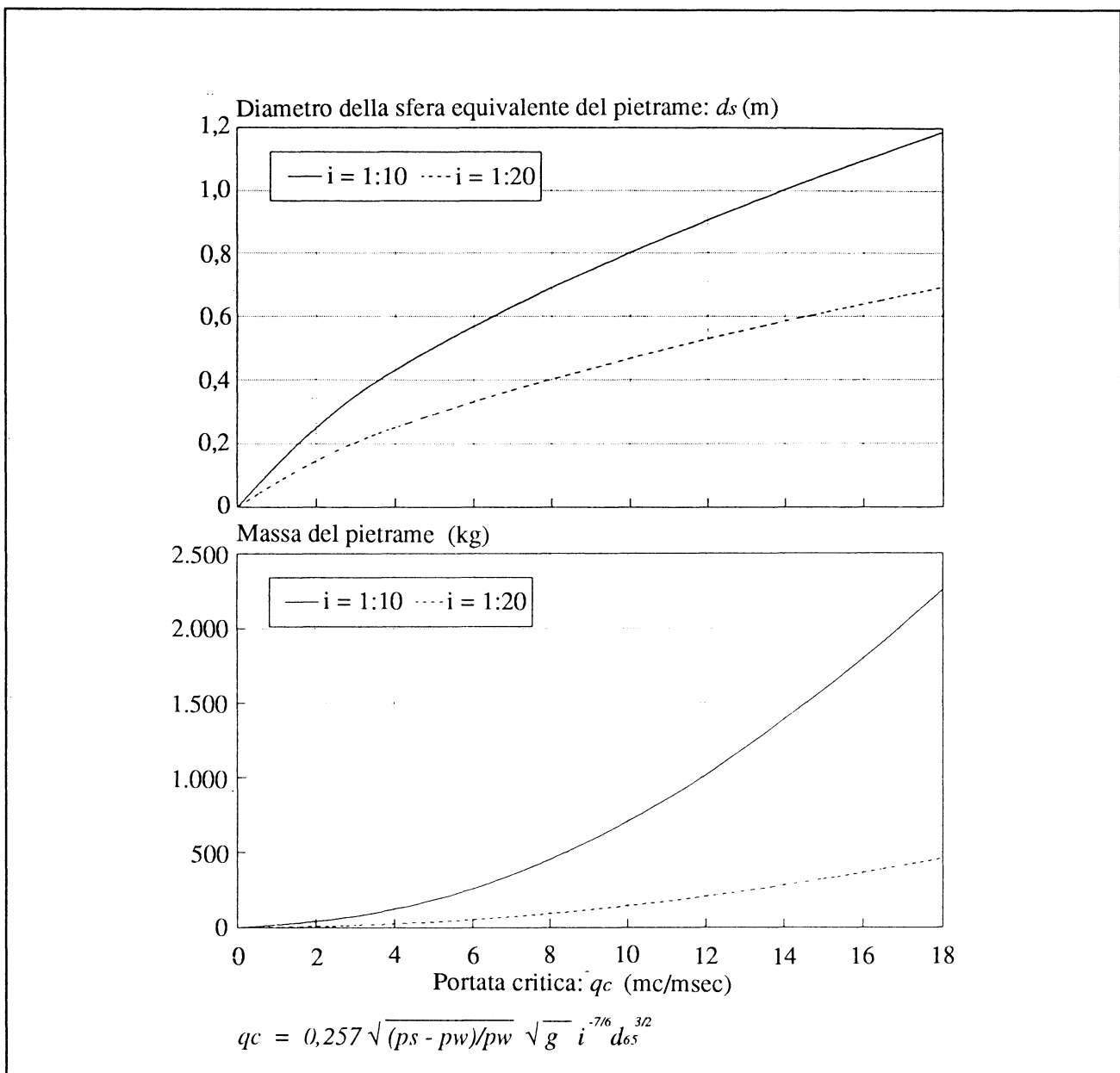


Fig. 44 - Limite di stabilità delle rampe in pietrame (Whittaker-Jäggi, 1986)

inferiore a 2 m ciò avviene con portate di media intensità e, in tal caso, è più opportuna l'applicazione delle seguenti formule:

1 - Equazione di *Gauckler-Manning-Strickler-Gleichung*:

$$q = k_{st} y^{5/3} i^{1/2}$$

dove:

$q$  = portata specifica (mc/msec)

$d_{65}$  = diametro del pietrame con passaggio del 65%  
al vaglio:  $d_{65} = d_s/1,06$  (m)

$k_{st}$  = coefficiente:  $21/d_s^{1/6}$  (m)

$y$  = profondità dell'acqua (m)

$i$  = pendenza della rampa

2 - Equazione di *Scheuerlein*:

$$q = y v = y \sqrt{8 g y i} \log \{12/(1,7 + 4,05 i) y/d_s\}^{3/2}$$

dove:

$q$  = portata specifica (mc/msec)

$y$  = profondità dell'acqua (m)

$v$  = velocità dell'acqua (m/sec)

$g$  = accelerazione di gravità (m/sec<sup>2</sup>)

$i$  = pendenza della rampa

$d_s$  = diametro della sfera equivalente del pietrame (m)

Di fondamentale importanza risulta essere la conoscenza della portata che determina il cambiamento del deflusso (passaggio dallo stramazzo a lama aderente allo stramazzo rigurgitato) e ciò avviene approssimativamente quando il livello dell'acqua a valle eguaglia quello dell'acqua sul coronamento della rampa, e cioè quando si verifica la seguente equazione:

$$y_u = h + y_{gr}$$

dove :

$y_u$  = profondità dell'acqua a valle (m)

$y_{gr}$  = profondità limite dell'acqua sul coronamento (m)

$h$  = altezza della rampa (m)

In base alla scala di deflusso della sezione di valle si può determinare la portata con la quale avviene il suddetto cambiamento di deflusso; applicando questa portata alla formula indicata da *Whittaker-Jäggi* si otterrebbe un valore delle dimensioni del pietrame tale da garantire in modo sufficiente la stabilità della rampa, in relazione anche alle probabilità che si verifichi l'evento critico di deflusso.

Questo metodo di dimensionamento del pietrame

fornisce ampi margini di sicurezza e ciò viene confermato dall'esperienza diretta di casi concreti nei quali la portata di piena non ha arrecato danni alle strutture anche se, in base alla formula sopra descritta, sarebbero risultate sottodimensionate (ad esempio: con una portata di piena:  $Q = 200$  mc/sec, una portata specifica:  $q = 13$  mc/msec ed una pendenza:  $i = 1:10$  si ottiene un diametro del pietrame:  $d_s = 0,95$  m; in realtà una rampa costruita con pietrame di dimensioni minori e ripetutamente sollecitata dalle portate di piena sopra descritte, non ha subito alcun danno; *Whittaker-Jäggi*).

Nel caso di rampe realizzate con massi disposti in modo regolare non sono note analoghe formule di stabilità, in quanto non è facilmente quantificabile il fattore stabilizzante dovuto alla coesione tra le pietre medesime.

Il limite di stabilità, oltre alle dimensioni del pietrame, è ovviamente legato anche ad una corretta esecuzione della relativa posa in opera in quanto il carico di rottura è correlato all'eventuale presenza di punti deboli nella struttura.

L'esperienza, però, dimostra che raramente il danneggiamento della rampa è dovuto ad un errato dimensionamento del pietrame, quanto piuttosto alla formazione di buche o di uno scalzamento alla base della rampa medesima e, quindi, dovrà essere posta particolare cura nel consolidamento del piede della struttura.

Anche le sponde dell'alveo situate ai lati delle rampe costituiscono delle zone delicate dal punto di vista della stabilità e devono essere consolidate con cura allo scopo di evitare il verificarsi di eventuali erosioni laterali; a tal fine è anche consigliata la messa a dimora di alberi e di arbusti (ad esempio: salici).

Nella scelta del pietrame da utilizzare, oltre a considerazioni di natura idraulica, vanno anche tenute presenti quelle biologiche e, in particolare, è opportuno inserire massi di varie dimensioni al fine di diversificare il più possibile le condizioni microambientali della rampa stessa.

Ad esempio, se viene realizzata una rampa con massi aventi una dimensione costante ( $d_s = 30$  cm), si determinerà un'uniformità nel deflusso e nella profondità dell'acqua, mentre se vengono anche inseriti massi di dimensioni maggiori ( $d_s = 70$  cm), disposti singolarmente o a gruppi, la struttura sarà più diversificata: la presenza di zone a corrente lenta alternate ad altre a corrente rapida è positiva perché incrementa la diversità ambientale.

Trattandosi di interventi che tengono conto del grado di naturalità dell'ecosistema fiume, va sottolineare

ata, infine, l'importanza del concetto di evoluzione nel tempo delle opere, nel senso che, non trattandosi di manufatti rigidi, essi possono gradualmente assestarsi e modificarsi nel tempo, per cui potrà rendersi opportuno un successivo leggero intervento di manutenzione o di rimodellamento finalizzato ad un miglioramento statico ed ecologico dell'opera medesima.

#### Ulteriori accorgimenti tecnici per la costruzione di rampe:

1 - Nei corsi d'acqua di larghezza superiore a 10 m, al fine di ridurre il rischio di possibili erosioni laterali è opportuno concentrare il deflusso lungo l'asse principale dell'alveo attraverso la curvatura della rampa (Tipologia n. 26/a5 illustrata nella parte speciale del presente testo) ed un suo rialzo verso le sponde (freccia al centro della rampa di 20-30 cm); il raggio di curvatura del coronamento può essere determinato applicando la seguente equazione:

$$r = 5/4 b$$

dove:

$r$  = raggio di curvatura del coronamento (m)

$b$  = larghezza dell'alveo (m)

Nella realizzazione di una rampa ad arco, qualora venga ubicata in ambiti fluviali di pianura, l'eccessiva concentrazione del deflusso al centro dell'alveo potrebbe provocare la formazione di una buca a valle dell'opera con il rischio di comprometterne la stabilità. In tal caso è consigliato aumentare il raggio di curvatura del coronamento nel seguente modo:

$$3/2 b < r < 2 b$$

2 - Nel caso di corsi d'acqua di limitata larghezza ( $b < 10$  m) è consigliabile non realizzare rampe ad arco, ma è più opportuno un intervento di consolidamento delle sponde le quali non dovrebbero avere una pendenza inferiore a 1:2.

3 - Un metodo di difesa delle sponde situate nei pressi della rampa consiste nella posa di pietrame sulle scarpate, allo scopo di impedire il formarsi di dannosi vortici laterali, e nel contemporaneo rinverdimento attraverso la messa a dimora di vegetazione arbustiva (ad esempio: salici) (Tipologia n. 26/a3 illustrata nella parte speciale del presente testo).

4 - In alvei soggetti ad erosione, talvolta, è opportuno realizzare un passaggio graduale tra l'opera in pietra ed il fondo, in modo da ridurre il rischio di scalzamento della struttura; ciò è particolarmente indicato per le rampe di notevoli dimensioni, mentre per quelle di altezza modesta il deflusso superficiale ondolato è sufficiente a ridurre l'impatto del-

l'acqua e la conseguente forza erosiva (Tipologia n. 26/a6 illustrata nella parte speciale del presente testo). Per effettuare un corretto dimensionamento del pietrame da collocare sul fondo alla base dell'opera si può adottare la seguente formula di *Knauss*:

$$d_m = 0,04 v_m^2$$

dove:

$d_m$  = diametro medio del pietrame (m)

(analogo al  $d_{65}$  della formula di Whittaker-Jäggi)

$v_m$  = velocità media dell'acqua a valle (m/sec)

5 - Un'altra causa di possibile erosione dell'alveo è legata al fatto che a monte della rampa si viene a determinare un'accelerazione della corrente: tale effetto può essere ridotto modificando opportunamente l'altezza del coronamento (Tipologia n. 26/a6 illustrata nella parte speciale del presente testo).

6 - In presenza di torrenti con notevoli oscillazioni stagionali del livello dell'acqua, si può verificare che un prolungato periodo di magra determini il totale prosciugamento della rampa e dei microambienti in essa presenti; in tali situazioni è consigliata la costruzione di rampe composte non da un unico corpo, ma da una serie di soglie irregolari in pietra (Tipologie n. 26/a4 e 26/a9 illustrate nella parte speciale del presente testo), oppure la realizzazione di un canale centrale che possa concentrare il deflusso di magra. E' comunque da sottolineare il fatto che, spesso, i prosciugamenti di certi corsi d'acqua sono da correlare agli eccessivi prelievi idrici operati dall'uomo e, pertanto, oltre alla costruzione di una rampa in grado di mantenere la continuità morfologica del fiume, bisognerebbe provvedere a regolamentare adeguatamente le derivazioni idriche, in modo tale che venga rilasciato almeno un deflusso minimo vitale per l'ecosistema fiume, in analogia a come si opera in altri paesi europei.

#### **Metodologie di intervento in caso di opere idrauliche già esistenti.**

Nell'ambito della pianificazione degli interventi di realizzazione delle opere idrauliche, oltre a prevedere la costruzione di rampe in pietrame in alternativa alle tradizionali briglie, è opportuno anche programmare un progressivo adeguamento strutturale delle opere trasversali già esistenti, in modo da cercare di ricreare l'originaria continuità morfologica ed ecologica dei corsi d'acqua.

Con idonei accorgimenti è possibile trasformare vecchie briglie in rampe in pietrame con evidenti vantaggi dal punto di vista ecologico; tale modifica può

anche rivelarsi conveniente dal punto di vista economico qualora si debba, comunque, intervenire per ripristinare un'opera che presenti lesioni di una certa rilevanza.

Una metodologia di intervento, già positivamente sperimentata, consiste nel collocamento del pietrame a valle della briglia e nell'eventuale riduzione dell'altezza della traversa in modo tale da raccordare meglio il manufatto in calcestruzzo con i massi (Tipologie n. 26/a9 e 26/a10 illustrate nella parte speciale del presente testo).

Talvolta, soprattutto dove si registrano lunghi periodi di magra, è consigliato adottare un'interessante variante che prevede la realizzazione della rampa solo lateralmente alla briglia, trasformando così solo parzialmente l'opera idraulica esistente. I massi non vanno collocati in fila, ma sfalsati tra loro cosicché il deflusso idrico viene ripetutamente deviato e l'energia cinetica è parzialmente dissipata (l'obiettivo principale rimane sempre quello di creare zone a corrente lenta alternate ad altre a corrente più rapida). Inoltre, il deflusso idrico dovrebbe preferibilmente avvenire tra i massi e non sopra di essi per evitare la formazione di stramazzi; ciò significa che è opportuno disporre il pietrame in modo che emerga parzialmente dall'acqua (Tipologie n. 26/b illustrate nella parte speciale del presente testo).

E' possibile, infine, realizzare delle rampe di risalita creando dei veri e propri ruscelli artificiali laterali al corso d'acqua principale, in modo da aggirare l'ostacolo stesso costituito da una briglia o addirittura da una diga; in tal caso è necessario occupare una superficie di terreno maggiore, ma si verrebbe così a creare un tratto di fiume ex-novo o a ripristinarne uno abbandonato ottenendo, nel contempo, una positiva diversificazione ambientale, nonché paesaggistica (Tipologie n. 26/c illustrate nella parte speciale del presente testo).

### Scale di risalita in calcestruzzo per pesci

Al fine di ridurre gli effetti negativi connessi alla presenza di opere idrauliche trasversali (briglie) che costituiscono un ostacolo insormontabile per la fauna ittica, è possibile realizzare anche delle scale di risalita in calcestruzzo consistenti in manufatti a forma di scivolo o di vasche, di varie dimensioni, posti a lato delle briglie ed integrati con dispositivi atti a rallentare il flusso della corrente.

Nel tempo sono state progettate e realizzate diverse tipologie di scale di risalita o passaggi per pesci in calcestruzzo, ma le più efficaci si sono dimostrate essere le seguenti:

- a - scale "Denil": prendono il nome dal loro ideatore e consistono in scivoli a forte pendenza dotati di deflettori atti a ridurre la velocità della corrente;
- b - scale a bacini successivi: serie di vasche in comunicazione fra loro e con dislivelli ridotti.

Il principio ispiratore di queste strutture, come per la rampe in pietrame, è sempre quello di creare zone a corrente veloce alternate a zone a corrente lenta, in modo tale che i pesci possano recuperare le energie, nonché avere uno spazio sufficiente per effettuare il salto successivo e risalire così gradualmente gli ostacoli, superando dislivelli anche di una certa entità.

Le scale di risalita a bacini successivi, pertanto, rispondono meglio di quelle a rallentamento (scale "Denil") perché in queste ultime il pesce non può riposare tra i vari deflettori e, quindi, deve risalire l'intero scivolo senza sosta; in caso di dislivelli elevati è consigliato, pertanto, inserire bacini di riposo anche tra le rampe delle scale "Denil".

Una corretta progettazione dei passaggi per pesci deve valutare attentamente diversi parametri tra i quali si elencano i principali:

- a - il regime idrico del fiume (portate, direzione del flusso della corrente, temperature, ecc.);
- b - la morfologia dell'alveo;
- c - le caratteristiche dell'ostacolo artificiale (entità del dislivello, dimensioni, forma, ecc.);
- d - le caratteristiche di dinamicità della fauna ittica (composizione specifica, grado di mobilità delle diverse specie, periodi di migrazione, ecc.);
- e - le dimensioni e le forme delle diverse componenti della scala di risalita (dislivello tra i bacini, larghezza, lunghezza, profondità, presenza di setti di separazione, eventuale esigenza di realizzazione di uno scivolo per il passaggio delle canoe, ecc.);
- f - l'ubicazione del passaggio per pesci;
- g - la portata idrica da convogliare nella scala di risalita;
- h - il grado di accessibilità per la manutenzione.

Per quanto concerne il dimensionamento delle diverse componenti delle scale di risalita a bacini successivi, in fase progettuale si dovranno considerare i vari fattori, ma, a livello indicativo i valori di riferimento da tenere presenti possono essere i seguenti (*Larinier e Miralles, 1983*):

- a - dislivello tra i bacini < 30-40 cm;
- b - larghezza dei bacini > 1-2 m;
- c - lunghezza dei bacini > 2 -3 m;
- d - profondità dei bacini > 1-1,5 m.

Per un corretto funzionamento di tali dispositivi è,

altresì, consigliata una periodica manutenzione dei medesimi, al fine di evitare un eccessivo accumulo di detriti solidi trasportati dal fiume (pietrame, ghiaia, legname, ecc.) sia nei vari bacini che costituiscono la struttura stessa, sia all'imboccatura della scala di risalita, in modo tale che non ne venga ridotta la funzionalità; qualora il trasporto solido sia elevato è anche consigliato realizzare, a monte dell'opera, degli opportuni deviatori.

In definitiva, i passaggi per pesci non vanno considerati come opere accessorie delle briglie quanto, piuttosto, loro logici complementi e, pertanto, è preferibile realizzarli al momento stesso della costruzione dello sbarramento, piuttosto che a posteriori perché in questo modo si otterrebbero strutture più efficaci ed a costi inferiori.

Nel confronto tra l'efficacia delle rampe in pietrame e quello delle scale di risalita in calcestruzzo, si può ritenere che, pur essendo entrambe funzionali in quanto consentono alla fauna ittica di risalire gli ostacoli artificiali presenti nei corsi d'acqua, qualora le pendenze e i dislivelli ne consentano la realizzazione, sono da preferirsi le rampe in pietrame, sia perché meno selettive nei confronti delle componenti la fauna ittica e bentonica, sia per il loro elevato grado di inserimento nel paesaggio in quanto più simili alle rapide naturali.

### Caratteristiche di dinamicità della fauna ittica

Per una corretta costruzione delle rampe di risalita dei pesci, che siano effettivamente funzionali, è necessaria un'approfondita conoscenza delle caratteristiche e delle esigenze dell'ittiofauna.

E' stato dimostrato che la capacità di resistenza ad un'elevata velocità dell'acqua dipende ovviamente dalle dimensioni del pesce, ma anche dalla temperatura dell'acqua: ad esempio, un pesce lungo 20 cm può sostenere una corrente di 1 m/sec a 0°C oppure quella di 2,5 m/sec se la temperatura è di 15°C (Beach, 1984) (Fig. 45).

Naturalmente maggiore è la velocità dell'acqua e minore sarà il tempo di resistenza a tale sforzo da parte della fauna ittica (Fig. 46).

In sintesi, considerando anche le dimensioni dei pesci presenti nei fiumi italiani, per quanto concerne la velocità massima della corrente d'acqua superabile dalle diverse specie, i valori di riferimento sono, indicativamente, i seguenti (Sthalberg & Peckmann, 1986):

- a - trote e salmonidi:  $V_{max} = 2,0$  m/sec
- b - ciprinidi:  $V_{max} = 1,5$  m/sec
- c - pesci di dimensioni minori o in stadio giovanile:  $V_{max} = 1,0$  m/sec

Inoltre, questi valori si riferiscono a velocità della corrente superabili dai pesci solo per brevi tratti, per cui la presenza di zone caratterizzate da una corrente calma

consente alla fauna ittica di recuperare le energie per poter poi risalire un successivo tratto di fiume.

Alcune prove di laboratorio (Elson, 1939; Schiemenz, 1950-59), inoltre, hanno dimostrato che i pesci, avvertendo soltanto l'intensità della corrente che lambisce i loro corpi (l'organo di percezione è la linea laterale), nuotano istintivamente seguendo il flusso d'acqua che li investe direttamente e non riescono ad individuare l'eventuale presenza di zone a corrente più lenta, fino a quando la forza stessa dell'acqua non modifica la loro traiettoria iniziale; in zone dove non è presente un deflusso idrico, i pesci, ovviamente, non assumono una direzione univoca (Fig. 47).

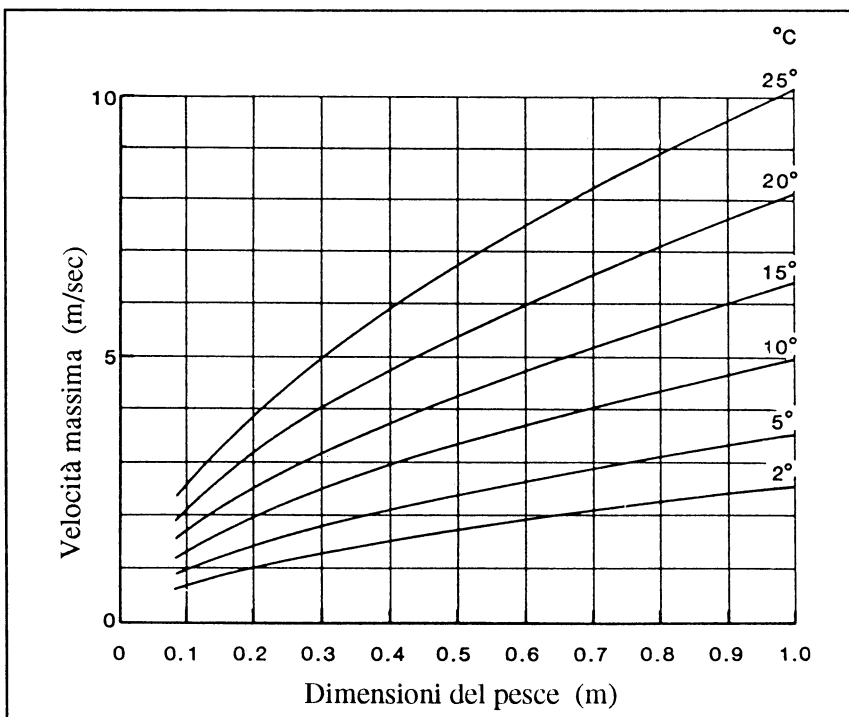


Fig. 45 - Velocità massime dei pesci in funzione delle loro dimensioni e della temperatura dell'acqua (Beach, 1984)

Da ciò deriva la necessità di progettare correttamente l'ubicazione dell'imbocco delle scale di risalita, al fine di attirare la fauna ittica nella giusta direzione.

Altro importante fattore da considerare in fase progettuale è quello di non basare il dimensionamento delle rampe solo sulle specie meno esigenti e con maggiori potenzialità dinamiche, ma la continuità ecologica che si vuole mantenere nell'alveo fluviale va riferita a tutte le specie acquatiche comprese quelle bentoniche.

In quest'ottica il fatto che alcune specie di salmonidi tipici dei paesi nordici siano in grado di superare ostacoli di notevole altezza ( $h = 1-4$  m) non deve costituire un motivo per giustificare la realizzazione di briglie così alte senza gli accorgimenti tecnici quali i passaggi per i pesci, proprio perchè non si devono dimensionare le opere in funzione di alcune specie particolarmente dinamiche, bensì in relazione alle potenzialità della maggior parte della fauna ittica, la quale non è in grado di superare ostacoli superiori a 30-40 cm.

Infine, anche le condizioni idrauliche presenti a

valle dell'opera influiscono sulla capacità di risalita degli ostacoli (Fig. 48), infatti:

- a - in caso di stramazzo aderente alla briglia, i pesci cercano di superare l'ostacolo nuotando al suo interno (A-C): le probabilità di riuscita dipendono in particolare dal livello dell'acqua a valle dell'opera;
- b - in caso di stramazzo non aderente alla briglia, i pesci cercano di superare l'ostacolo effettuando un salto (E-F): le probabilità di riuscita dipendono, in particolare, dalla distanza della "zona d'onda" dall'opera, in quanto i pesci effettuano il salto sempre da quel punto anche se esso risulta troppo lontano dal corpo della briglia (E) (Stuart, 1962).

In definitiva, i pesci cercano di superare gli eventuali ostacoli presenti nell'alveo risalendo la corrente e, solo in casi particolari e limitatamente ad alcune specie, tentano di saltarli; in base a queste considerazioni, è sconsigliato, ove possibile, realizzare opere che determinino un getto d'acqua staccato dal corpo della briglia, anche nelle zone ricche di salmonidi.

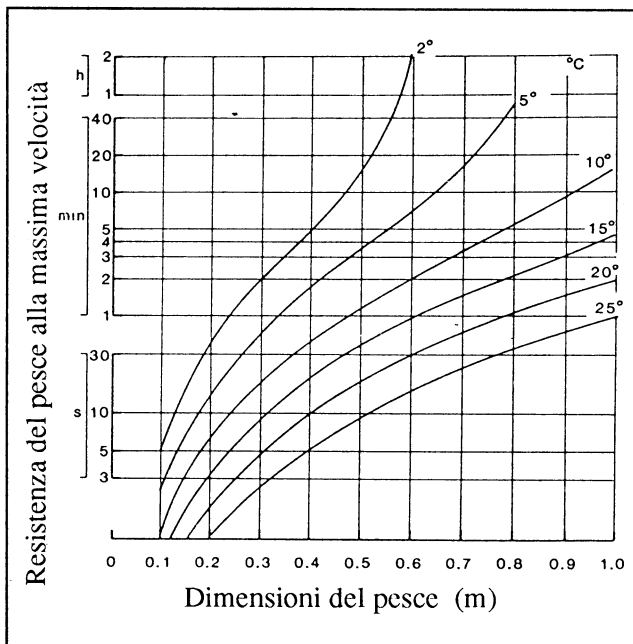


Fig. 46 - Rapporto tra la resistenza dei pesci alla velocità dell'acqua in funzione anche della temperatura (Beach, 1984)

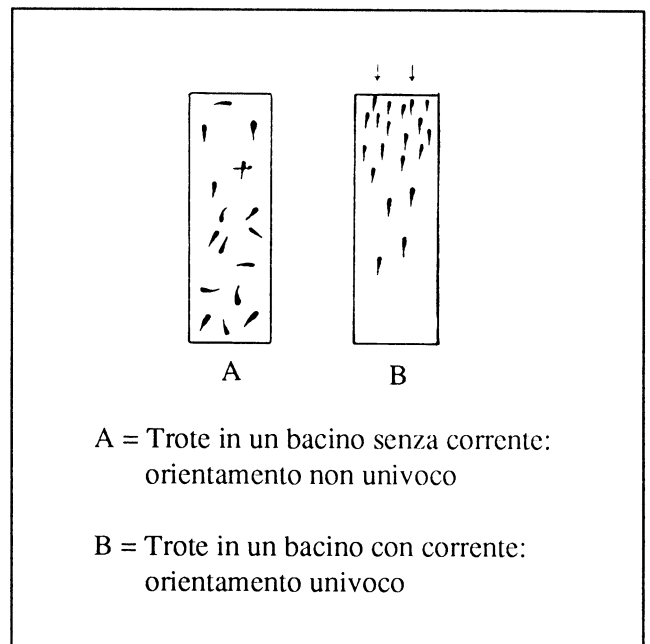


Fig. 47 - Comportamento della fauna ittica in funzione della direzione della corrente idrica (Elson, 1939)

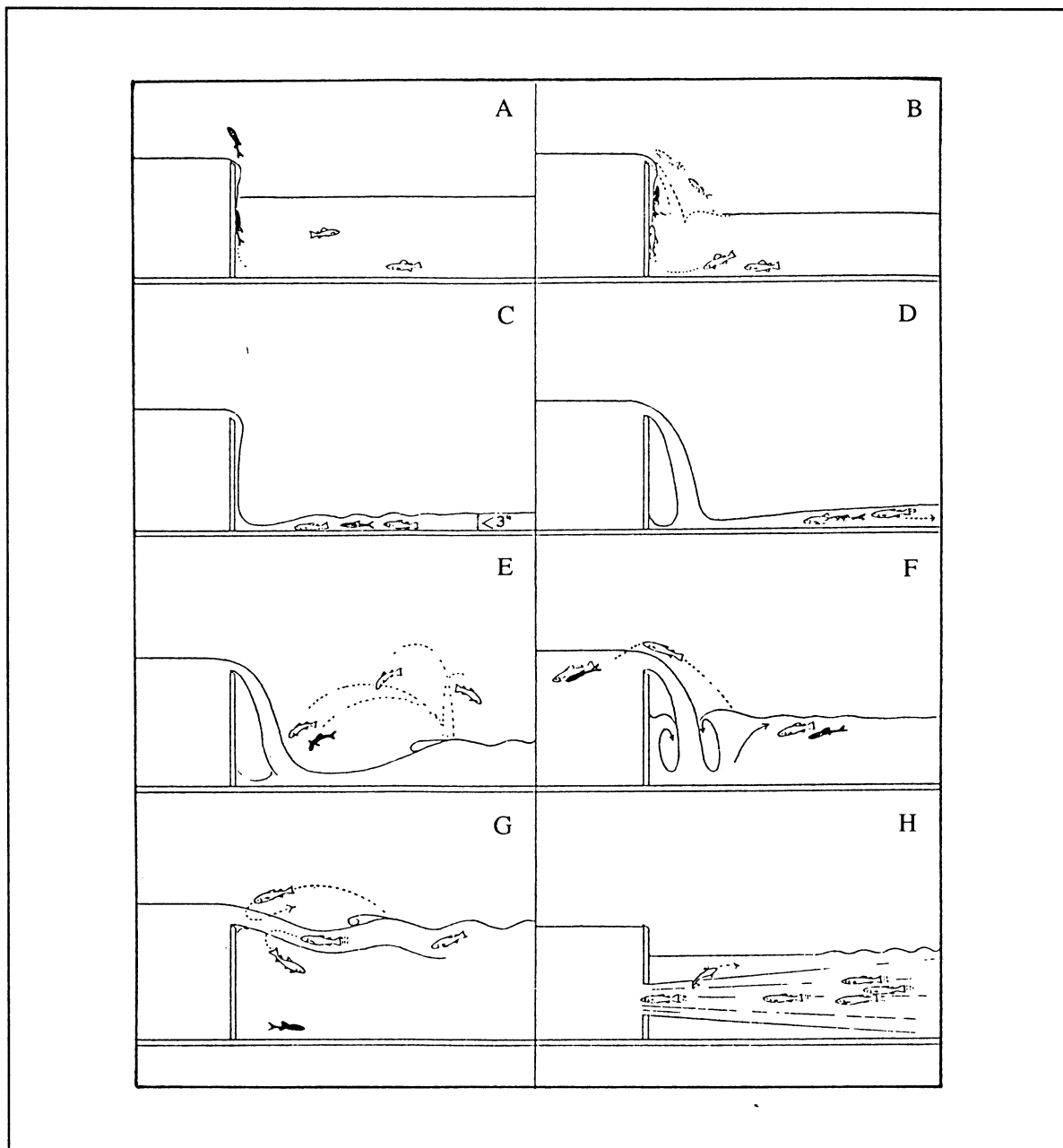
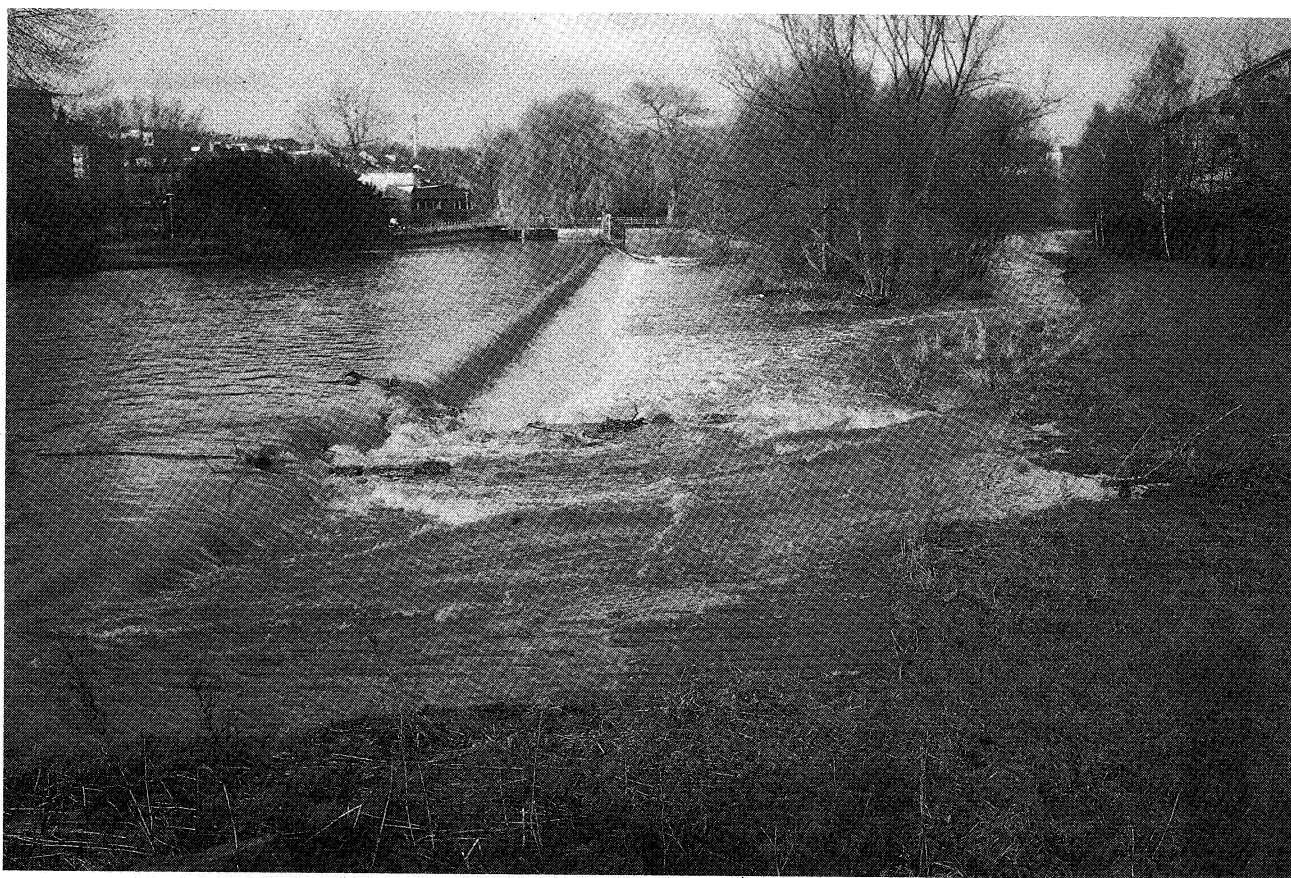


Fig. 48 - Comportamenti dell'ittiofauna in presenza di un ostacolo artificiale al variare del deflusso idrico (Stuart, 1962)



*Foto n. 7 - Rampa in pietrame (passaggio per pesci inserito in un'opera trasversale - durante una portata di magra) (Fiume Nagold) Tipologia n. 26 b2*



*Foto n. 8 - Rampa in pietrame (passaggio per pesci inserito in un'opera trasversale - durante una portata di piena) (Fiume Nagold) Tipologia n. 26 b2*

# C.

## LA MANUTENZIONE

Il termine di manutenzione viene spesso utilizzato per indicare sostanzialmente due concetti diversi:

- a - l'insieme degli interventi necessari affinché gli inerbimenti o i rimboschimenti si affermino, consentendo così di raggiungere gli obiettivi prefissati quali il consolidamento del terreno, il riequilibrio ecologico o il miglioramento estetico-paesaggistico di una zona;
- b - l'insieme degli interventi necessari al mantenimento di una situazione di equilibrio "artificiale": l'eccessivo sviluppo della vegetazione nell'alveo dei corsi d'acqua, ad esempio, può creare problemi di deflusso idraulico qualora l'uomo, in precedenza, sia intervenuto modificando la sezione del fiume stesso o le caratteristiche idrologiche dell'intero bacino (Fig. 49). In tali casi, a volte, sarà opportuno, ai fini idraulici, effettuare periodici tagli della vegetazione presente e si potrà mitigare l'impatto ambientale di questa "manutenzione" adottando idonei accorgimenti tecnici, quali, ad esempio, i tagli selettivi. Mentre nel primo caso si cerca di

favorire lo sviluppo della vegetazione principalmente attraverso irrigazioni, concimazioni, risarcimenti delle eventuali fallanze, sfalci, ecc. (recuperi di ex-cave, consolidamento di pendii franosi, inerbimento di piste da sci, ecc.), nel secondo, al contrario, si tratta di azioni volte al contenimento della vegetazione.

### C.1 CONCETTI GENERALI SULLA MANUTENZIONE DEGLI INTERVENTI DI RINVERDIMENTO

Gli interventi colturali (concimazioni, irrigazioni, ceduazioni, potature, diradamenti, risarcimenti, sfalci, ecc.) sono spesso necessari e lo sono maggiormente laddove le condizioni pedoclimatiche sono estreme.

In sintesi, si può affermare che:

- 1 - *Concimazione*: ha lo scopo di aiutare le piante nel periodo più difficile e cioè quello dell'attecchimento e può essere effettuata con sostanze chimiche, organiche o tramite la tecnica del sovescio. Un'analisi

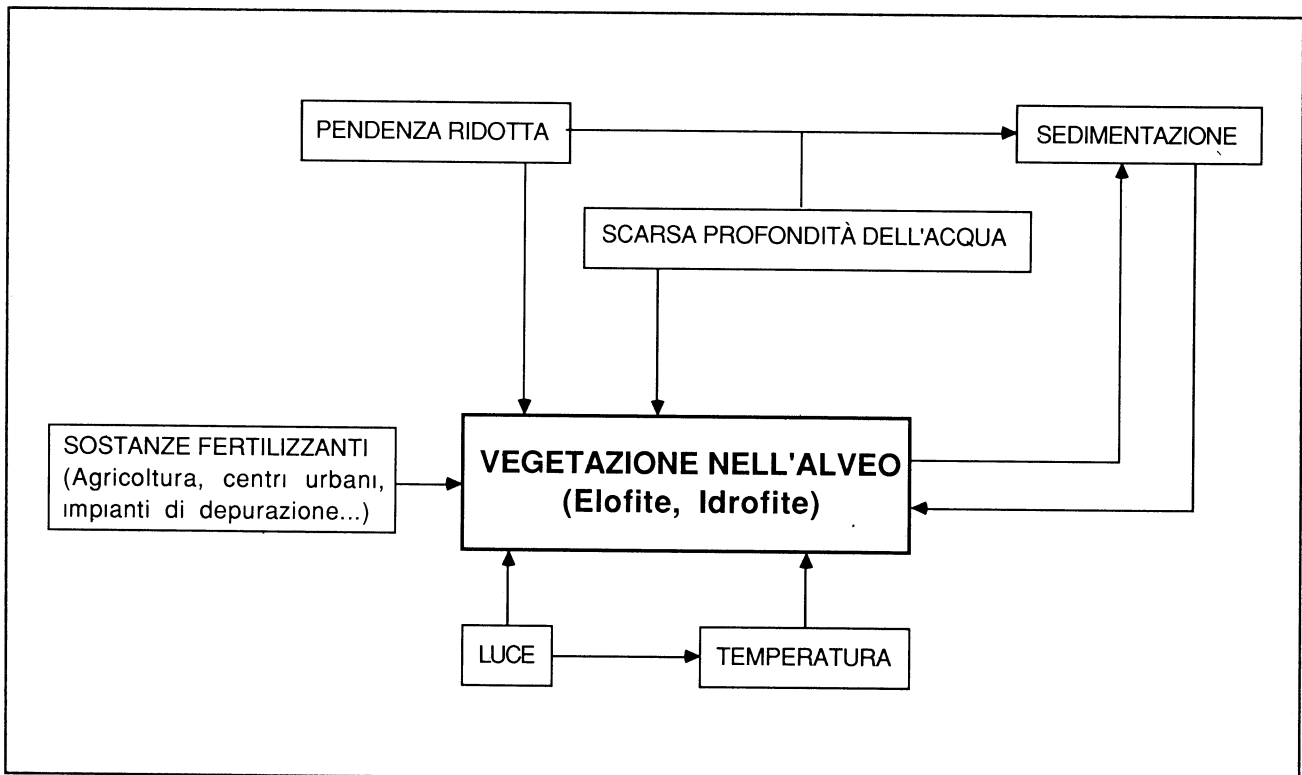


Fig. 49 - Rapporti tra ambiente fluviale e vegetazione (Lachat, 1991)

delle caratteristiche fisico-chimiche del terreno fornirà utili elementi conoscitivi per poter valutare la tipologia di concimazione più idonea. L'impiego di concimi chimici e/o organici deve essere legato alla conoscenza dei loro componenti e delle loro caratteristiche. Anche l'utilizzo di ammendanti, atti a migliorare fisicamente il terreno, e/o di correttivi, idonei a modificarne il chimismo, è legato alla precisa conoscenza delle loro caratteristiche, della loro composizione e della provenienza. Altro importante fattore legato alle concimazioni è quello della conseguente attivazione della complessa serie di microrganismi presenti in un terreno biologicamente vivo; se il substrato è sterile, invece, non è sufficiente un mero apporto di sostanze nutritive di origine minerale, in quanto mancherebbe comunque quella componente vivente in grado di trasformare un suolo inerte in un terreno vegetale ecologicamente attivo; in questi casi è quindi più opportuno l'impiego di concimi organici (letame) in grado di stimolare lo sviluppo dei microrganismi del terreno. Il sovescio è una tecnica agronomica che consiste nel coltivare delle leguminose (veccia, sulla, ecc.) sulla stessa superficie dell'intervento di recupero e nel loro successivo interrimento (prima della loro fioritura); ciò comporta un miglioramento del terreno, in quanto le leguminose sono piante azoto-fissatrici ed il sotterrarle costituisce un ulteriore apporto di preziosa sostanza organica; successivamente si può effettuare la semina con il miscuglio definitivo di specie idonee all'inerbimento. In commercio esistono anche prodotti contenenti batteri del genere *Rhizobium* in grado di stabilire delle simbiosi a livello radicale con le leguminose e di favorire il fissaggio dell'azoto nel terreno. Infine, va ricordato che la presenza di micorrize nel terreno rende le piante arboree ed arbustive più resistenti al gelo.

2 - *Irrigazione*: è una pratica colturale particolarmente utile durante le fasi di semina o di trapianto e nelle stagioni siccitose. Un'eccessiva frequenza nelle irrigazioni può però condizionare negativamente lo sviluppo delle radici in quanto esse si distribuirebbero in prevalenza nello strato superficiale, senza penetrare in profondità, rendendo le piante più sensibili agli stress idrici e più vulnerabili in caso di una siccità prolungata. L'irrigazione può, pertanto, essere considerata una pratica colturale di natura transitoria.

3 - *Ceduazione*: è un'altra tecnica di manutenzione delle piante che può essere eventualmente applicata qualora si vogliano ottenere arbusti o alberi con un portamento ramificato alla base. Ceduando le piantine nei primi 2-3 anni di vita, infatti, esse emettono dei polloni originando così una ceppaia. Questa tecnica, applicata ad esempio alle fasce riparie di salici, consente, da un lato, di effettuare la manutenzione, evitando un eccessivo sviluppo in altezza delle piante e conferendo loro una certa elasticità, dall'altro, di ottenere del materiale di propagazione di ottima qualità per poter effettuare dei consolidamenti di sponda in altri siti.

4 - *Diradamento*: si può rendere necessario qualora una specie prenda il sopravvento rispetto alle altre o, eventualmente, per eliminare una specie infestante o pioniera a favore di quelle definitive o, ancora, per consentire uno sviluppo migliore delle specie eliofile se la loro densità risultasse eccessiva.

5 - *Risarcimento*: qualora l'impianto avesse registrato numerose fallanze è opportuno intervenire con ulteriori piantagioni.

6 - *Sfalcio*: è un'altra pratica colturale particolarmente utile negli inerbimenti perchè favorisce lo sviluppo radicale delle specie erbacee seminate.

7 - *Lavorazione del terreno e pacciamatura*: al fine di ridurre la concorrenza tra le piante messe a dimora e le erbe cosiddette "infestanti", nei primi anni si può verificare la necessità di lavorare il terreno o di eseguire una pacciamatura.

Per quanto concerne l'epoca di effettuazione dei lavori di manutenzione alcuni andranno svolti durante il periodo di riposo vegetativo (potature, risarcimenti, ecc.), altri durante le stagioni più calde (irrigazioni, sfalci, ecc.), mentre altri ancora non sono strettamente legati a fattori stagionali.

In alcuni casi si dovranno proteggere le piantine con recinzioni per evitare i danni del pascolo di animali selvatici o domestici.

Infine, in relazione al fatto che la gestione della superficie su cui si è intervenuti può essere demandata a diversi enti, è consigliata l'elaborazione di un piano di coltura che prescriva le diverse fasi di manutenzione, al fine di dare continuità agli interventi previsti.

## C.2 CONCETTI GENERALI SUL CONTENIMENTO DELLA VEGETAZIONE IN AMBITO FLUVIALE

Nei decenni scorsi, la filosofia di gestione degli ambiti fluviali era soprattutto legata alla realizzazione di interventi di limitata intensità, ma frequenti e costanti nel tempo, mentre, ultimamente, l'attenzione si è spostata verso la costruzione di grandi opere pubbliche: il concetto di manutenzione si è evoluto in quello di "correzione".

Per far defluire, ad esempio, piene con un elevato tempo di ritorno e per evitare frequenti interventi di manutenzione, la struttura morfologica dei corsi d'acqua è stata spesso alterata e, con essa, gran parte del loro sistema biologico.

Attualmente, in relazione al fatto che i problemi si sono aggravati, anche a causa dell'intensa urbanizzazione che ha ridotto notevolmente i tempi di corruzione delle precipitazioni atmosferiche, si sta rivedendo la filosofia di intervento, eliminando alcune vecchie opere, rimettendo allo scoperto alcuni tratti in precedenza intubati, consentendo al fiume di allagare alcune zone ben definite, introducendo nuove tecniche a basso impatto e favorendo maggiormente la manutenzione ordinaria: per evitare interventi troppo "duri", il taglio della vegetazione presente in un corso d'acqua, ad esempio, se ritenuto necessario per motivi di sicurezza idraulica, dovrà essere di tipo "leggero" e cioè costante nel tempo e distribuito nello spazio.

Sia per le sistemazioni tradizionali e sia per quelle che fanno ricorso a tecniche vegetali è, altresì, necessario elaborare un piano degli interventi, al fine di determinare come e dove agire per salvaguardare sia la sicurezza idraulica, sia la maggior diversità di habitat naturali possibile.

Le tecniche di controllo della vegetazione sono principalmente di due tipi:

- a - metodo chimico;
- b - metodo meccanico.

Il controllo chimico deve essere assolutamente evitato a causa della carenza di conoscenze in merito all'evoluzione di questi prodotti e dei loro residui nell'ambiente ed a causa degli effetti secondari difficilmente prevedibili (sinergismo); la vicinanza della falda freatica e del corso d'acqua aggiunge un preoccupante fattore di dispersione e di trasporto delle sostanze tossiche adoperate.

Il controllo meccanico rimane, quindi, il solo valido: la grande varietà di macchine e di attrezzi consente

di scegliere la tecnica di manutenzione più adatta per ogni luogo e di effettuare così un lavoro efficace.

La maneggevolezza e la potenza di alcune macchine, che originariamente non erano state progettate per la manutenzione delle rive dei fiumi, non devono però far propendere, comunque, ad azioni troppo drastiche, ma, al contrario, sono da prevedere interventi che comportino il minore danno possibile all'ambiente: al taglio totale della vegetazione su entrambe le sponde e su superfici estese, sono senz'altro da preferire i tagli limitati ad una delle due sponde, in maniera simmetrica o alternata, o i tagli selettivi che non interessino tutto il popolamento forestale ripariale.

Infine, va ricordato che gli accumuli di materiali litoidi o organici (rami, radici, ecc.) possono determinare una modifica del normale deflusso idrico e, per motivi di sicurezza idraulica, potrà essere prevista la loro rimozione, ma, ove possibile, è opportuno lasciare tali materiali in loco al fine di creare quei microambienti che caratterizzano e diversificano maggiormente l'ecosistema fluviale.

### Criteria di contenimento della vegetazione erbacea

Uno sviluppo eccessivo della vegetazione erbacea (idrofiti ed elofiti), talvolta, può creare problemi al deflusso idrico soprattutto nell'alveo dei corsi d'acqua di pianura o in canali artificiali.

E' possibile agire preventivamente e selettivamente sui diversi fattori che ne favoriscono la crescita: l'assolazione eccessiva, per esempio, può essere ridotta da un adeguato sviluppo di un'idonea vegetazione arbustiva o arborea sulle rive in grado di ombreggiare adeguatamente il corso d'acqua.

In altri casi il contenimento della vegetazione erbacea può essere ottenuto solamente con i tradizionali metodi, ma una scelta oculata del periodo e delle modalità restano fondamentali per garantire la massima efficacia ed il minimo impatto ambientale.

Mentre, ad esempio, per eliminare le piante infestanti, il dragaggio comporta notevoli danni alla fauna ed alla flora, che si impoveriscono e si modificano nella loro composizione specifica (Fig. 50), lo sfalcio effettuato durante il periodo estivo determina un esaurimento degli organi di riserva di queste piante contenendone così lo sviluppo negli anni successivi.

### Criteria di contenimento della vegetazione arbustiva ed arborea

Qualora la sezione del fiume, ridotta da antichi o recenti interventi umani, non sia più idonea al regolare deflusso delle piene, si può rendere necessario limitare i fattori che la riducono ulteriormente e che sono costituiti dall'eventuale presenza di manufatti o di una folta vegetazione arbustiva o arborea.

Per quanto concerne la presenza di grossi alberi, il vento o la neve possono provocare degli effetti negativi quali schianti o sradicamenti; in tali casi si può rendere necessaria un'azione di contenimento attraverso la potatura dei rami più grossi o instabili e, solamente nelle situazioni di dimostrato pericolo, si potrà anche

intervenire attraverso l'eliminazione dei suddetti esemplari arborei.

In merito all'epoca di intervento più idonea per effettuare i tagli, è opportuno tenere presente anche i cicli biologici della fauna autoctona: sono ad esempio da evitare i periodi di riproduzione (Fig. 51).

Qualora si eseguano dei lavori di contenimento della vegetazione durante il periodo di riposo vegetativo, il materiale di risulta può essere efficacemente impiegato in altri interventi di consolidamento del terreno quale materiale di propagazione.

In definitiva, una corretta manutenzione consentirebbe, comunque, di non dover intervenire nuovamente sulla stessa superficie per almeno cinque anni.

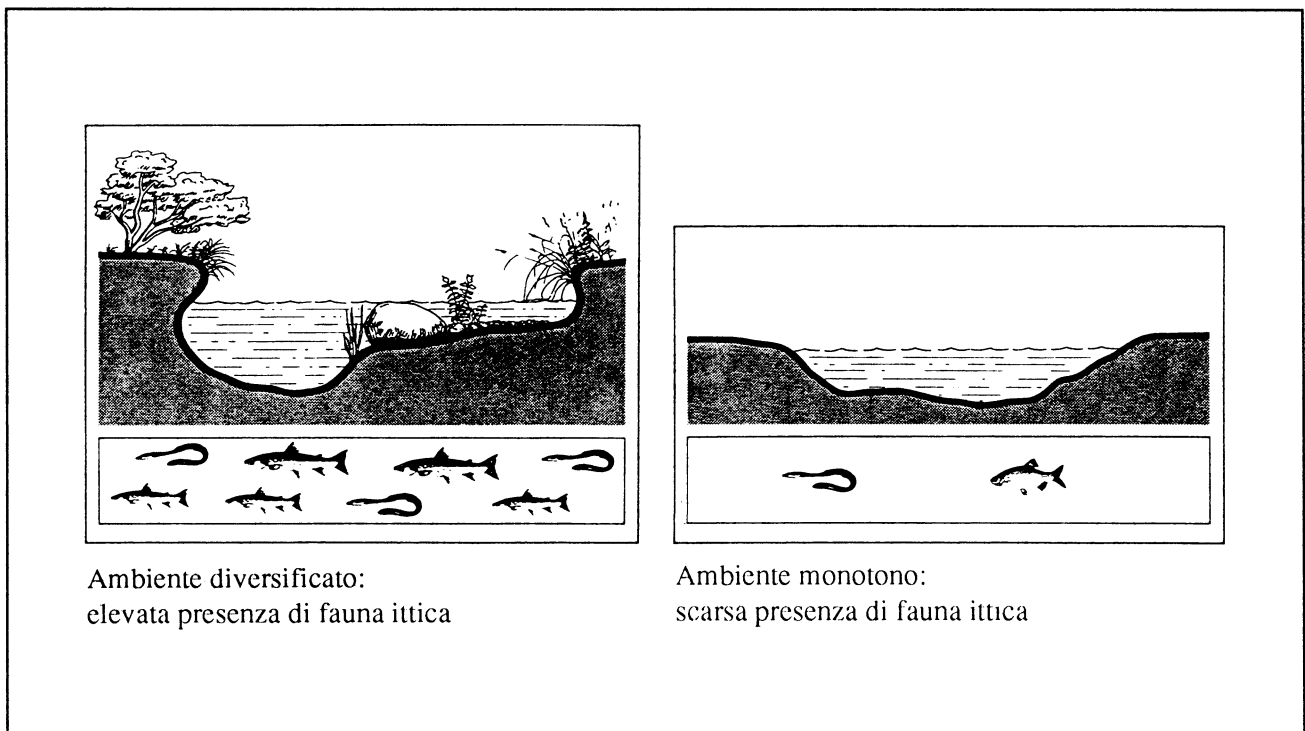


Fig. 50 - Influenza dei dragaggi sulla fauna ittica (Madsen, 1986)

	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D
Cicli riproduttivi: fauna acquatica	Invertebrati/Insetti											
	Salmonidi	Ciprinidi e altri										
Cicli biologici: Idrofite												
	Pesca											
Manutenzioni												
	Sviluppo											
Lavori in alveo												
	Diserbo											
Sistemazioni e manutenzioni (elofite)												
	Zone a Salmonidi						Zone a Ciprinidi					
Sistemazioni e manutenzioni (sp. erbacee)												
	Fusti, Rizomi, Talee								Fusti, Rizomi, Talee			
Sistemazioni e manutenzioni (sp. legnose)												
	Cure alle talee											
Cicli biologici: fauna terrestre												
	-Sfalcio - - - + + +											
Vegetazione esistente												
	Semine											
Vegetazione esistente												
	Sfalcio, diserbo											
Vegetazione esistente												
	Talee/Margotte								Talee/Margotte			
Vegetazione esistente												
	Piantagione						Piantagione					
Vegetazione esistente												
	Potature - - + + +											
Vegetazione esistente												
	Nidificazione, Riproduzione Vertebrati											
Vegetazione esistente												
	Manutenzione - - + + +											

Fig. 51 - Calendario dell'ingegneria naturalistica in ambito fluviale (Lachat, 1991 - modificata)



*Foto n. 9 - Ambiente fluviale con presenza di una fascia di vegetazione ripariale ben sviluppata (Fiume Inn)*



*Foto n. 10 - Ambiente fluviale con presenza di una fascia di vegetazione ripariale ben sviluppata (Fiume Inn)*

# D.

## GLI ASPETTI ECONOMICI DELL'INGEGNERIA NATURALISTICA

### D.1 CONCETTI GENERALI

Per quanto concerne l'aspetto economico delle tecniche di ingegneria naturalistica, i costi di realizzazione dipendono dalle seguenti fasi di lavorazione:

- a - acquisto o approvvigionamento del materiale;
- b - trasporto del materiale;
- c - realizzazione dell'opera;
- d - manutenzione dell'opera.

In diverse realizzazioni effettuate soprattutto nei paesi alpini si è potuta registrare una notevole convenienza economica (40-90%) rispetto ad interventi di tipo tradizionale che richiedevano l'impiego del calcestruzzo.

Ovviamente, non tutte le tipologie di intervento tradizionali possono essere sostituite con le tecniche di ingegneria naturalistica, ma è più opportuno cercare di ottenere una loro integrazione sinergica.

Il prezioso allegato al presente testo costituisce una prima ipotesi di quantificazione dei costi di realizzazione delle tecniche di ingegneria naturalistica ed è quindi auspicabile che venga avviata una fase di sperimentazione e di applicazione di tali metodologie, soprattutto

in ambienti mediterranei, al fine di meglio quantificare i relativi aspetti economici, anche in relazione alle possibili varianti nella progettazione e nell'organizzazione del lavoro.

In alcuni paesi alpini, ad esempio, nei diversi lavori di consolidamento dei versanti o di costruzione di infrastrutture viarie è consuetudine destinare per le opere a verde una percentuale (1-15%) dell'importo totale dell'intervento: ciò determina il positivo effetto di rendere obbligatoria una serie di opere di mitigazione degli impatti che utilizzano proprio il materiale vegetale vivo.

Nella valutazione degli aspetti economici delle diverse metodologie da adottare, infine, bisogna anche tenere presente il fatto che l'impatto ambientale degli interventi antropici sul territorio è difficilmente quantificabile in termini economici, ma indiscutibilmente deve essere considerato con attenzione in una moderna e corretta fase progettuale; in tale prospettiva la mitigazione degli impatti riveste un ruolo fondamentale e, pertanto, le tecniche e le opere di ingegneria naturalistica hanno un valore intrinseco ancora più elevato.



Foto n. 11 - Consolidamento di un ruscello attraverso l'impiego di talee e picchetti di legno (nelle tecniche di ingegneria naturalistica il costo dell'intervento è legato soprattutto a quello della manodopera)

## **PARTE SPECIALE**

## INERBIMENTO

### A - SEMINA A SPAGLIO

#### MODALITA' DI ESECUZIONE:

- 1 - Preparazione del letto di semina con eventuale eliminazione dei ciottoli presenti tramite rastrellatura e successivo riporto di terreno vegetale, se il substrato è sterile.
- 2 - Semina manuale o meccanica di un miscuglio di sementi di specie erbacee selezionate (10-50 g/mq) o di fiorume (0,5-2 kg/mq).
- 3 - Distribuzione di fertilizzante organico (50-150 g/mq).

#### Note:

- 1 - La semina con il fiorume ha il vantaggio di poter impiegare specie altrimenti non presenti in commercio; ciò è importante soprattutto in aree naturali quali parchi e riserve dove andrebbe posta particolare attenzione all'introduzione di specie vegetali non appartenenti alla flora autoctona; va però ricordato che, a volte, nel fiorume non sono presenti specie molto rustiche e, quindi, si potrà utilizzarlo qualora il substrato contenga una certa quantità di humus.
- 2 - Nel caso si impieghino semi piccoli o leggeri è consigliato aggiungere sabbia o argilla al miscuglio.
- 3 - Il periodo di semina più idoneo è quello primaverile-estivo, ma esso può variare in funzione delle situazioni pedoclimatiche della stazione.
- 4 - Qualora non sia necessario un riporto di terreno vegetale e dove non vi sia un elevato pericolo di disseccamento della semente questo semplice metodo di inerbimento può essere, dal punto di vista economico, più conveniente di altri.

## INERBIMENTO

### B - IDROSEMINA

#### MODALITA' DI ESECUZIONE:

- 1 - Preparazione del letto di semina con eventuale eliminazione dei ciottoli presenti tramite rastrellatura.
- 2 - Distribuzione mediante l'impiego di motopompe montate su mezzi mobili di una particolare miscela costituita prevalentemente, in composizioni e quantità differenti, da:
  - a - acqua;
  - b - miscuglio di sementi di specie erbacee ed eventualmente arbustive idonee alla stazione (10-50 g/mq);
  - c - fertilizzante organico (50-150 g/mq);
  - d - leganti (o collanti): alginati (80-100 g/mq), cellulosa, ecc.;
  - e - sostanze miglioratrici del terreno: argilla (100-400 g/mq), torba, sabbia, cellulosa (60 g/mq), alginati, ecc.;
  - f - fitoregolatori (1-5 g/mq), atti a stimolare la radicazione delle sementi e lo sviluppo della microflora del suolo.

#### Note:

- 1 - La miscela deve essere omogenea durante l'impiego e, quindi, va continuamente mescolata per evitare la sedimentazione dei singoli componenti.
- 2 - L'intervento deve essere effettuato durante la stagione umida (marzo-maggio, settembre-novembre).
- 3 - La natura del suolo e le condizioni climatiche incidono sia sulla quantità di miscela da distribuire (1-30 l/mq), sia sullo spessore dello strato (0,3-2 cm).
- 4 - Sono possibili numerose combinazioni e varianti in funzione dei componenti adoperati e delle loro quantità: la cellulosa è indicata in luoghi aridi in quanto ha un'elevata capacità di ritenuta idrica, la torba è idonea per terreni sabbiosi, i leganti sono indicati per zone ad elevata pendenza, mentre i fertilizzanti in quelle povere di sostanze nutritive, ecc.
- 5 - Le diverse ditte del settore, in base alla loro esperienza, sono in grado di offrire varie soluzioni, modificando la quantità e la qualità dei diversi componenti (sementi, fertilizzanti, collanti, fitoregolatori e sostanze miglioratrici del terreno). La distribuzione di sostanze miglioratrici del suolo e di concimi consente spesso di evitare il costoso ed a volte difficoltoso riporto di terreno vegetale.
- 6 - La miscela viene distribuita in un'unica soluzione tramite l'impiego di speciali macchine a forte pressione (idrosemiatrici) consentendo l'inerbimento di scarpate molto ripide, altrimenti non raggiungibili.

## INERBIMENTO

### C - SEMINA CON COLTRE PROTETTIVA DI PAGLIA (mulch)

#### MODALITA' DI ESECUZIONE:

- 1 - Preparazione del letto di semina con eventuale eliminazione dei ciottoli presenti tramite rastrellatura.
- 2 - Distribuzione del miscuglio di sementi (a spaglio o con idrosemina) (10-50 g/mq).
- 3 - Distribuzione, mediante l'impiego di motopompe montate su di un mezzo mobile, di una miscela composta da paglia trinciata (0,3-1 kg/mq) e da concime organico (50-150 g/mq).

#### Note:

- 1 - Tale sistema ha il vantaggio che può essere applicato durante l'intero periodo vegetativo, benché i migliori risultati si ottengano nelle stagioni umide.
- 2 - La concimazione, il fissaggio e la protezione (mulch) si possono effettuare simultaneamente o in fasi successive.
- 3 - Recentemente è stata elaborata una variante che consente di irrorare direttamente il terreno con una miscela a base di:
  - a - miscuglio di sementi;
  - b - sostanza organica (mulch a fibra corta);
  - c - concimi organici e minerali (anche pellettati);
  - d - leganti di origine organica.

In questo caso si realizza uno strato di ricoprimento (spessore: 0,2-1 cm) in cui è inglobato il seme e la frazione concimante. Il sistema può dare dei risultati notevoli dove non ci siano problemi di siccità prolungata e dove esista già una frazione limoso-argillosa nel suolo. Su terreni ciottoloso-ghiaiosi o aridi il risultato può essere parziale e temporaneo.

- 4 - Benché la distribuzione di una coltre protettiva a fibra corta dopo il trattamento principale sia possibile e favorisca l'instaurarsi di condizioni microclimatiche migliori per l'attecchimento, il risultato è inferiore a quello ottenibile mediante l'uso di una coltre protettiva a fibra lunga.

## INERBIMENTO

### D - SEMINA CON COLTRE PROTETTIVA DI PAGLIA E BITUME (*sistema Schiechteln*®)

#### MODALITA' DI ESECUZIONE:

- 1 - Preparazione del terreno con eventuale riporto di terreno vegetale (spessore: 3-4 cm).
- 2 - Eventuale messa a dimora di talee:
  - preparazione delle buche per mezzo di stanghe di ferro;
  - posa in opera delle talee (6 talee per metro quadrato).Nel caso si dovesse intervenire in periodi diversi da quello primaverile le talee potrebbero essere sostituite da paletti di legno di qualsiasi specie o da picchetti di ferro.
- 3 - Spargimento di uno strato continuo di paglia di segale o di altri cereali o di fieno (0,3-1 kg/mq). Il materiale a culmo lungo è idoneo per una più rapida ed economica distribuzione e per una migliore e duratura protezione del terreno in quanto previene una possibile asportazione a causa di eventi naturali.
- 4 - Collegamento delle talee con filo di ferro (diametro: 6 mm) o con corda.
- 5 - Semina di un apposito miscuglio di sementi foraggere e di piante rustiche (10-50 g/mq) eseguita a spaglio sopra lo strato di paglia.
- 6 - Distribuzione di concime organico (50-150 g/mq).
- 7 - Aspersione di un'emulsione bituminosa instabile (700 g/mq) già diluita in acqua per stabilizzare fisicamente lo strato di paglia ed evitare erosioni da parte del vento o dell'acqua.

#### Note:

- 1 - La paglia viene trasportata sul posto in balle pressate e, contrariamente a come spesso si opera nei paesi d'oltralpe, la paglia deve essere asciutta, onde evitare che, all'atto della semina (di norma dovrebbe avvenire nella stessa giornata od in quella successiva) il seme rimanga attaccato allo strato più superficiale del manto vegetale distribuito. La sfogliatura delle balle di paglia va eseguita a mano per evitare che si formino ammassi eterogenei. Al fine di favorire la degradazione della paglia si può arricchirla con enzimi.
- 2 - Il metodo sopra descritto assolve a diverse funzioni quali:
  - riduzione dell'effetto erosivo delle precipitazioni atmosferiche e del vento;
  - riduzione delle perdite di seme per dilavamento o a causa della predazione degli animali (uccelli, roditori, insetti, ecc.);
  - realizzazione di un particolare microclima in prossimità del terreno sia in relazione alla temperatura (minori sbalzi termici) che all'umidità (riduzione dell'evaporazione): "effetto serra".
- 3 - Su terreni con pendenza elevata, il suolo potrà eventualmente essere consolidato mediante la posa di reti o griglie metalliche, sintetiche o in fibra naturale a maglia stretta fissate al suolo con graffe e successivamente inerbito.

- 4 - E' un metodo idoneo anche per inerbire superfici caratterizzate da suoli poco profondi e aridi o situate a quote elevate (piste da sci).
- 5 - Il miscuglio di sementi deve essere distribuito in maniera omogenea e, perciò, nel caso in cui le sementi siano di dimensioni e pesi diversi, è consigliato effettuare la semina in più fasi.
- 6 - Il periodo più adatto per questo tipo di intervento è quello primaverile.
- 7 - L'aspetto economico di questa tipologia di inerbimento è legato all'eventuale messa a dimora delle talee ed alla posa di reti o di griglie.

## INERBIMENTO

### E - TAPPETO ERBOSO

#### MODALITA' DI ESECUZIONE:

- 1 - Preparazione e livellamento del terreno.
- 2 - Eventuale riporto di terreno vegetale.
- 3 - Distribuzione di concime organico.
- 4 - Irrigazione della superficie scoperta.
- 5 - Posa delle zolle erbose.
- 6 - Irrigazione della superficie inerbita (15 l/mq).
- 7 - Compattamento tramite rullatura.
- 8 - Eventuale fissaggio delle zolle con picchetti (lunghezza: 50 cm) da interrare completamente.
- 9 - Irrigazioni frequenti in relazione alla stazione ed all'andamento climatico.
- 10 - Eventuale sfalcio.

#### Note:

- 1 - Uno dei vantaggi offerti dal tappeto erroso è legato all'immediata realizzazione di una copertura vegetale e dal fatto che è possibile collocarlo durante tutto l'arco dell'anno.
- 2 - Le zolle hanno dimensioni di circa 0,5 x 2,5 m, ma possono essere anche più piccole (0,5 x 0,5 m), uno spessore di 1-5 cm ed un peso di 20-30 kg/mq.
- 3 - E' possibile effettuare inerimenti con zolle poste a scacchiera o a strisce in modo tale da ridurre i costi e consentire comunque un inerimento totale anche se più dilazionato nel tempo; la riuscita di tale metodo di intervento è legata alla composizione specifica presente nel tappeto erroso adoperato: se le specie che lo compongono non sono rustiche difficilmente saranno in grado di colonizzare le zone prive di terreno vegetale; si consiglia, pertanto, di riportare del terreno vegetale negli spazi vuoti e, successivamente, di inerire tramite una normale semina.
- 4 - Al fine di evitare deterioramenti legati ad asfissia, fermentazione, mancanza di luce o disseccamento e di garantire così una maggiore probabilità di attecchimento delle specie erbacee, è necessario non lasciare le piote erbose accatastate per lungo tempo e, analogamente, è opportuno effettuare il trasporto il più rapidamente possibile.
- 5 - Il prelievo di piote erbose direttamente in natura può rendersi necessario soprattutto qualora si sia in presenza di condizioni ambientali estreme, in quanto i tappeti erbosi comunemente impiegati potrebbero avere difficoltà di attecchimento.
- 6 - E' possibile inerire con piote o con tappeti erbosi anche fossi o canalette qualora le pendenze non siano elevate.

**Note generali per le diverse tipologie di inerbimento:**

- 1 - Per effettuare una corretta scelta dei materiali e delle sementi vanno sempre analizzate con attenzione le condizioni pedoclimatiche, nonché la composizione floristica della stazione; per le sementi da impiegare, inoltre, è di fondamentale importanza anche la conoscenza delle seguenti caratteristiche del prodotto:
  - la specie;
  - la composizione (in caso di miscuglio);
  - il grado di purezza;
  - il grado di germinabilità;
  - la data di scadenza;
  - il prezzo.
- 2 - La semina diretta è valida per gli inerbimenti, mentre, per quanto concerne la messa a dimora di piante arboree od arbustive, è spesso da preferirsi l'uso di esemplari già sviluppati in vivaio (semenzali o trapianti), anche se è possibile seminare contemporaneamente alle specie erbacee quelle arbustive o arboree (a strisce, a gruppi, ecc.).
- 3 - La quantità di sementi da impiegare per un inerbimento varia da 10 a 50 g/mq; una semina più rada o più densa può creare seri problemi di riuscita dell'intervento (scarsa copertura del terreno, selezione di specie a rapido accrescimento ma meno rustiche e durature, ecc.).
- 4 - Se i fattori limitanti la crescita delle sementi sono considerevoli (elevata presenza di predatori, scarsa germinabilità del seme, avversità atmosferiche, ecc.) la quantità da impiegare dovrà, ovviamente, essere maggiore.
- 5 - Qualora vi sia l'eventualità di un disseccamento della vegetazione (terreni aridi) si renderà necessario prevedere l'esecuzione di uno o più interventi di irrigazione.
- 6 - In caso di inerbimenti sulle sponde dei corsi d'acqua, nella scelta del periodo di realizzazione della semina si dovrà tenere conto del regime idrico del fiume in modo da non intervenire durante i periodi di piena, al fine di consentire alle piantine di radicare sufficientemente.
- 7 - La concimazione delle zone da inerbire può essere fatta in diverse fasi (prima, durante o dopo la semina).
- 8 - Nel caso di semine con mezzi meccanici il cantiere dovrà essere, ovviamente, accessibile; l'operatività delle idroseminatrici è in funzione delle caratteristiche tecniche delle macchine e delle miscele impiegate e, normalmente, è di 25 m di raggio, ma, attraverso l'impiego di tubi flessibili, può essere anche di circa 150 m. A volte, in situazioni particolarmente difficili e non servite da idonea viabilità, è stato impiegato con successo anche l'elicottero.
- 9 - E' opportuno che i prodotti impiegati siano tutti biodegradabili in tempi brevi (6-12 mesi).

**Composizione di un miscuglio di sementi  
per inerbimenti di terreni ripidi**

**Terreni alcalini**

SPECIE:	%
<i>Festuca pratensis</i>	24
<i>Festuca rubra</i>	15
<i>Arrhenatherum elatius</i>	10
<i>Poa pratensis</i>	10
<i>Dactylis glomerata</i>	5
<i>Lolium perenne</i>	5
<i>Trifolium repens</i>	4
<i>Lotus corniculatus</i>	4
<i>Phleum pratense</i>	3
<i>Achillea millefolium</i>	2
<i>Agrostis tenuis</i>	2
<i>Lathyrus pratensis</i>	2
<i>Medicago lupulina</i>	2
<i>Onobrychis viciifolia</i>	2
<i>Sanguisorba minor</i>	2
<i>Trifolium pratense</i>	2
<i>Anthyllis vulneraria</i>	1
<i>Carum carvi</i>	1
<i>Cynosurus cristatus</i>	1
<i>Trisetum flavescens</i>	1
<i>Vicia sativa</i>	1
<i>Daucus carota</i>	0,8
<i>Chrysanthemum leucanthemum</i>	0,2

**Terreni acidi**

SPECIE:	%
<i>Festuca rubra</i>	25
<i>Festuca ovina</i>	10
<i>Festuca pratensis</i>	10
<i>Festuca duriuscula</i>	8
<i>Poa pratensis</i>	6
<i>Dactylis glomerata</i>	5
<i>Lolium perenne</i>	5
<i>Trifolium repens</i>	5
<i>Lotus corniculatus</i>	4
<i>Phleum pratense</i>	4
<i>Trifolium hybridum</i>	3
<i>Medicago sativa</i>	2
<i>Onobrychis viciifolia</i>	2
<i>Sanguisorba minor</i>	2
<i>Trifolium pratense</i>	2
<i>Achillea millefolium</i>	1
<i>Agrostis tenuis</i>	1
<i>Lathyrus pratensis</i>	1
<i>Lupinus polyphyllus</i>	1
<i>Medicago lupulina</i>	1
<i>Vicia sativa</i>	1
<i>Vicia villosa</i>	1

**Composizione di un miscuglio di sementi  
per inerbimenti di piste da sci**

**Entro il limite del bosco**

SPECIE:	%
<i>Festuca rubra</i>	30
<i>Festuca trichophylla</i>	15
<i>Festuca duriuscula</i>	12
<i>Poa alpina</i>	10
<i>Achillea millefolium</i>	5
<i>Festuca tenuifolia</i>	5
<i>Phleum pratense</i>	5
<i>Trifolium repens</i>	5
<i>Festuca ovina</i>	4
<i>Agrostis tenuis</i>	2
<i>Avenella flexuosa</i>	2
<i>Deschampsia caespitosa</i>	2
<i>Trifolium hybridum</i>	2
<i>Lotus corniculatus</i>	1

**Oltre il limite del bosco**

SPECIE:	%
<i>Festuca rubra</i>	30
<i>Festuca trichophylla</i>	15
<i>Poa alpina</i>	15
<i>Festuca duriuscula</i>	10
<i>Festuca ovina</i>	7
<i>Achillea millefolium</i>	5
<i>Festuca tenuifolia</i>	5
<i>Trifolium hybridum</i>	4
<i>Avenella flexuosa</i>	2
<i>Deschampsia caespitosa</i>	2
<i>Phleum pratense</i>	2
<i>Trifolium repens</i>	2
<i>Lotus corniculatus</i>	1

**Composizione di un miscuglio di sementi  
per inerbimenti di terreni non ripidi (altitudine < 1600 m)**

**Terreni alcalini**

SPECIE:	%
<i>Festuca rubra</i>	32
<i>Festuca ovina</i>	18
<i>Festuca duriuscula</i>	10
<i>Trifolium repens</i>	7
<i>Lotus corniculatus</i>	6
<i>Poa pratensis</i>	5
<i>Lolium perenne</i>	4
<i>Dactylis glomerata</i>	3
<i>Achillea millefolium</i>	2
<i>Medicago lupulina</i>	2
<i>Onobrychis viciifolia</i>	2
<i>Phleum pratense</i>	2
<i>Sanguisorba minor</i>	2
<i>Trifolium pratense</i>	2
<i>Anthyllis vulneraria</i>	1
<i>Lathyrus pratensis</i>	1
<i>Lupinus polyphyllus</i>	1

**Terreni acidi**

SPECIE:	%
<i>Festuca rubra</i>	35
<i>Festuca ovina</i>	15
<i>Festuca duriuscula</i>	8
<i>Poa pratensis</i>	7
<i>Trifolium repens</i>	6
<i>Lolium perenne</i>	4
<i>Lotus corniculatus</i>	4
<i>Dactylis glomerata</i>	3
<i>Trifolium hybridum</i>	3
<i>Achillea millefolium</i>	2
<i>Medicago lupulina</i>	2
<i>Onobrychis viciifolia</i>	2
<i>Phleum pratense</i>	2
<i>Sanguisorba minor</i>	2
<i>Trifolium pratense</i>	2
<i>Agrostis tenuis</i>	1
<i>Lathyrus pratensis</i>	1
<i>Lupinus polyphyllus</i>	1

**Composizione di un miscuglio di sementi  
per inerbimenti di terreni non ripidi (altitudine > 1600 m)**

SPECIE:	%
<i>Festuca rubra</i>	32
<i>Poa alpina</i>	28
<i>Festuca trichophylla</i>	10
<i>Festuca duriuscula</i>	7
<i>Festuca ovina</i>	7
<i>Achillea millefolium</i>	5
<i>Trifolium hybridum</i>	4
<i>Deschampsia caespitosa</i>	3
<i>Avenella flexuosa</i>	2
<i>Lotus corniculatus</i>	2

## MESSA A DIMORA DI SPECIE ARBUSTIVE O ARBOREE

### A - PIANTAGIONE DI SEMENZALI O TRAPIANTI (a radice nuda o in fitocella)

#### MODALITA' DI ESECUZIONE:

- 1 - Apertura della buca di dimensioni prossime al volume dell'apparato radicale, se si impiegano piantine a radice nuda, o doppia, se si utilizzano piantine in fitocella o con pane di terra.
- 2 - Eventuale eliminazione di rami secchi o di radici rotte o ferite.
- 3 - Messa a dimora della piantina (a radice nuda o in fitocella) e ricoprimento con terreno vegetale; è importante non interrare la piantina oltre il colletto.
- 4 - Irrigazione.

#### Note:

- 1 - Per l'impianto di specie pioniere su terreni difficili (poveri e aridi) dove si registra spesso un'elevata mortalità e dove non si preveda l'impiego di terreno vegetale, è consigliato eseguire un ricoprimento della parte superiore della buca con uno strato (2-4 cm) di torba, paglia, cellulosa sminuzzata o altra sostanza organica, allo scopo di mantenere un certo grado di umidità nel terreno (non è opportuno porre questo materiale a contatto con le radici della pianta); sopra lo strato di sostanza organica andrà riportato del terreno proveniente dallo scavo al fine di impedirne il dilavamento.
- 2 - La preparazione della buche deve sempre tenere conto delle condizioni pedoclimatiche della stazione: in zone aride il livello della buca, dopo aver eseguito il riempimento, deve risultare inferiore a quello del terreno circostante, mentre in zone con frequenti ristagni d'acqua è preferibile realizzare un "monticello" con funzione drenante.
- 3 - La densità di impianto varia in funzione degli obiettivi dell'intervento e delle caratteristiche della stazione (1-3.000 piantine per ettaro, ma in situazioni particolarmente difficili si possono mettere a dimora anche 7-8.000 piantine per ettaro).
- 4 - In presenza di piantine a radice nuda è possibile effettuare l'intervento solamente durante il periodo di riposo vegetativo.
- 5 - Con piantine a radice nuda, a volte, è sufficiente eseguire delle fessure nel terreno nelle quali collocare i semenzali o i trapianti.
- 6 - Se l'involucro contenente la zolla è costituito da materiale biodegradabile, ad esempio juta, esso può essere lasciato all'interno della buca.
- 7 - L'uso di piantine in fitocella ha il pregio di accrescere notevolmente le probabilità di attecchimento rispetto a quelle messe a dimora a radice nuda ed inoltre vi è la possibilità di eseguire il trapianto durante tutto l'arco dell'anno.
- 8 - Un altro metodo di piantagione molto interessante è quello che utilizza vasetti di torba o di carta; esso consiste nella messa a dimora, attraverso l'uso di un apposito bastone trapiantatore, di semenzali prodotti in vivaio in particolari contenitori a forma di "cartuccia". Ciò consente di poter eseguire rapidamente la piantagione, di ottenere un sesto di impianto irregolare e, nel contempo, ha il pregio di rispettare eventuali esemplari arborei o arbustivi già presenti in loco.

- 9 - La piantagione di semenzali o di trapianti può avvenire anche su gradoni che, in caso di terreni aridi, dovranno avere una contropendenza verso monte al fine di favorire una maggiore ritenuta idrica.
- 10 - Il materiale vegetale impiegato deve avere requisiti e caratteristiche ben precise, quali:
- non deve presentare ferite, capitozzature o attacchi parassitari (funghi, insetti, ecc.);
  - deve avere un portamento regolare ed una giusta proporzione tra la conformazione della chioma, del tronco e delle radici;
  - deve essere contrassegnato da appositi cartellini indicanti la provenienza e la specie, in base alle norme vigenti in materia (L. n. 269 del 22.5.1973).

## **B - PIANTAGIONE DI RIZOMI O DI LORO PARTI**

### **MODALITA' DI ESECUZIONE:**

- 1 - Si eseguono buche di circa 20 cm di diametro nelle quali si depongono i rizomi o loro parti e poi si ricoprono con il terreno al fine di evitarne il disseccamento.
- 2 - Irrigazione.

### **Note:**

- 1 - La quantità di materiale di propagazione da utilizzare varia in funzione della specie impiegata: 3-5 rizomi o talee di rizomi per metro quadrato.
- 2 - Il periodo più idoneo per questo tipo di piantagione è quello del riposo vegetativo.
- 3 - Nel caso si intenda impiantare un canneto, le zolle contenenti i rizomi vanno poste ad una distanza di 0,5-1 m; è opportuno mettere a dimora il canneto in terreni umidi, ma non costantemente allagati (profondità < 50 cm).

## **C - SEMINA**

### **MODALITA' DI ESECUZIONE:**

- 1 - La semina a buche avviene manualmente tramite l'esecuzione di fori (diametro: 10 cm) nei quali si depongono 1-5 semi.
- 2 - Ricoprimento della buca con il terreno di scavo.
- 3 - Irrigazione.

### **Note:**

- 1 - La semina a spaglio può avvenire manualmente o attraverso l'impiego di macchine.

## MESSA A DIMORA DI TALEE DI SPECIE ARBUSTIVE NELLE DIFESE SPONDALI (sec. Hassenteufel)

### MATERIALI:

- 1 - talee di salice: lunghezza = 80 cm  
diametro = 1-5 cm

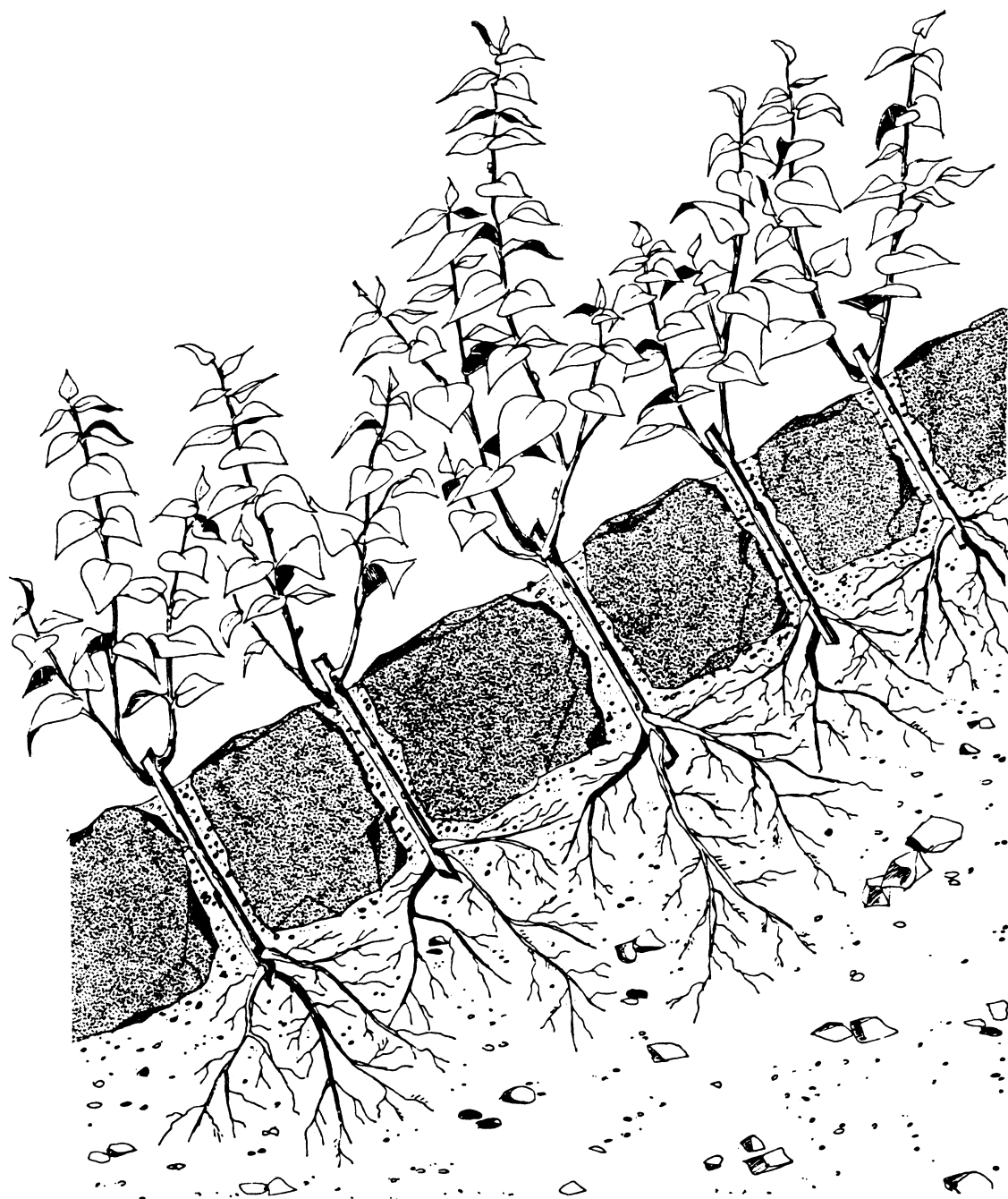
### MODALITA' DI ESECUZIONE:

- 1 - Apertura di un foro, con una punta di ferro, nelle fessure delle difese spondali in pietrame.
- 2 - Introduzione delle talee: devono sporgere all'esterno al massimo per 1/4 della loro lunghezza e devono essere poste a contatto con il terreno a tergo dei massi.
- 3 - Riempimento degli spazi vuoti con terra e successivo costipamento.

### Note:

- 1 - La densità di impianto è di 2-10 talee per metro quadrato in relazione alle sollecitazioni cui sarà sottoposta la struttura ed alle sue caratteristiche costruttive (l'uso di massi di piccole dimensioni nelle difese spondali comporta l'impiego di un maggior numero di talee).
- 2 - E' opportuno preventivare una fallanza del 30-40% nell'attecchimento ed un relativo risarcimento dopo 1-2 anni.
- 3 - Per facilitare l'introduzione nel terreno delle talee la parte terminale va tagliata a punta; se viene utilizzata la mazza per battere le talee è preferibile che essa sia di legno o che venga usato un legno copritesta, al fine di evitare di danneggiare la talea.
- 4 - La disposizione delle talee deve essere casuale sia per motivi estetici che funzionali.
- 5 - La piantagione di arbusti nelle fessure comporta, inoltre, un miglioramento statico dell'opera, in quanto la crescita in profondità delle radici e l'aumento in spessore delle talee rende più compatto e resistente l'insieme del pietrame.
- 6 - E' consigliato non scendere sotto il livello della portata media del corso d'acqua perché i salici non sopportano lunghi periodi (6-7 settimane) di sommersione.
- 7 - Trattasi di una sistemazione a verde estremamente conveniente dal punto di vista economico, sia per il materiale di propagazione impiegato, sia per la relativa semplicità di esecuzione.

**MESSA A DIMORA DI TALEE DI SPECIE ARBUSTIVE  
NELLE DIFESE SPONDALI**



## GRADONATA CON TALEE

(Sistemazione a cespuglio - sec. Schiechl)

### MATERIALI:

- 1 - talee o ramaglia di salice: lunghezza = 1 m (10-20 cm > dello scavo)  
diametro = 1-7 cm

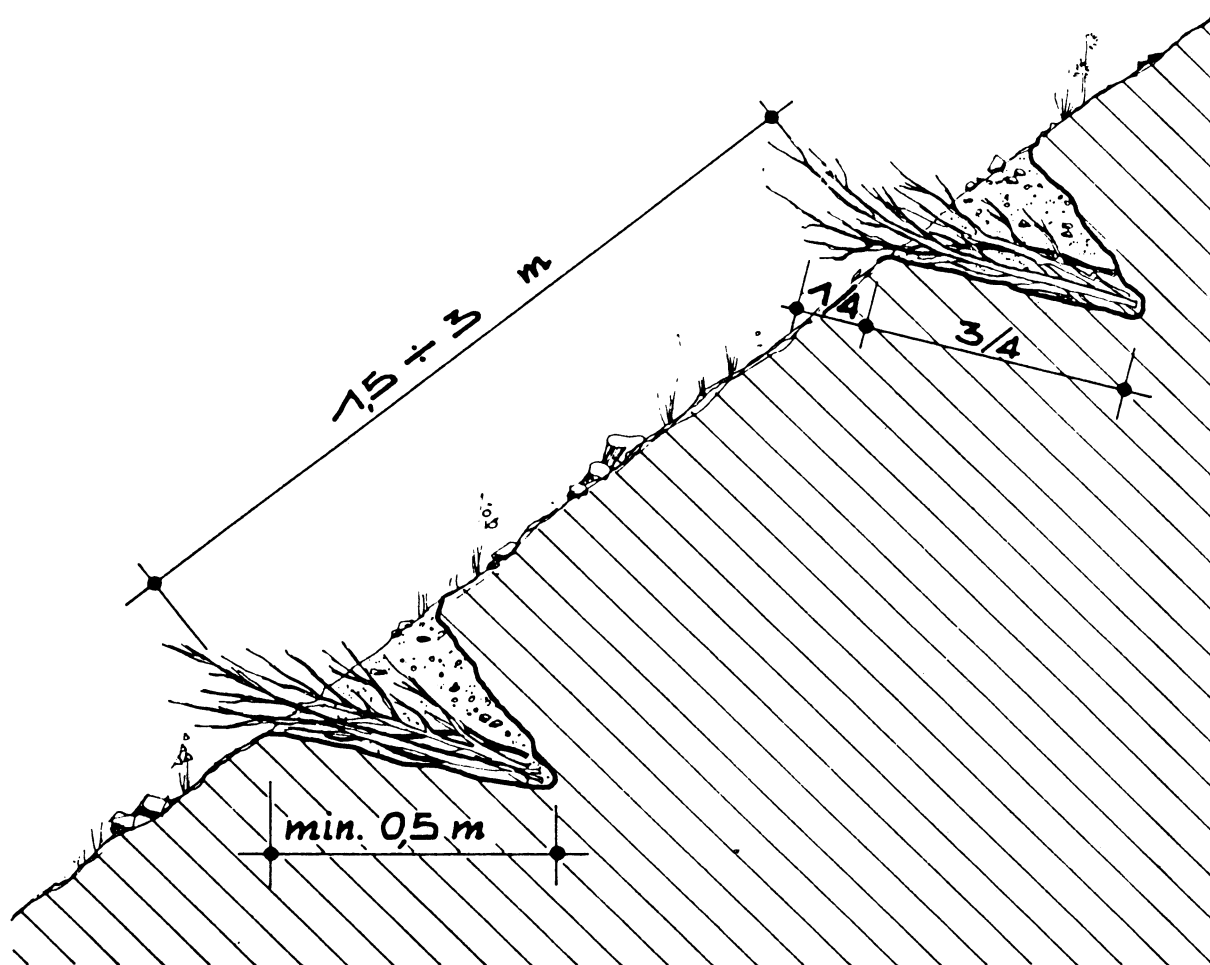
### MODALITA' DI ESECUZIONE:

- 1 - Scavo, lungo le curve di livello, delle banchine di larghezza variabile da 50 a 100 cm in funzione della pendenza, iniziando dal piede del pendio. E' consigliato mantenere una contropendenza trasversale della trincea pari almeno al 10%; l'interasse tra le banchine è di 1,5-3 m.
- 2 - Posa, alla base della trincea, di un "letto" di talee disposte a pettine, una accanto all'altra, in numero variabile da 10 a 30 per metro, in funzione delle condizioni stazionali; esse devono essere interrato per 3/4 della loro lunghezza, in modo da consentirne il radicamento.

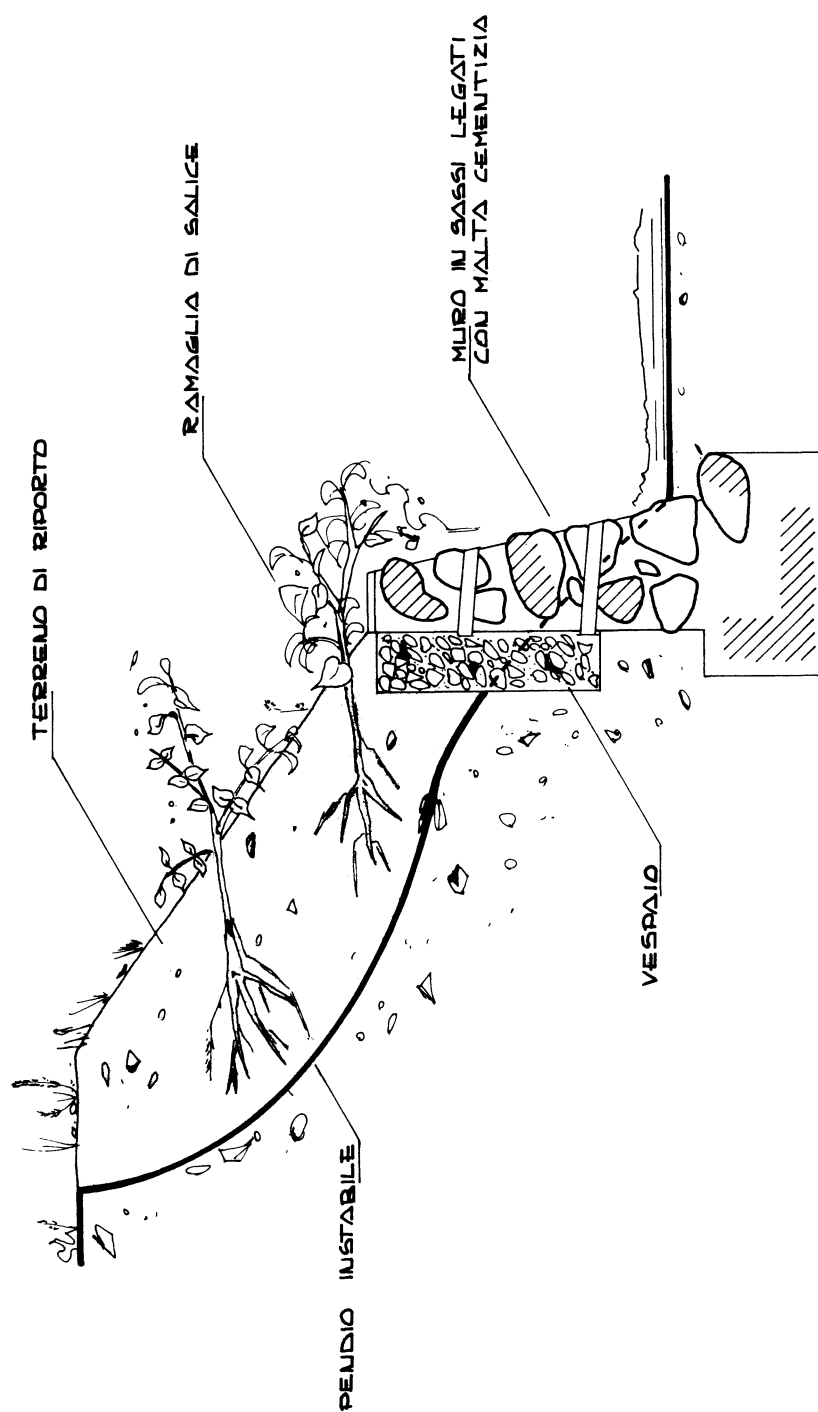
### Note:

- 1 - Il "pettine" di talee di buona qualità è particolarmente idoneo su terreni molto ripidi, poveri e con un intenso movimento superficiale del terreno, altrimenti è possibile alternare talee di buona qualità con ramaglia di minor diametro, in quanto anche con questo materiale si hanno ottimi risultati per quanto concerne l'attecchimento; questa metodologia di intervento, alla notevole efficacia, unisce il pregio di essere economicamente vantaggiosa.
- 2 - Su terreni instabili il fosso va scavato per brevi tratti e subito ricoperto per evitare di favorire l'origine di piccoli smottamenti secondari; operando in tal modo viene anche conservata l'umidità del terreno.
- 3 - E' molto importante, specie su terreni aridi e sassosi che le talee, una volta disposte sul fondo della trincea, vengano attentamente ricoperte con il terreno in modo che non rimangano spazi vuoti tra di esse a causa della presenza di materiale grossolano; ciò infatti potrebbe consentire un'eccessiva circolazione d'aria e causare il disseccamento delle talee. Se la stazione è particolarmente sfavorevole è consigliato l'inerbimento tra le file in quanto le talee non potranno garantire una copertura totale in tempi brevi.
- 4 - Una variante della gradonata con talee da applicare su rilevati artificiali (ad esempio: scarpate di infrastrutture viarie) è la seguente: si realizzano strati successivi di rilevato per un'altezza predeterminata e, sulla parte superiore di ogni strato, si posa un "letto" di talee di salice (lunghezza > 2 m) che viene poi ricoperto dallo strato di terreno superiore. L'effetto ottenuto, oltre al rinverdimento, è la realizzazione di una terra rinforzata, in quanto i lunghi rami consolidano in profondità l'intero rilevato.
- 5 - Variante con rinforzo longitudinale (sec. Rainer): si riveste la parte esterna della trincea con una striscia di carta catramata per una larghezza di 30 cm; ciò consente di ridurre notevolmente le erosioni superficiali e favorisce un miglior attecchimento anche grazie ad una maggiore ritenuta idrica. Questa tecnica di consolidamento è molto efficace in situazioni estreme per pendenza, bilancio idrico, stabilità della pendice. L'uso di rinforzi è ovviamente possibile anche nelle altre tipologie di gradonate.

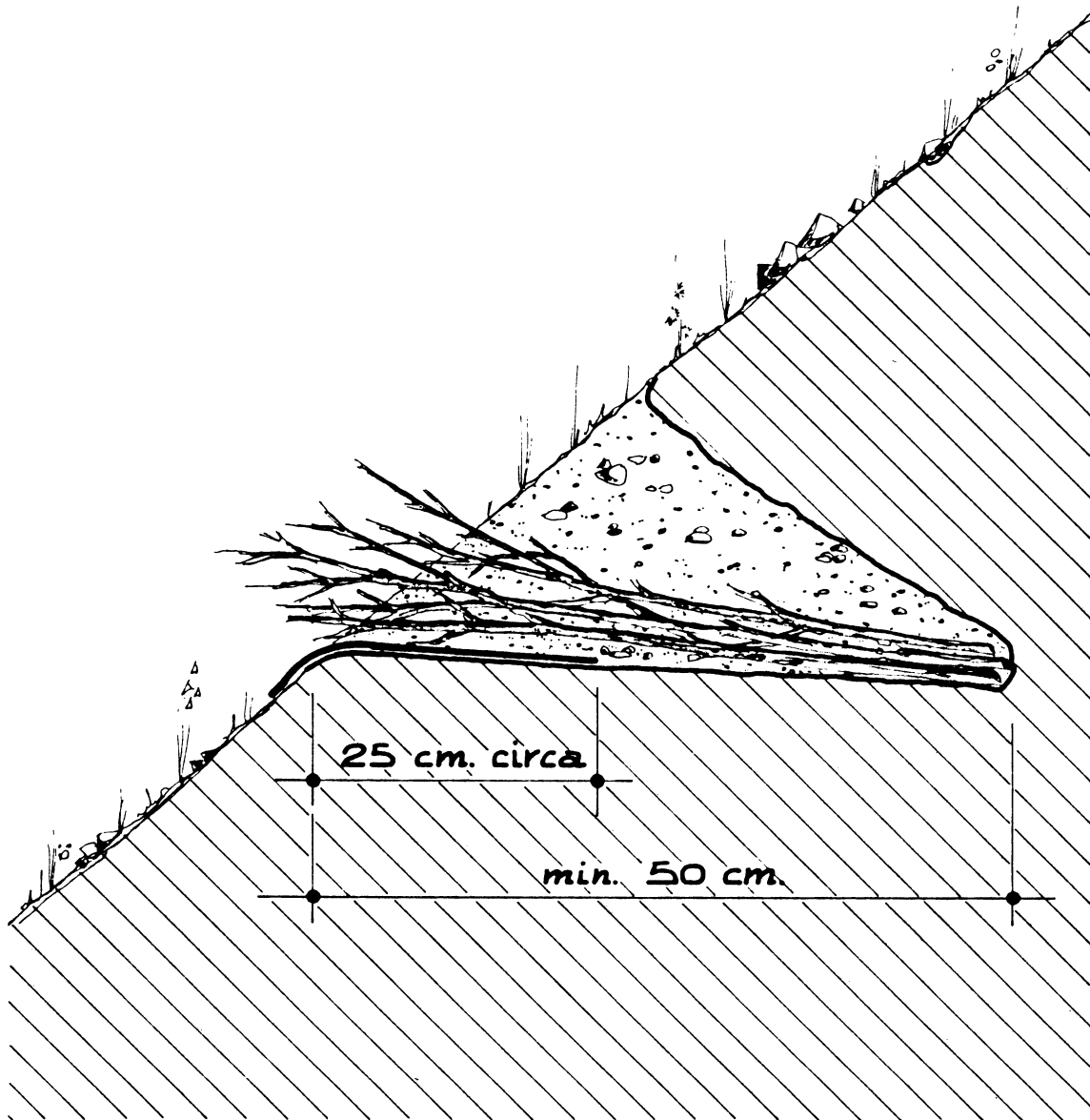
### GRADONATA CON TALEE



### GRADONATA CON TALEE (su rilevati artificiali)



**GRADONATA CON TALEE**  
(con rinforzo longitudinale)



## **GRADONATA CON PIANTINE** *(Sistemazione a siepe - sec. Schiechl)*

### **MATERIALI:**

1 - piantine radicate: diametro = 1-3 cm

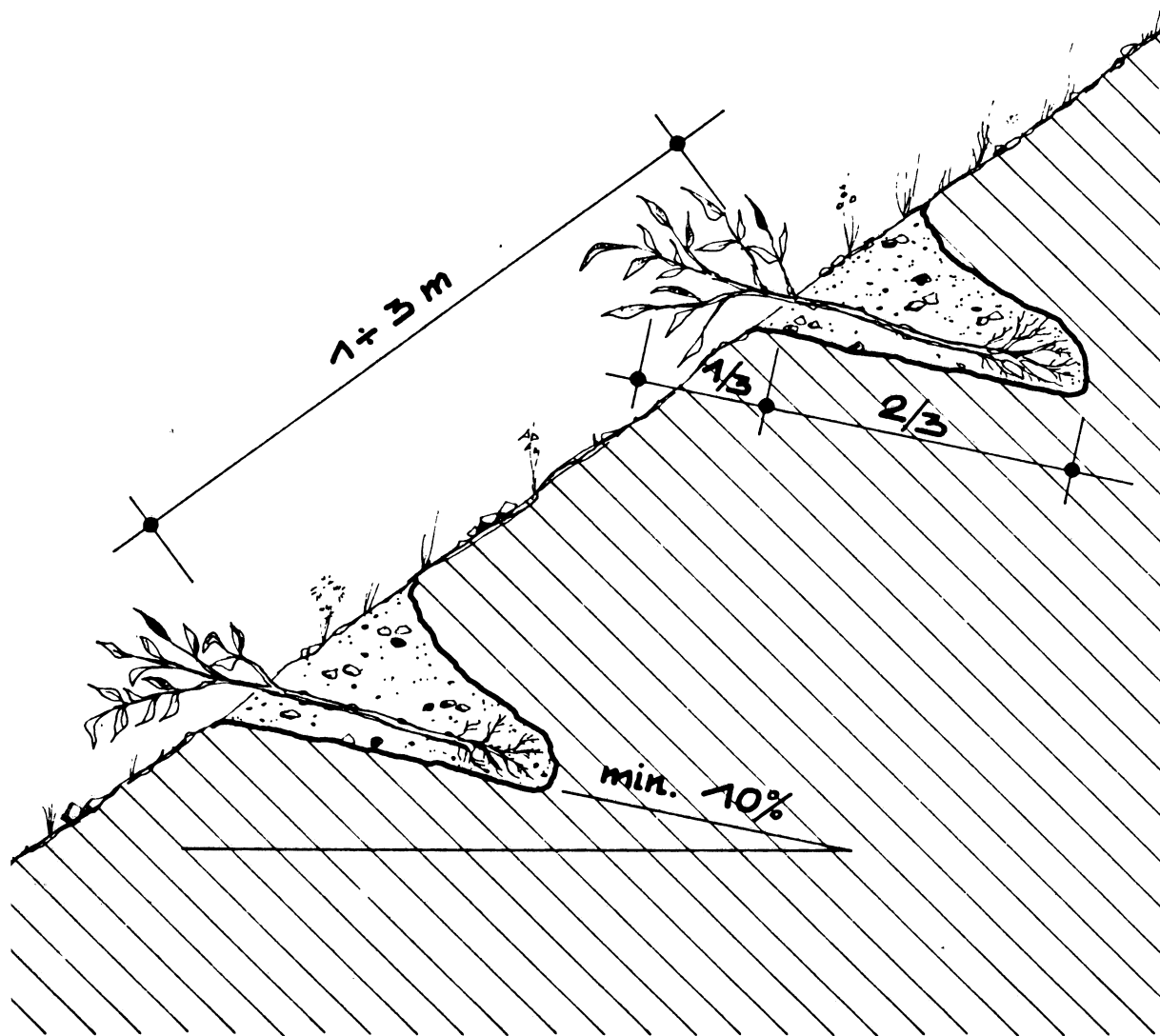
### **MODALITA' DI ESECUZIONE:**

- 1 - Scavo di una banchina di larghezza variabile (50-70 cm) sul pendio da consolidare, con un'interasse tra le file di 1-3 m; è consigliato dare alle banchine una contropendenza verso monte (10-15%).
- 2 - Messa a dimora, sul fondo della banchina, delle piantine di 2-3 anni appartenenti a specie in grado di emettere radici avventizie dal fusto; la densità è variabile: 5-20 piante per metro.
- 3 - Ricoprimento del "letto" di piantine radicate con il materiale proveniente dallo scavo della banchina di monte; le piante devono sporgere verso l'esterno del pendio da 1/3 a 1/4 della loro lunghezza.

### **Note:**

- 1 - E' un metodo di consolidamento che richiede notevoli quantità di piantine di vivaio; l'effetto consolidante è minore e più lento rispetto ad altri sistemi più semplici (gradonata con talee).
- 2 - Può essere convenientemente usato su piccole superfici o su terreni non molto poveri, ma relativamente evoluti, dove sia richiesta non tanto una notevole stabilizzazione del terreno, quanto la realizzazione del soprassuolo arboreo definitivo, senza fasi intermedie con vegetazione pioniera.

### GRADONATA CON PIANTINE



**GRADONATA MISTA CON TALEE E PIANTINE***(Sistemazione a siepe-cespuglio - sec. Schiechl)***MATERIALI:**

1 - talee di salice: lunghezza = 1 m (10-20 cm > dello scavo)  
diametro = 1-7 cm

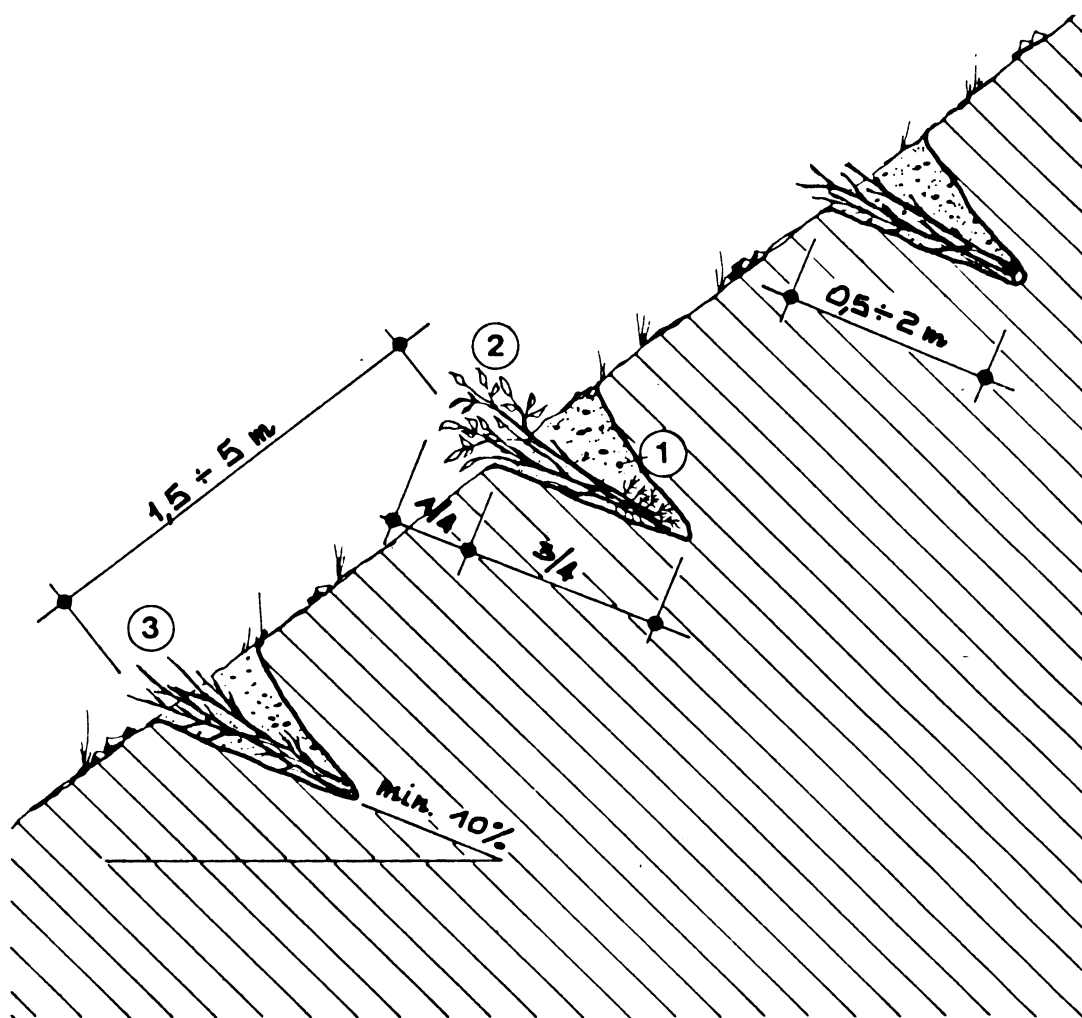
2 - piantine radicate: altezza = 1 m (10-20 cm > dello scavo)  
diametro = 1-3 cm

**MODALITA' DI ESECUZIONE:**

1 - Dal punto di vista esecutivo valgono tutte le considerazioni fatte per la gradonata con talee, a differenza della quale si impiegano piantine radicate oltre alle talee.

**Note:**

- 1 - Per quanto riguarda gli effetti ecologici a breve termine non ci sono delle differenze apprezzabili rispetto alla gradonata con talee. Il vantaggio consiste nella messa a dimora contemporanea sia delle specie preparatrici (salici) che delle specie definitive sotto forma di piantine radicate (ontano), distanziate di 0,5-1 m, evitando così di dover procedere ad un successivo impianto.
- 2 - I costi sono leggermente più elevati rispetto alla gradonata con talee, ma non eccessivamente anche in relazione ai vantaggi offerti (raggiungimento più rapido di un'associazione vegetale più stabile, maggiore probabilità di attecchimento, ecc.).
- 3 - La valutazione del rapporto costi-benefici delle varie sistemazioni di frane superficiali e di sponde fluviali in erosione consente di affermare che questa tipologia di intervento è la più sicura ed interessante.

**GRADONATA MISTA CON TALEE E PIANTINE****LEGENDA**

- 1 - Riempimento con il materiale di scavo (realizzazione dal basso verso l'alto).
- 2 - Piante radicate e robuste (trapianti di più anni posti ad intervalli di 0,5-1 m).
- 3 - Ramaglia viva o talee, almeno 10 rami per ogni metro di sistemazione.

## **CORDONATA**

*(sec. Praxl)*

### **MATERIALI:**

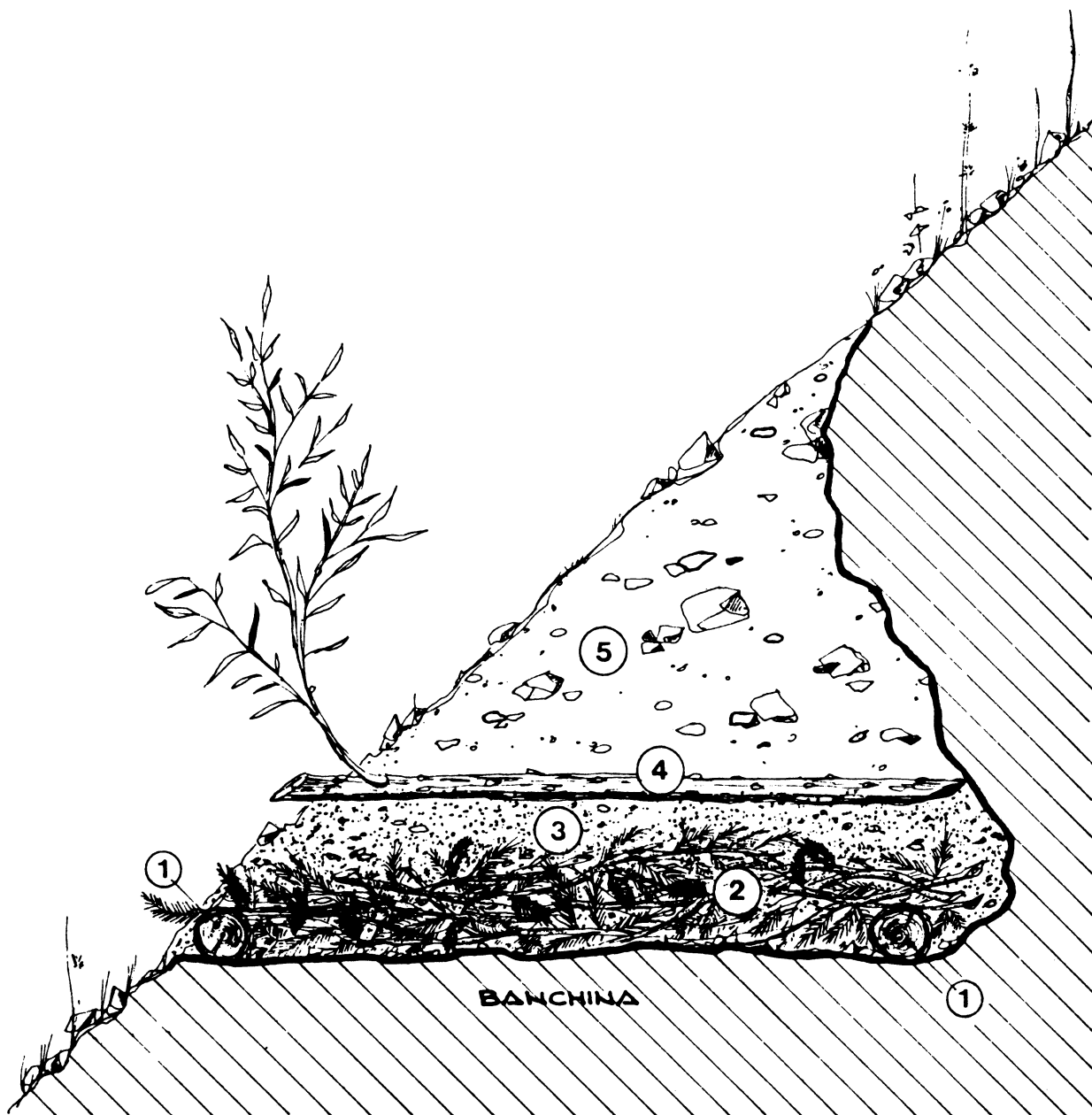
- 1 - paleria di larice o di castagno: lunghezza > 2 m  
diametro = 6-12 cm
- 2 - talee di salice: lunghezza > 60 cm  
diametro = 3-10 cm
- 3 - ramaglia di conifere

### **MODALITA' DI ESECUZIONE:**

- 1 - Scavo di una banchina secondo le curve di livello (banquette) di larghezza variabile ed in funzione dell'inclinazione e della stabilità del pendio: su terreni instabili molto ripidi si arriva ad una larghezza minima di 35-50 cm e ad una distanza tra i gradoni di 2 m.
- 2 - Posa in opera sul piano dello scavo delle stanghe di legno.
- 3 - Stesura sul fondo dello scavo di uno strato abbastanza fitto di ramaglia di conifere; in tal modo si realizza uno scheletro di sostegno del terreno.
- 4 - Ricoprimento del "letto" di ramaglia con del terreno (spessore: 10 cm) sopra il quale viene posto a dimora il "pettine" di talee di salice (distanza: 2-10 cm); queste hanno una lunghezza di 10-20 cm superiore a quella della banchina in modo da sporgere verso l'esterno del pendio; la densità può essere variabile da 10 a 25 talee al metro.
- 5 - Ricoprimento del "letto" di talee con il materiale proveniente dallo scavo della trincea superiore.

### **Note:**

- 1 - E' un metodo più costoso rispetto alle sistemazioni descritte in precedenza; viene usato soprattutto su terreni con elevata tendenza allo smottamento: in questi casi lo strato di ramaglia e le stanghe costituiscono un'armatura del terreno, si ha cioè la formazione di una vera e propria "terra rinforzata". E' un metodo impiegato anche su terreni umidi, con ristagno d'acqua, argillosi o marnosi: la ramaglia in questi casi ha un effetto drenante.

**CORDONATA****LEGENDA**

- 1 - Stangame longitudinale con corteccia (diametro: 6-12 cm).
- 2 - Letto di ramaglia di conifere.
- 3 - Strato di terreno (spessore: 10 cm).
- 4 - Talea di salice (lunghezza > 60 cm; densità > 10 talee al metro).
- 5 - Terreno di riporto, proveniente dallo scavo della banchina superiore.

## VIMINATA (*sec. Besser*)

### MATERIALI:

- 1 - paleria di larice o di castagno: lunghezza = 1 m  
diametro = 3-10 cm
- 2 - talee o verghe di salice
- 3 - filo di ferro zincato: diametro = 3 mm

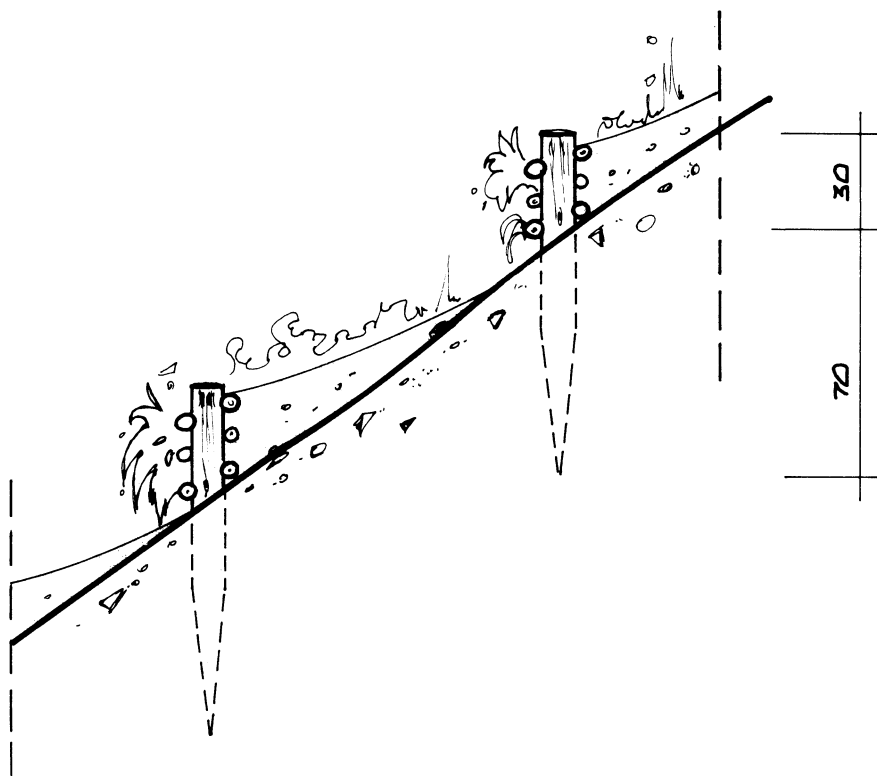
### MODALITA' DI ESECUZIONE:

- 1 - Infissione nel terreno di paletti di legno (castagno o larice) ad una distanza di 50-100 cm; la struttura viene infittita dalla messa in opera, ogni 30 cm, di paletti o talee più corte.
- 2 - I pali principali ed i paletti intermedi vengono collegati intrecciando, a stretto contatto tra loro, rami di salice disposti longitudinalmente in numero di 3-8 legati con filo di ferro zincato; la parte terminale delle "trecce" va comunque interrata. L'altezza definitiva della viminata fuori terra deve essere modesta (15-30 cm) per consentire un minimo di stabilizzazione fisica immediata della pendice e permettere, nel contempo, l'interramento ed il successivo radicamento delle talee longitudinali; la distanza tra le file della viminata può variare da 1,2 a 2 m.

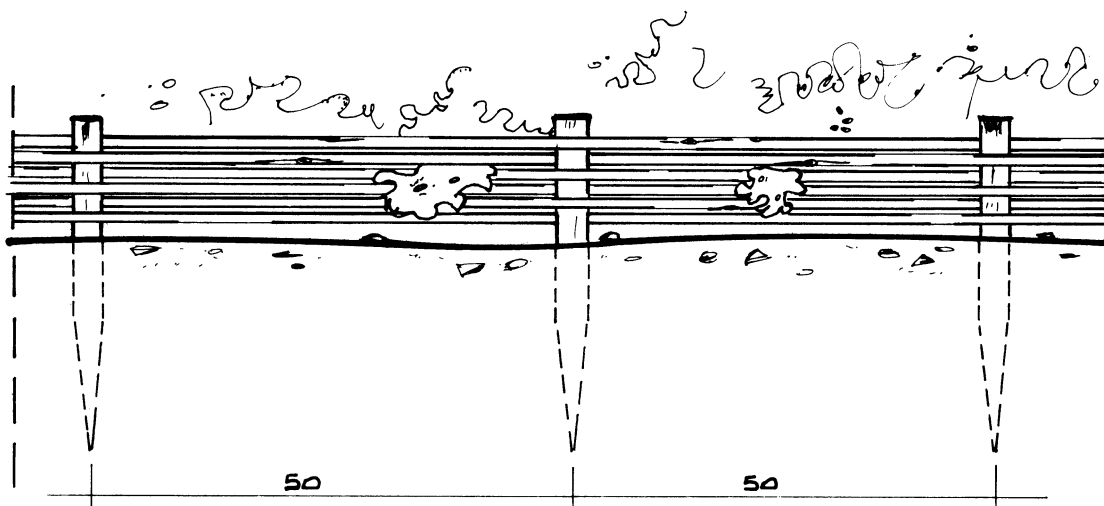
### Note:

- 1 - L'insieme delle verghe intrecciate dovrebbe essere prevalentemente interrato al fine di ridurre rischi di sottoerosione e di scalzamento, consentendo così l'attecchimento delle talee; in molti casi il disseccamento delle viminate dipende proprio da una realizzazione troppo superficiale delle medesime. I paletti non devono sporgere più di 5 cm sopra l'intreccio delle talee ed essere conficcati per i 2/3 della loro lunghezza.
- 2 - Varianti sono quelle costituite da viminate diagonali a forma di rombo, o quadrate a sviluppo orizzontale e verticale (*sec. Kienbaum*), che trattengono meglio il terreno.
- 3 - Va ricordato che la viminata sta progressivamente perdendo importanza a favore delle gradonate con talee. Essa è ancora indicata per piccoli smottamenti dove sia necessario avere un immediato effetto meccanico di trattenuta del terreno.
- 4 - Le viminate sono sistemi di consolidamento lineari e quindi spesso è opportuno integrarli con tecniche di copertura superficiale del terreno quali, ad esempio, gli inerbimenti.
- 5 - Un limite di tale tecnica è costituito dalla necessità di impiegare verghe lunghe e, quindi, non tutte le specie ad elevata capacità vegetativa possono fornire talee di tali dimensioni.
- 6 - I costi sono abbastanza elevati, soprattutto in rapporto ai risultati ottenibili.
- 7 - In situazioni estreme si può combinare la tecnica della gradonata con talee con le viminate (anche morte): ciò comporta il vantaggio di un immediato consolidamento del terreno dal punto di vista meccanico ed un repentino rinverdimento grazie alla presenza delle talee.

### VIMINATA



SEZIONE



PROSPETTO

## FASCINATA (sec. Hofmann e sec. Kraebel)

### MATERIALI:

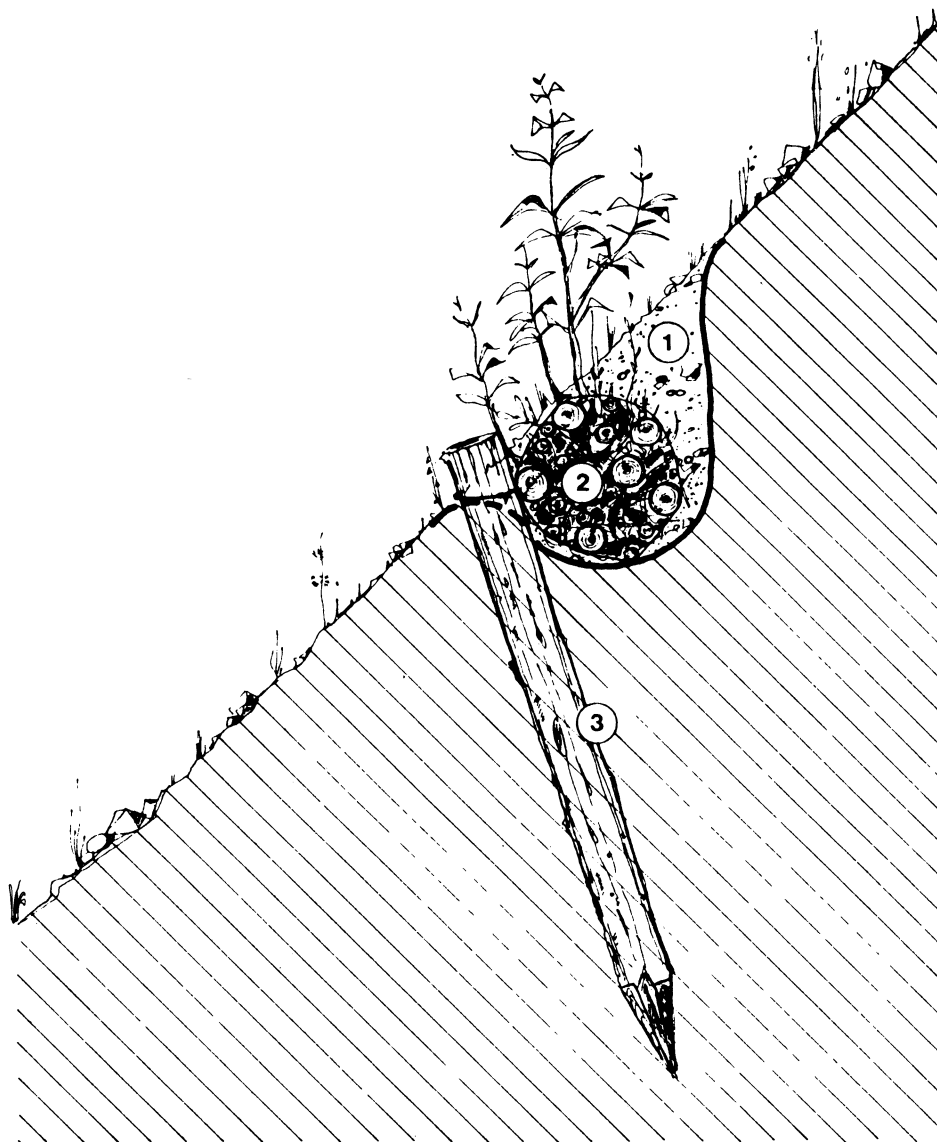
- 1 - paleria di larice o di castagno: lunghezza = 60-100 cm  
diametro = 5-10 cm
- 2 - ramaglia di salice: lunghezza > 1 m  
diametro < 10 cm

### MODALITA' DI ESECUZIONE:

- 1 - Scavo di una banchina lungo le curve di livello della profondità di 30-50 cm e larga altrettanto.
- 2 - Realizzazione di fascine costituite da ramaglia di specie con elevata capacità vegetativa (salici, pioppi, ecc.), composte in media da 5-6 rami o verghe e legate ogni 70 cm.
- 3 - Posa delle fascine lungo il fosso e loro fissaggio al terreno con paletti di legno (verdi o morti) infilati in mezzo ai rami (*sec. Kraebel*) o a valle della fascina (*sec. Hofmann*) ad una distanza media di 50-100 cm.
- 4 - Riempimento della banchina con il materiale proveniente dallo scavo del fosso posto a monte.

### Note:

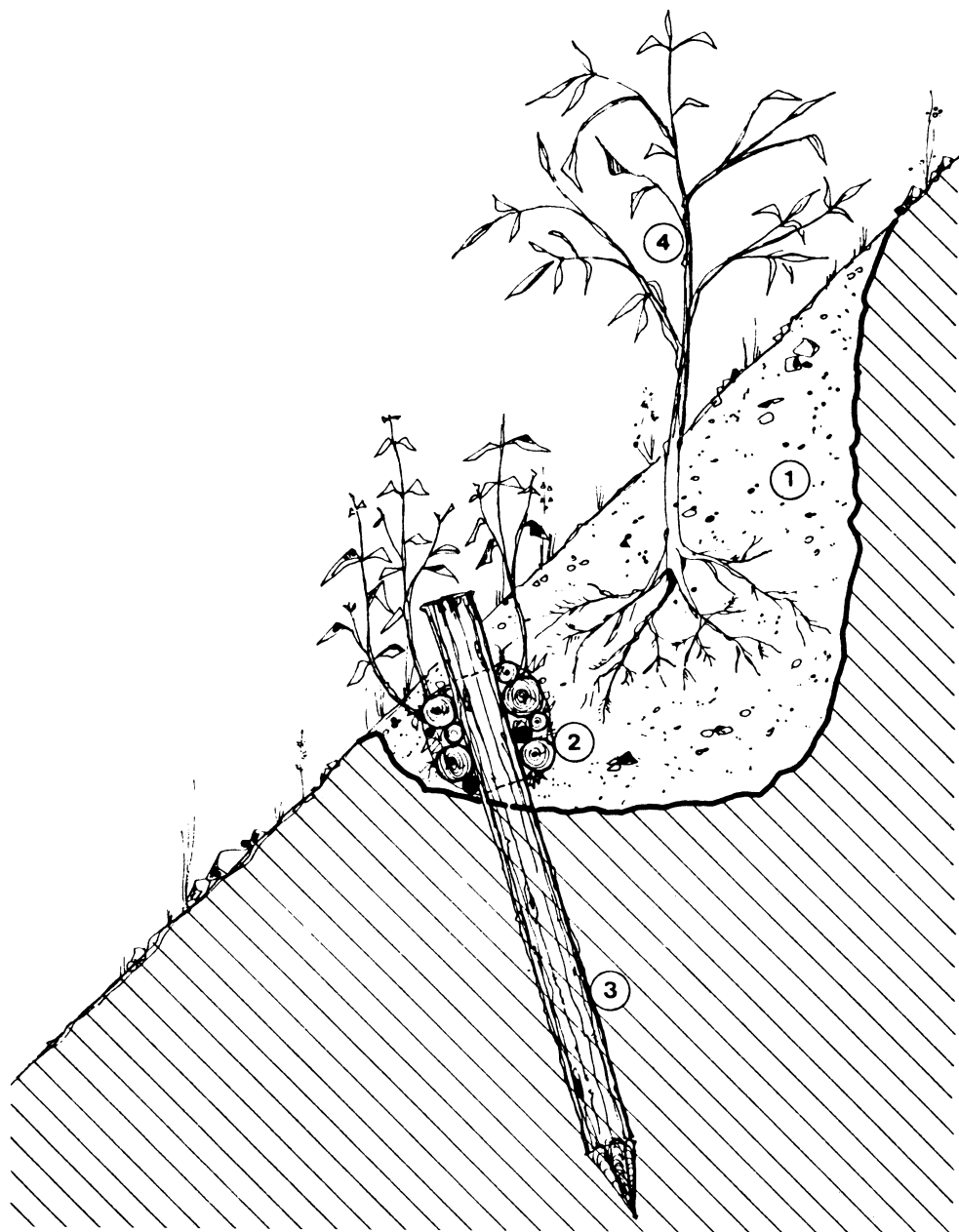
- 1 - L'intervento con materiale vegetale vivo può essere effettuato solo in periodo di riposo vegetativo.
- 2 - E' un tipo d'intervento consigliato ove non vi siano pendenze elevate e le condizioni stazionali non siano estreme.
- 3 - Il fasciname crea uno spazio sotterraneo con un'elevata capacità di trattenuta dell'umidità e, nel contempo, con un positivo effetto drenante; ciò vale soprattutto con una disposizione delle fascine lungo linee oblique.
- 4 - Qualora si intenda mettere a dimora contemporaneamente anche delle piantine radicate, che costituiranno il popolamento definitivo, è necessario: che il fosso sia più ampio di 10-15 cm, che le fascine siano più leggere (3-6 rami), che vengano poste a dimora a monte della fascina 1-2 piantine per metro, che il fosso dopo la messa a dimora del materiale vivente venga ricoperto con materiale proveniente dagli scavi e mescolato a terreno vegetale (0,05 mc/m). La percentuale di terra vegetale da impiegare sarà tanto più elevata quanto più scade è la qualità del terreno presente in loco.
- 5 - Trattasi di un metodo non frequentemente impiegato in quanto è idoneo per pendenze massime di 30-35°; può essere utile su terreni molto umidi con necessità di drenaggio.
- 6 - Sistemi misti possono essere quelli che prevedono l'integrazione di fascinate con vimate.
- 7 - Un'applicazione della fascinata in ambito fluviale consiste nella posa di fascine al piede delle sponde soggette ad erosione in modo da fornire una certa resistenza alla spinta della corrente d'acqua.

**FASCINATA****LEGENDA**

- 1 - Fosso profondo 30-50 cm e largo altrettanto.
- 2 - Fascine con almeno 5 rami di diametro > 1 cm.
- 3 - Paletti di legno di lunghezza > 60 cm.

## FASCINATA

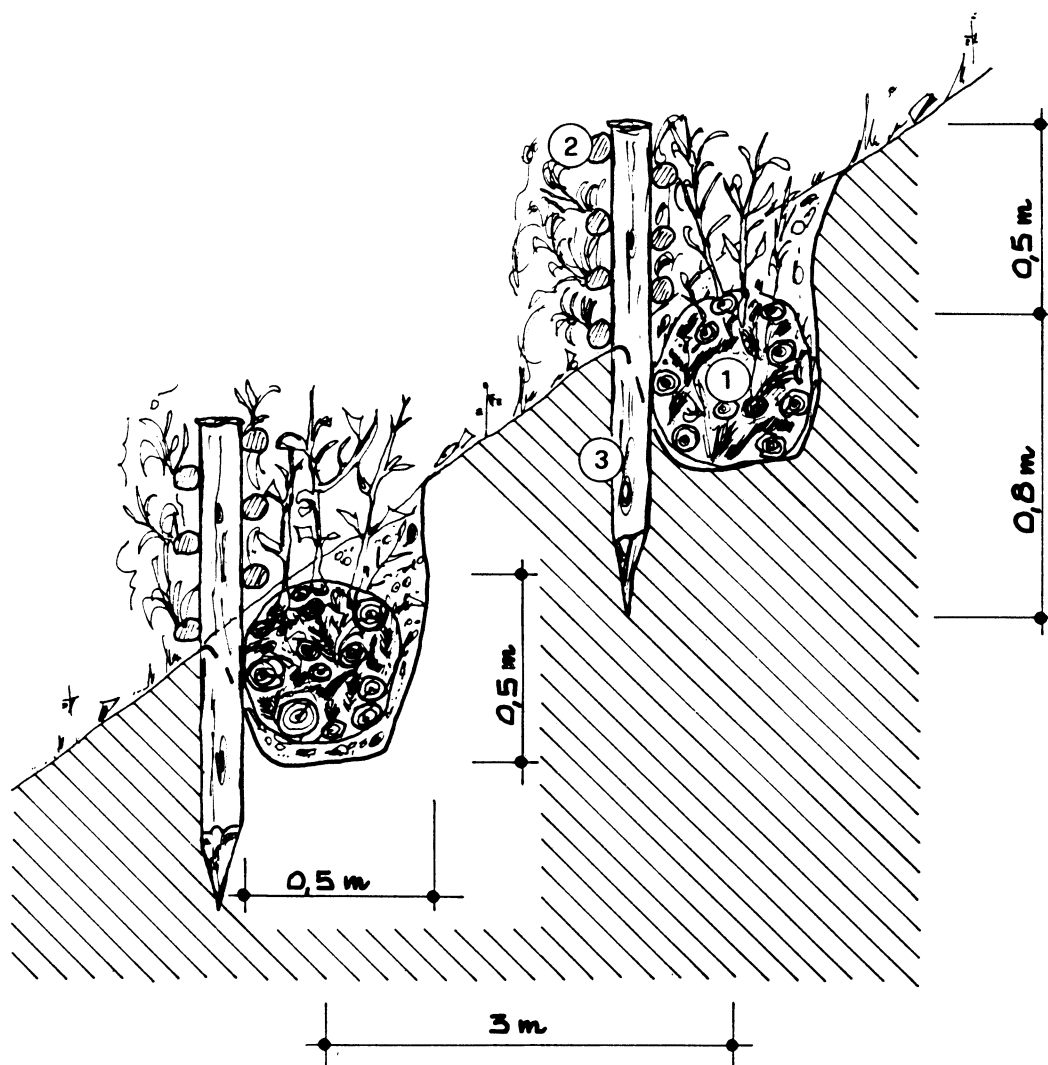
(con messa a dimora di piantine radicate)



### LEGENDA

- 1 - Fosso profondo 50 cm e largo altrettanto (riempimento con miscuglio di terreno vegetale e di terreno di scavo).
- 2 - Fascine vive con un minimo di 5 rami di diametro > 1 cm.
- 3 - Paletti di legno posti ogni 80-100 cm e di lunghezza > 60 cm.
- 4 - Piantine radicate (densità: 1-2 ogni metro).

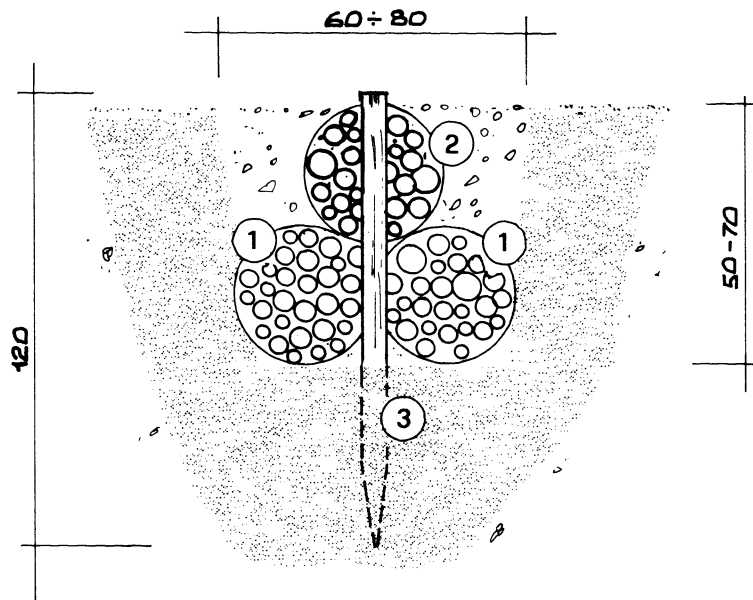
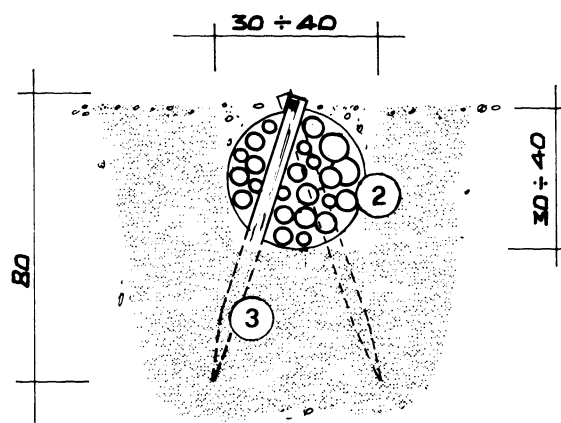
## FASCINATA (con viminata)



### LEGENDA

- 1 - Fascine con almeno 5 rami di diametro > 1 cm.
- 2 - Verghe di salice di diametro: 2-3 cm.
- 3 - Paletti di legno di diametro: 5-10 cm.



**DRENAGGIO CON FASCINAME****LEGENDA**

- 1 - Fascine di ramaglia morta o di specie legnose senza capacità vegetativa.
- 2 - Fascine vive realizzate con ramaglia (diametro: 3-10 cm).
- 3 - Picchetti in legno di diametro  $> 5$  cm posti in opera ogni 80 cm.

## CANALETTA IN LEGNAME E PIETrame

### MATERIALI:

- 1 - paleria di larice o di castagno: lunghezza > 2 m  
diametro = 10-20 cm.
- 2 - paleria di larice o di castagno: lunghezza = 1,5 m  
diametro = 15 cm
- 3 - pietrame
- 4 - graffe metalliche o chiodi

### MODALITA' DI ESECUZIONE:

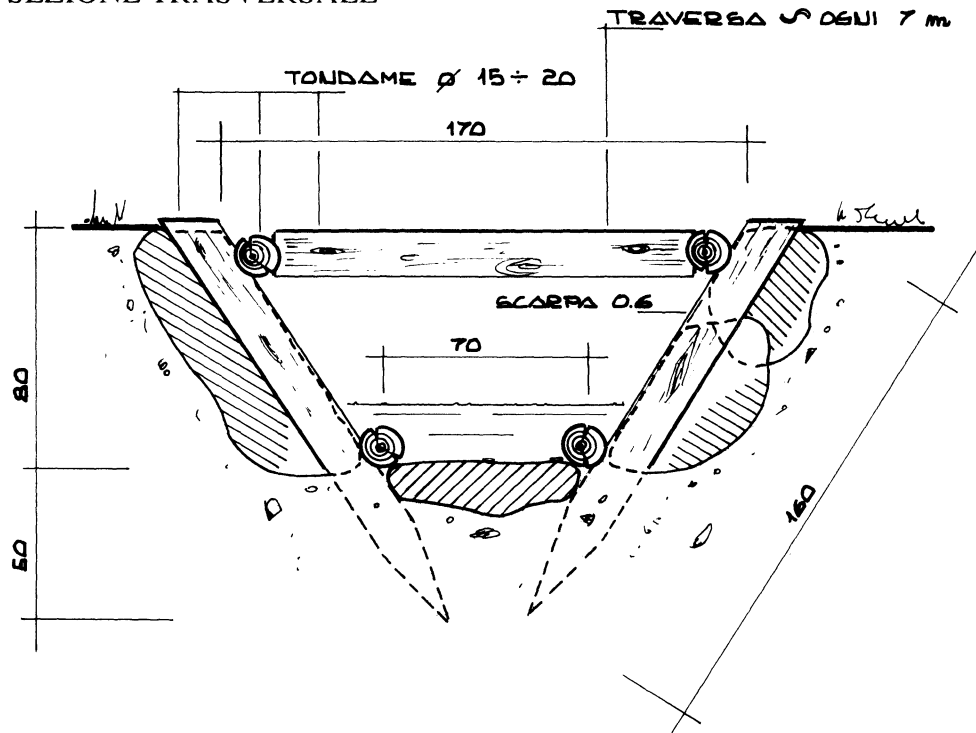
- 1 - Preparazione del fosso: la canaletta in legname e pietrame è di forma trapezia, alta 80 cm, con una base minore di 70 cm ed una base maggiore di 170 cm.
- 2 - Realizzazione del fondo della canaletta con la posa in opera del pietrame.
- 3 - Costruzione delle pareti oblique con tondame di larice o di castagno (diametro: 10-20 cm) disposto in senso longitudinale. Ogni 2 m il tondame andrà ancorato, tramite chioderia, a dei pali di larice o di castagno (diametro: 15 cm) infissi nel terreno secondo la pendenza del lato obliquo della canaletta stessa. Ogni 5-7 m, inoltre, andrà inserita nella parte sommitale della canaletta una traversa in tondame, per l'irrigidimento della struttura.

### Note:

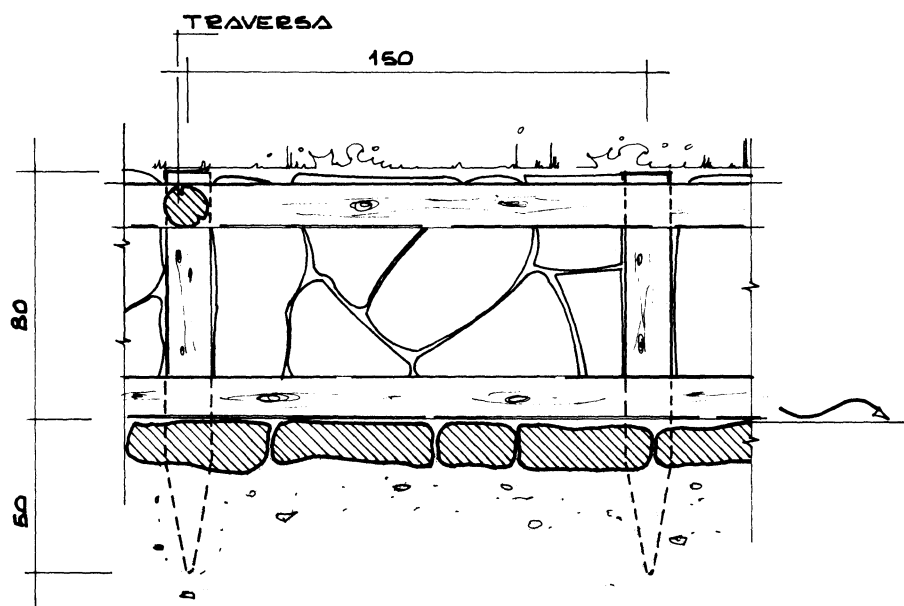
- 1 - Le sponde delle canalette possono essere realizzate, in sostituzione del legname morto, con talee (diametro: 3-15 cm) fissate ogni metro con picchetti, anch'essi dotati di capacità vegetativa.
- 2 - Qualora la pendenza delle canalette, per motivi tecnici, risultasse troppo elevata, al fine di ridurre la velocità dell'acqua è consigliato realizzare un fondo scabroso, ad esempio con pietrame di forma spigolosa collocato in modo che sia il più possibile sporgente dal fondo.
- 3 - Dal punto di vista economico questa tipologia risulta essere competitiva rispetto a quelle tradizionali.
- 4 - Le canalette possono anche essere realizzate attraverso il semplice inerbimento dei fossi (ad esempio: con coltre protettiva di paglia). In presenza di fossi che manifestano fenomeni erosivi è consigliato anche l'uso di una rete metallica o sintetica. I costi di questa tipologia di intervento sono molto convenienti se rapportati a quelli delle tradizionali opere rigide. Dal punto di vista estetico, inoltre, l'impiego di tale metodologia consente di ottenere buoni risultati, in quanto l'inserimento paesaggistico è molto soddisfacente. Qualora nei fossi si verifichi una portata idrica permanente nel tempo, l'adozione di questa tecnica di realizzazione delle canalette non è ovviamente praticabile. L'inerbimento dei fossi si rende particolarmente utile, invece, sulle piste da sci, nelle infrastrutture viarie o nei versanti in erosione.

## CANALETTA IN LEGNAME E PIETREME

### SEZIONE TRASVERSALE



### SEZIONE LONGITUDINALE



## GRATA IN LEGNAME CON TALEE (*sec. Schiechl - modificata*)

### MATERIALI:

- 1 - paleria di larice o di castagno: lunghezza = 2-4 m  
diametro = 20-40 cm
- 2 - picchetti di legno o talee: lunghezza > 1 m  
diametro = 8-10 cm
- 3 - graffe metalliche o chiodi

### MODALITA' DI ESECUZIONE:

- 1 - Realizzazione di una base d'appoggio della grata; questa può essere ottenuta mediante lo scavo di una piccola trincea sul terreno stabile o tramite la collocazione di tondame longitudinale di sostegno o attraverso la realizzazione di una palificata in legname con talee (*sec. Hassenteufel*) di modesta altezza.
- 2 - Al di sopra della base si costruisce una spalliera a maglie regolari costituita da elementi orizzontali e verticali per un'altezza massima di 10-20 m. Gli elementi verticali sono quelli portanti l'intera struttura e possono essere più radi e di maggiori dimensioni (interdistanza: 1-2 m), mentre gli elementi orizzontali possono essere di dimensioni minori e la loro densità sarà maggiore al crescere dell'inclinazione del pendio (interdistanza: 40-100 cm). La grata è fissata al pendio con picchetti di legno o con talee, le quali possono essere infittite con altre poste tra le maglie della grata.
- 3 - I tronchi trasversali possono essere collegati ad una griglia metallica al fine di trattenere maggiormente il terreno vegetale riportato successivamente.
- 4 - Riempimento con terreno e materiale inerte.
- 5 - Eventuale inerbimento dell'intera superficie.

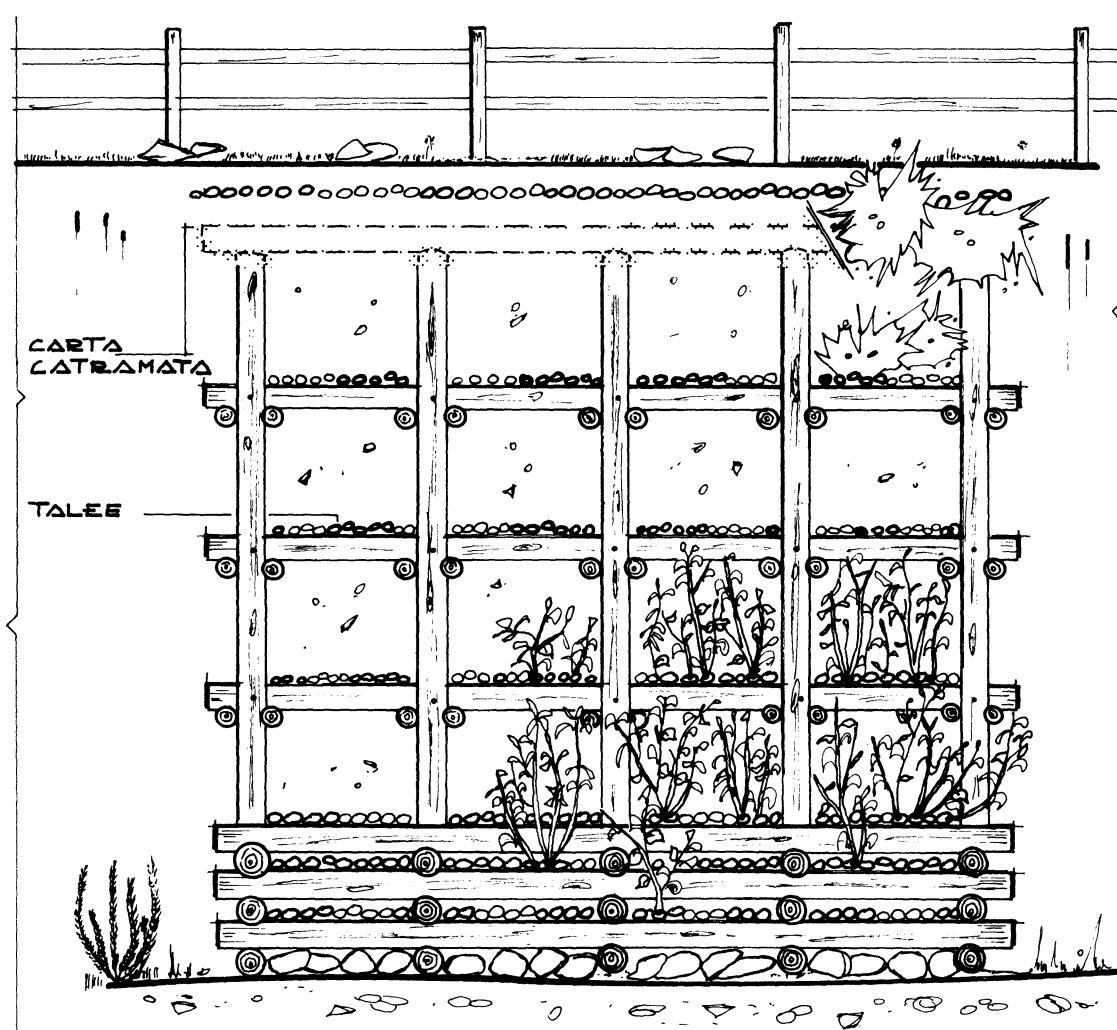
### Note:

- 1 - Una variante è costituita da un sistema combinato che prevede l'effettuazione del consolidamento con la realizzazione di una gradonata con talee fra i pali di legno orizzontali. In questo modo si ha una trattenuta immediata del materiale terroso dentro le singole celle ed il successivo rinverdimento di tutta la grata.
- 2 - Il legno usato per la grata può essere vivo, qualora si realizzino grate con salici su piccoli pendii non molto ripidi, dovrà invece essere di larice o di altra specie resistente alla decomposizione negli altri casi.
- 3 - Qualora non sia conveniente o possibile la realizzazione di una struttura ad elementi orizzontali molto densa si può ottenere una maggiore stabilità del materiale all'interno della grata mediante la realizzazione di reticoli secondari di sostegno in materiale vivente (elementi trasversali di salice) o morto (picchetti di legno, ramaglia, ecc.). In questo modo si realizza un reticolo provvisorio di sostegno del materiale più minuto fino al completo rinverdimento della struttura.
- 4 - E' necessario proteggere la testa della grata da eventuali infiltrazioni di acqua che potrebbero creare pro-

blemi di erosione e portare allo scalzamento della struttura. Si può coprire longitudinalmente la testa della grata con una striscia larga 50-60 cm di carta catramata opportunamente ancorata. Al di sopra della carta catramata può essere messa a dimora una fila di talee e piantine a gradonata; in alternativa può essere realizzata una canaletta di sgrondo.

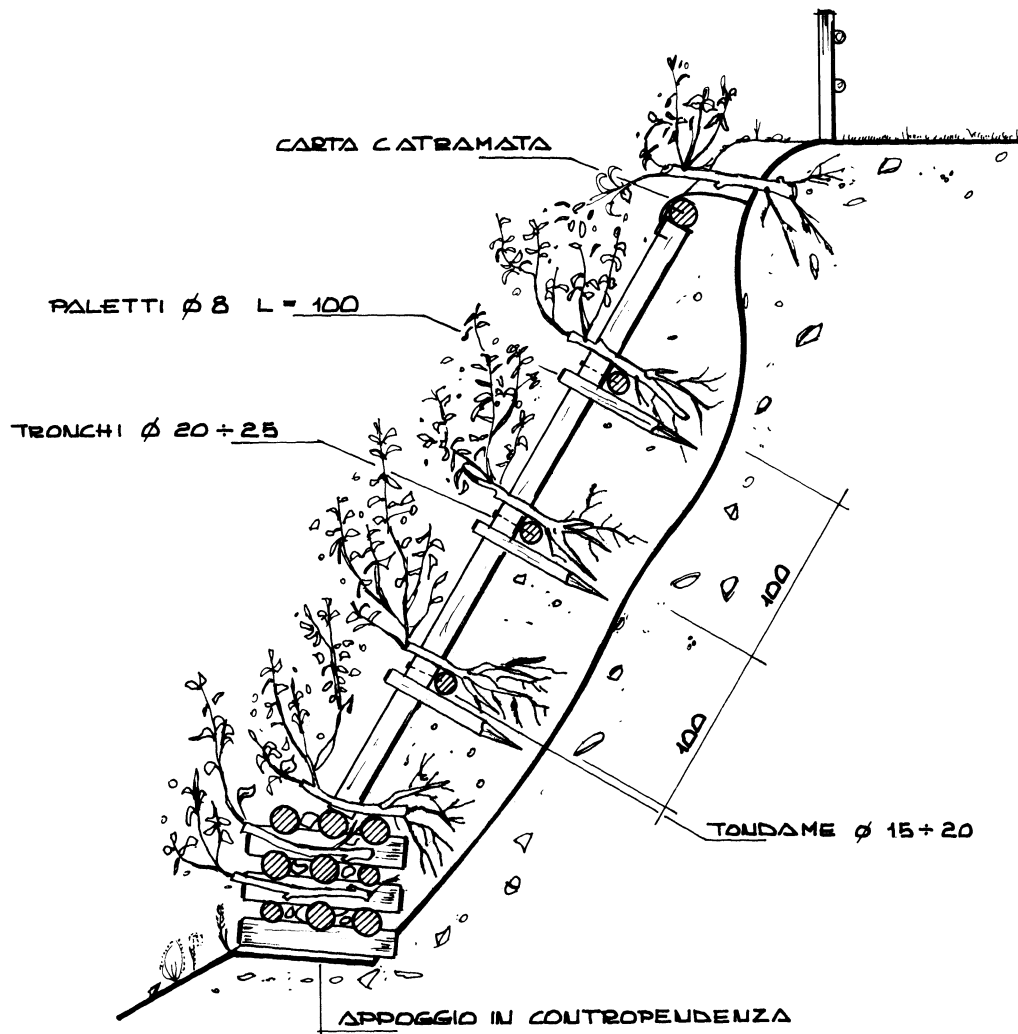
- 5 - Trattasi di un intervento relativamente costoso da impiegare su superfici di estensione limitata, dove non si possa ridurre la pendenza mediante movimenti di terra, come ad esempio su frane ripide situate a valle di strade forestali o interpoderali.
- 6 - Trattasi di una tipologia di sistemazione di versanti in erosione molto efficace.

## GRATA IN LEGNAME CON TALEE



PROSPETTO

### GRATA IN LEGNAME CON TALEE



SEZIONE

## PALIZZATA IN LEGNAME CON TALEE

### MATERIALI:

- |                                      |                     |
|--------------------------------------|---------------------|
| 1 - paleria di larice o di castagno: | lunghezza = 1,5 m   |
|                                      | diametro = 15-20 cm |
| 2 - sciaveri (mezzi tronchi):        | lunghezza > 2 m     |
|                                      | diametro = 10 cm    |
| 3 - talee di salice:                 | lunghezza > 80 cm   |
| 4 - filo di ferro:                   | diametro = 3 mm     |

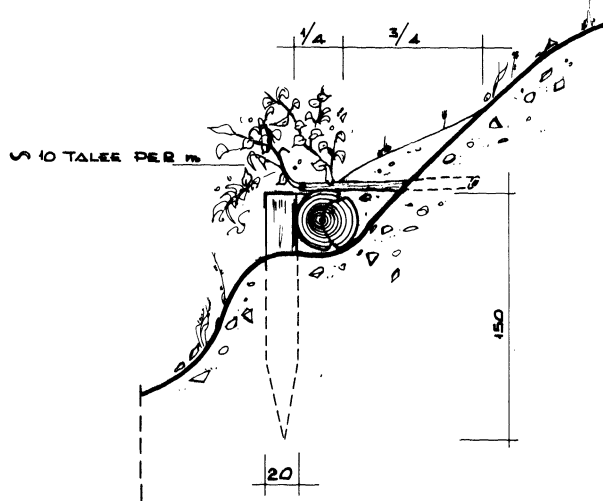
### MODALITA' DI ESECUZIONE:

- 1 - Preparazione del terreno e modellamento del pendio.
- 2 - Infissione nel terreno di pali di larice o di castagno alla distanza di 1-2 m, per una profondità di 1 m, in modo che restino sporgenti 50 cm.
- 3 - Posa in opera dei mezzi tronchi di larice o di castagno aventi lo scopo di trattenere il materiale di risulta posto a tergo dell'opera stessa, e loro fissaggio con filo di ferro o chiodi.
- 4 - Messa a dimora delle talee o di piantine radicate.

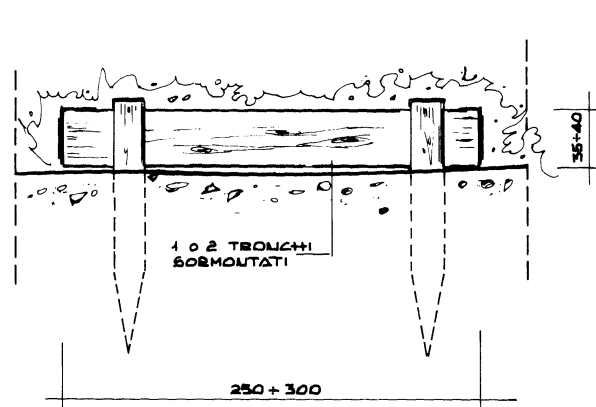
### Note:

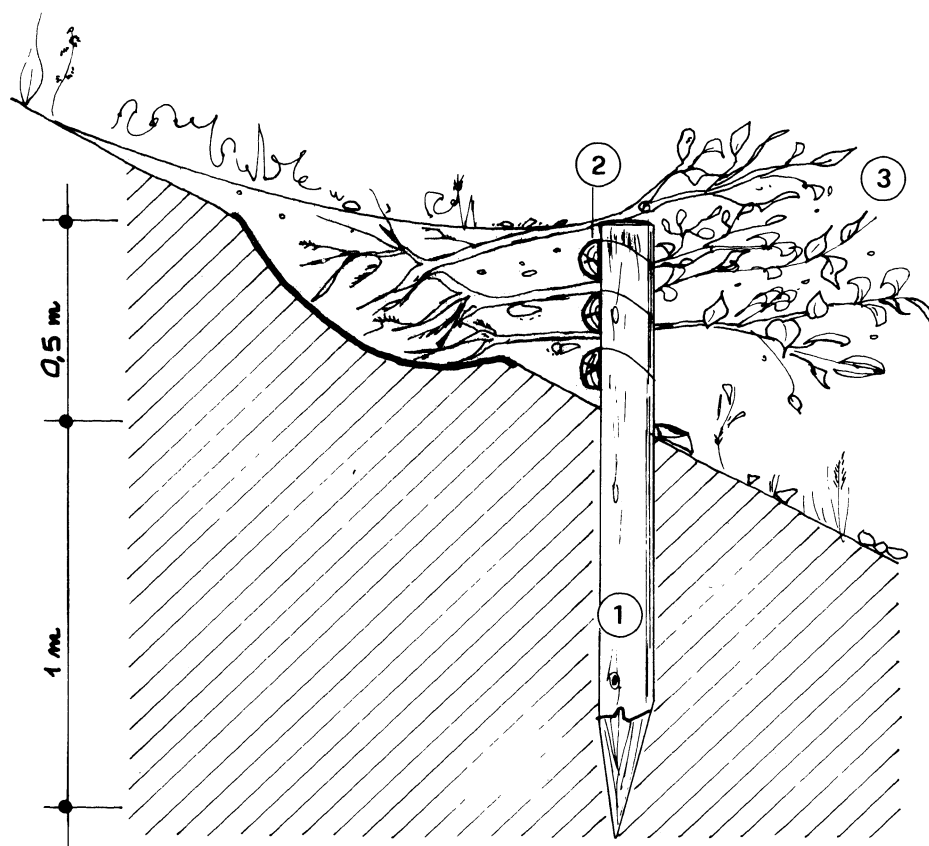
- 1 - Una struttura simile è quella realizzata con 2 pali verticali e 1-2 orizzontali, appoggiati a tergo in modo da formare sul pendio una sorta di gradone. Anche in questo caso vengono messe a dimora delle talee di salice in numero congruo, ma su di un'unica fila. Queste palizzate, della lunghezza di 2-3 m, vanno disposte in modo irregolare lungo il versante così da esercitare in maniera più efficace la loro funzione di consolidamento del terreno.

SEZIONE



PROSPETTO



**PALIZZATA IN LEGNAME CON TALEE****LEGENDA**

- 1 - Pali in legno infissi nel terreno (altezza: 1,5 m) e disposti ad intervalli di 1-2 m.
- 2 - Sciaveri refilati disposti longitudinalmente (lunghezza > 2 m) e fissati ai pali con filo di ferro o chiodi.
- 3 - Talee di salice intervallate con piantine radicate.

## PALIFICATA IN LEGNAME CON TALEE

(*sec. Hassenteufel*)

### MATERIALI:

- 1 - paleria di larice o di castagno: lunghezza = 1-3 m  
diametro = 10-25 cm
- 2 - talee di salice: lunghezza = 30-40 cm > della profondità dell'opera  
diametro = 3-10 cm
- 3 - ramaglia di salice: lunghezza = 30-40 cm > della profondità dell'opera
- 4 - piantine radicate
- 5 - filo di ferro zincato: diametro = 3 mm
- 6 - graffe metalliche o chiodi

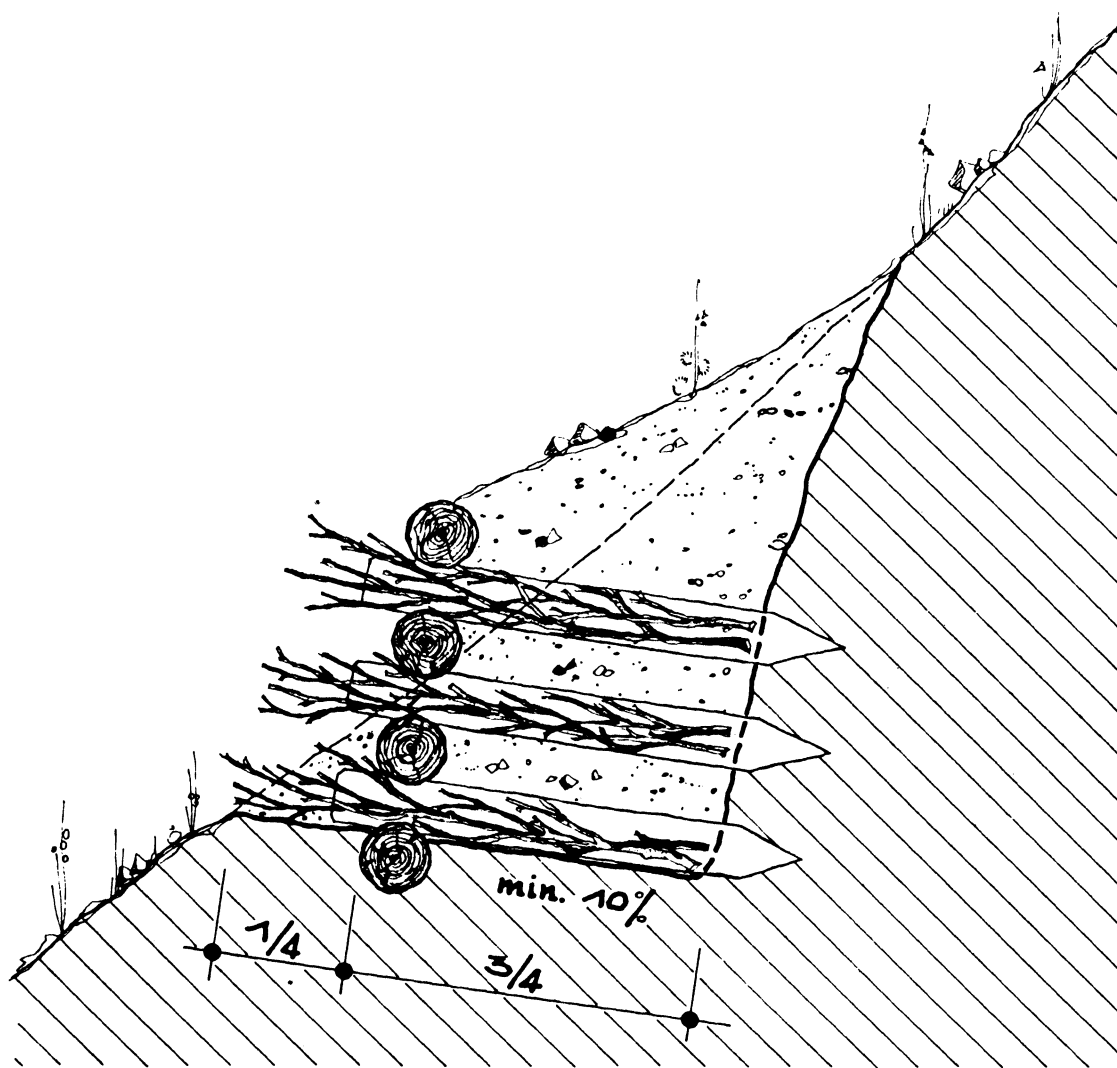
### MODALITA' DI ESECUZIONE:

- 1 - Realizzazione della base di appoggio della palificata in legname, con una contropendenza del 10-15%.
- 2 - Posa del tondame scortecciato di conifere o di castagno e realizzazione di piccoli incastri tra i pali mediante modellamento dei punti d'appoggio; al fine di ottenere una maggiore stabilità della struttura è importante fissare i tronchi con chiodi o graffe metalliche.
- 3 - In fase di costruzione, dopo la posa di ogni elemento longitudinale ed il riempimento con il terreno, viene disposta la ramaglia o le talee di salice con una densità di circa 5-10 talee al metro, in modo tale da sporgere 15-20 cm ed essere a contatto con il terreno (infisse per 15-20 cm); contemporaneamente possono essere poste a dimora anche piantine radicate appartenenti a specie pioniere (ontano, frassino, ecc.).

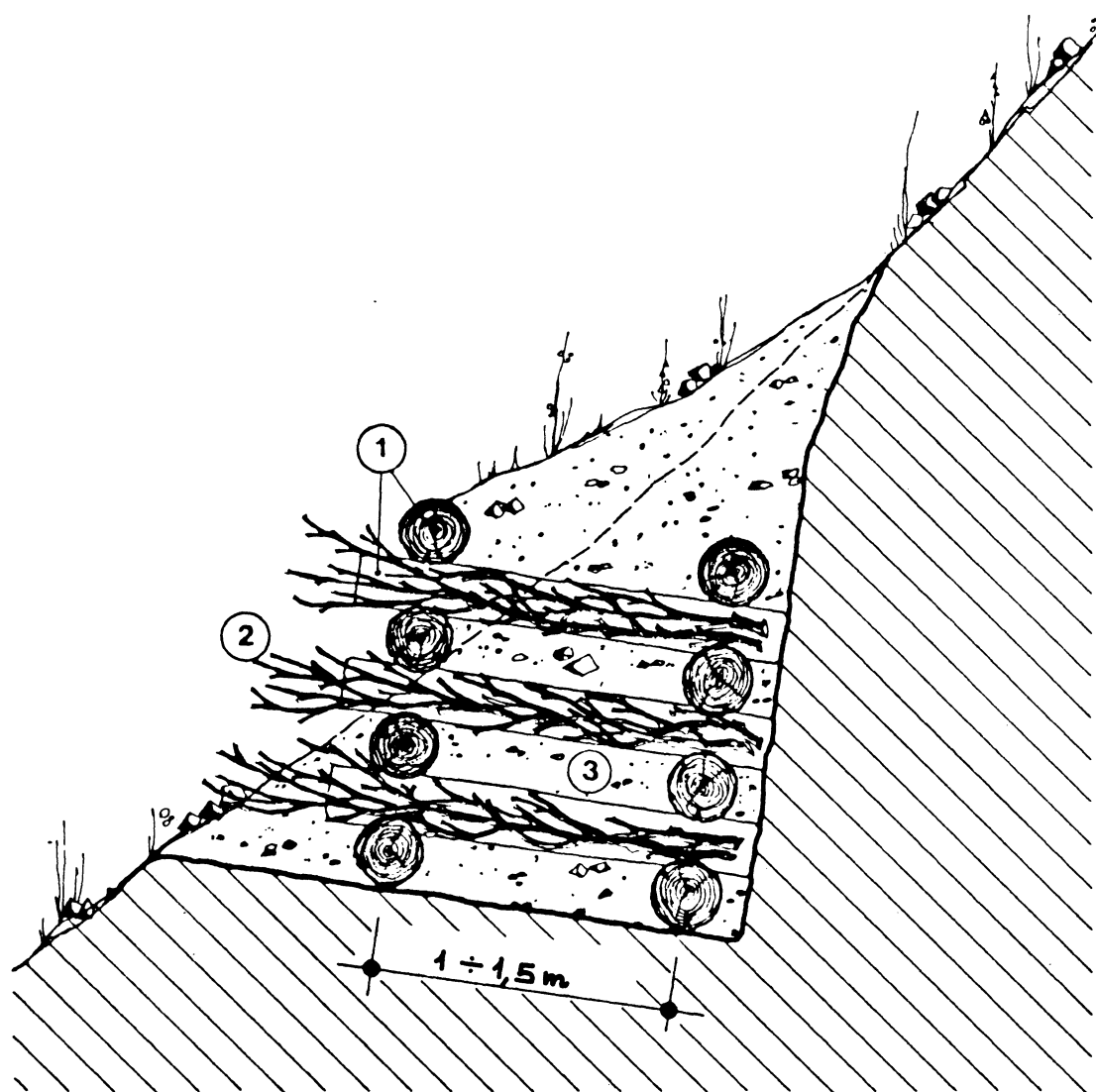
### Note:

- 1 - La palificata in legname con talee (parete "Krainer") può essere ad una o a due pareti. La palificata a due pareti presuppone uno scavo maggiore, però può resistere a spinte più elevate ed avere un'altezza superiore. Il paramento a valle non deve essere verticale, ma leggermente inclinato verso monte.
- 2 - Se viene usato legname di larice la durata della struttura può raggiungere i 20-40 anni, mentre più durature sono le opere realizzate con traversine di castagno; attualmente è reperibile sul mercato legname di pino in tondelli trattati in autoclave con prodotti conservanti: la durata garantita raggiunge i 60-70 anni. Il costo è più elevato, ma il risultato nel tempo fa preferire questo tipo di materiale per opere di una certa importanza. La presenza di piante assicura una maggiore stabilità del pendio o della sponda fluviale anche nella successiva fase, quando il legname col tempo si sarà completamente disgregato, ed aumenta l'inserimento nel paesaggio dell'opera.
- 3 - A difesa di sponde fluviali può essere anche realizzata una struttura in legname e pietrame con talee, protetta alla base da massi legati da funi di acciaio ancorati a pali di legno infissi nel terreno.
- 4 - A livello economico le palificate in legname con talee sono competitive con le opere tradizionali in calcestruzzo.

**PALIFICATA IN LEGNAME CON TALEE**  
(ad una parete)



## PALIFICATA IN LEGNAME CON TALEE (a due pareti)

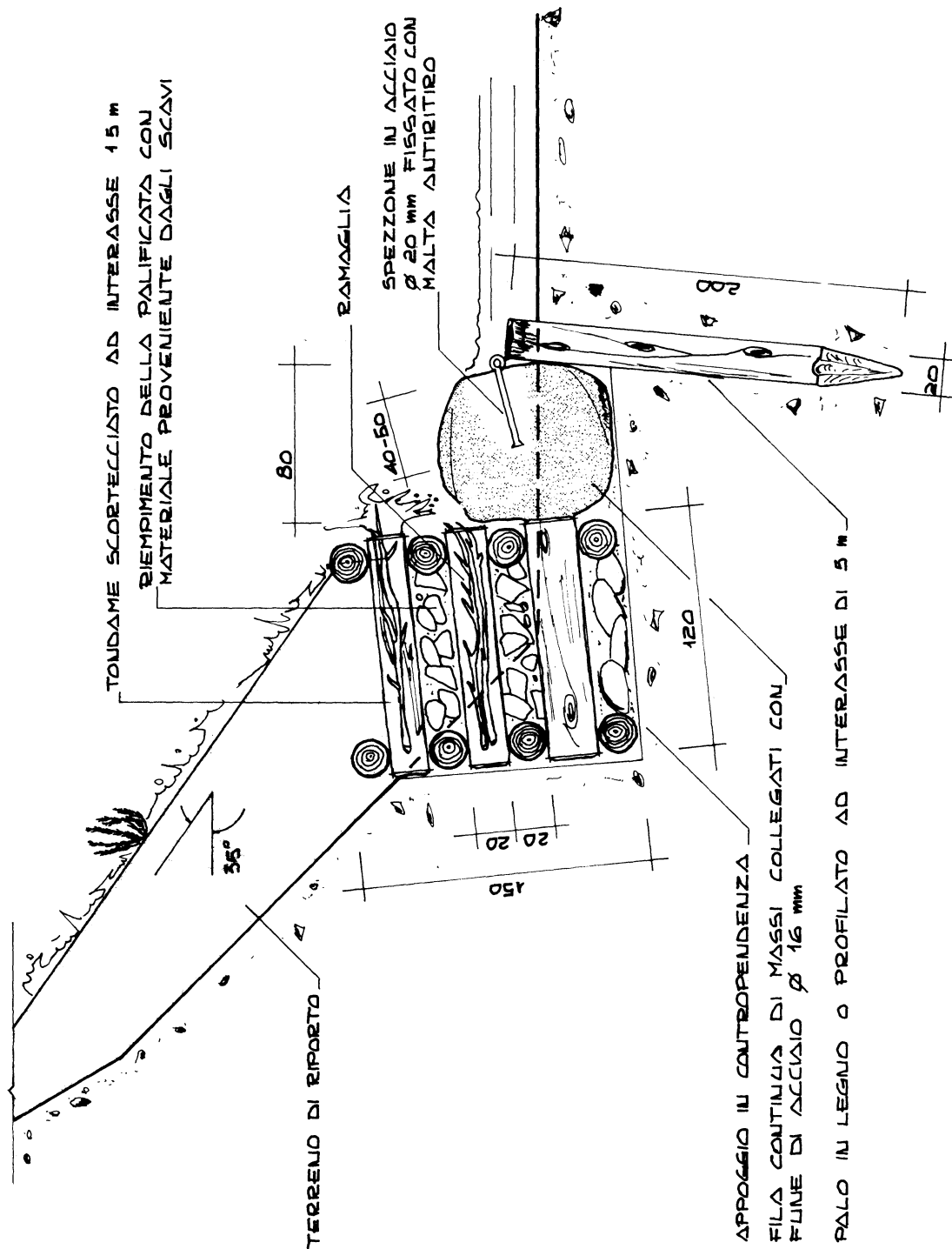


### LEGENDA

- 1 - Tondame scortecciato o legname squadrato (diametro: 10-25 cm).
- 2 - Ramaglia viva o talee (densità: 10 talee al metro).
- 3 - Terreno di riporto.

## STRUTTURA DI SOSTEGNO IN LEGNAME E PIETREME CON TALEE

(lungo la sponda di un alveo)



## MURO DI SOSTEGNO IN PIETRAME (a secco)

### MATERIALI:

1 - pietrame

### MODALITA' DI ESECUZIONE:

1 - Scavo di fondazione.

2 - Posa in opera del pietrame in modo da realizzare un paramento verticale ed uno obliquo. Lo spessore del coronamento varia da 50 a 80 cm, mentre l'altezza del muretto può variare da 1 a 2 m; è consigliata una contropendenza verso monte.

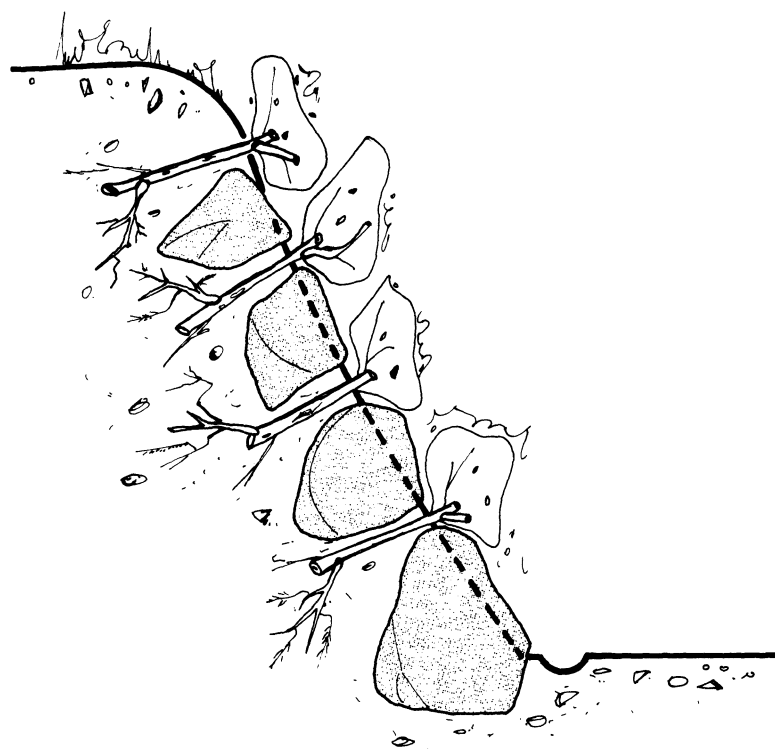
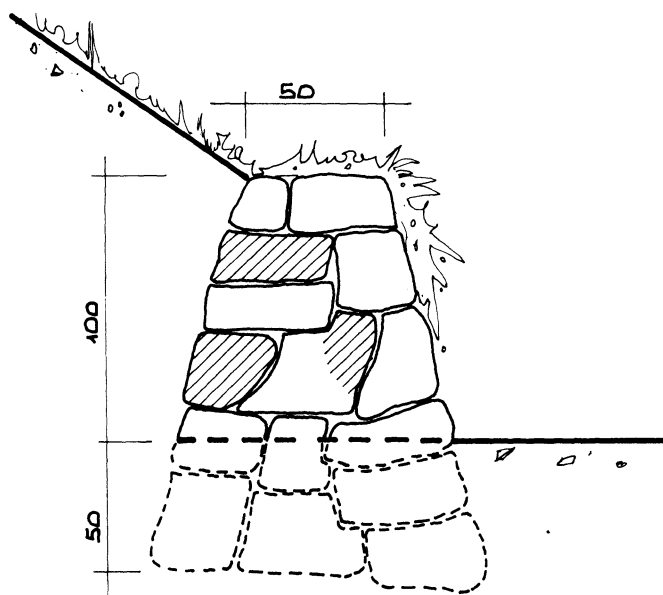
### Note:

1 - Il paramento verticale può essere a monte o a valle dell'opera.

2 - Talvolta, nel caso di massicciate realizzate a secco, è possibile la messa a dimora di ramaglia, di talee (lunghezza: 60-100 cm) e/o di piantine radicate di specie arbustive (2-5 piante al metro quadrato) in modo tale che siano a contatto con il terreno retrostante. La presenza della vegetazione, oltre a consolidare la struttura, consente di ottenere un maggior drenaggio del terreno retrostante ed un migliore effetto estetico. In tali casi deve essere preventivata una fallanza del 30-40% nell'attecchimento ed un risarcimento dopo 1-2 anni.

3 - Qualora si intenda fornire al versante una robusta base di appoggio si può realizzare un cosiddetto "cuneo filtrante": esso consiste in un muro a secco che assume la stessa pendenza della pendice ed in profondità ha un tubo drenante in grado di eliminare eventuali e pericolosi ristagni d'acqua.

**MURO DI SOSTEGNO IN PIETRAME (a secco)**



## MURO DI SOSTEGNO IN ELEMENTI PREFABBRICATI IN CALCESTRUZZO O IN LEGNAME

### MATERIALI:

I muri sono realizzati con elementi prefabbricati in calcestruzzo o in legname, di varia forma (tubolari, planari, prismatici, ecc.) e di varie dimensioni:

- a - Elementi tubolari: tubi in calcestruzzo precompresso a sezione quadrata con spigoli arrotondati o smussati.
- b - Elementi planari: pannelli in calcestruzzo posti in opera in modo da creare delle tasche idonee al riempimento con terreno vegetale ed al fine di trattenere l'acqua.
- c - Travi: elementi in calcestruzzo o in legname ad incastro aventi dimensioni variabili.
- d - Grigliati: pannelli forati in calcestruzzo.

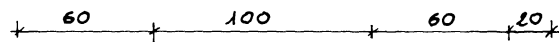
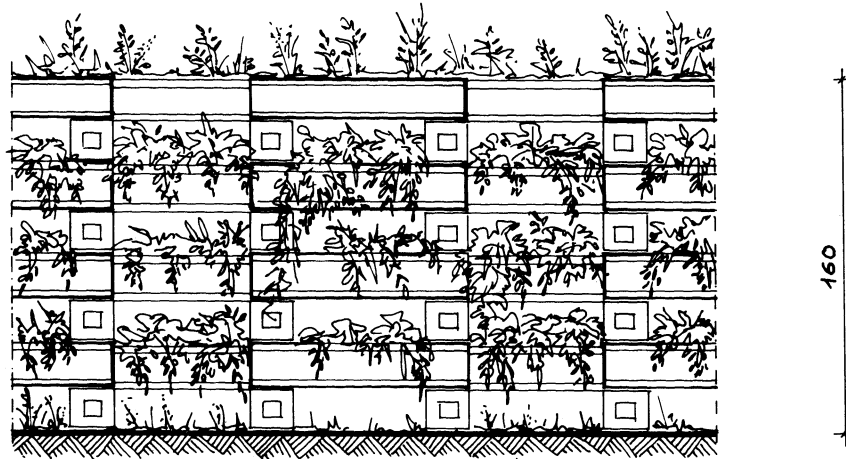
### MODALITA' DI ESECUZIONE:

- 1 - Preparazione della base di appoggio del muro.
- 2 - Posa in opera degli elementi prefabbricati.
- 3 - Fissaggio degli elementi con spinotti, bulloni o tondini di ferro.
- 4 - Riempimento con terreno vegetale (25%) e con materiale più grossolano (75%).
- 5 - Inerbimento ed eventuale messa a dimora di piante arbustive.

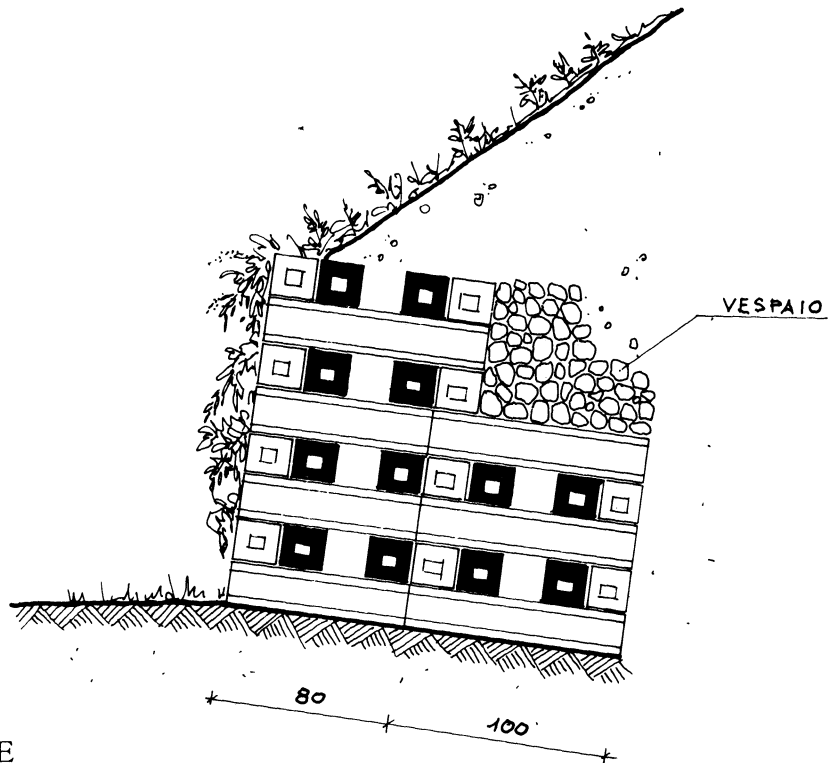
### Note:

- 1 - Esistono sistemi misti costituiti da elementi prefabbricati in calcestruzzo che, combinati con griglie o reti in materiale sintetico o armature in acciaio, consentono di realizzare rilevati rinverdibili con specie erbacee ed arbustive, anche con pendenze elevate; queste metodologie consentono, da un lato, di ridurre la quantità di pannelli in calcestruzzo da impiegare in quanto parte della funzione statica è svolta dalla griglia, dall'altro, di poter utilizzare materiale più fine per il riempimento; essi applicano il principio statico delle terre rinforzate.
- 2 - Da un punto di vista economico l'uso di elementi prefabbricati in calcestruzzo risulta essere meno economico delle palificate in legname con talee, ma meno costoso dei tradizionali muri in calcestruzzo, in relazione anche alla semplicità ed alla velocità della loro messa in opera. Gli elementi prefabbricati in calcestruzzo possono essere riutilizzati qualora la struttura venga rimossa.
- 3 - In commercio esistono anche strutture in legname già lavorato che consentono di realizzare muri di sostegno, con le seguenti caratteristiche tecniche: legname squadrato e trattato con sali, altezza: 1-8 m, durata: 40-50 anni. Anche queste strutture hanno la capacità di essere rinverdate con specie vegetali erbacee ed arbustive.
- 4 - I muri di sostegno in elementi prefabbricati in calcestruzzo o in legname sono idonei anche per realizzare barriere antirumore.

**MURO DI SOSTEGNO IN ELEMENTI  
PREFABBRICATI IN CALCESTRUZZO**  
(elementi tubolari)

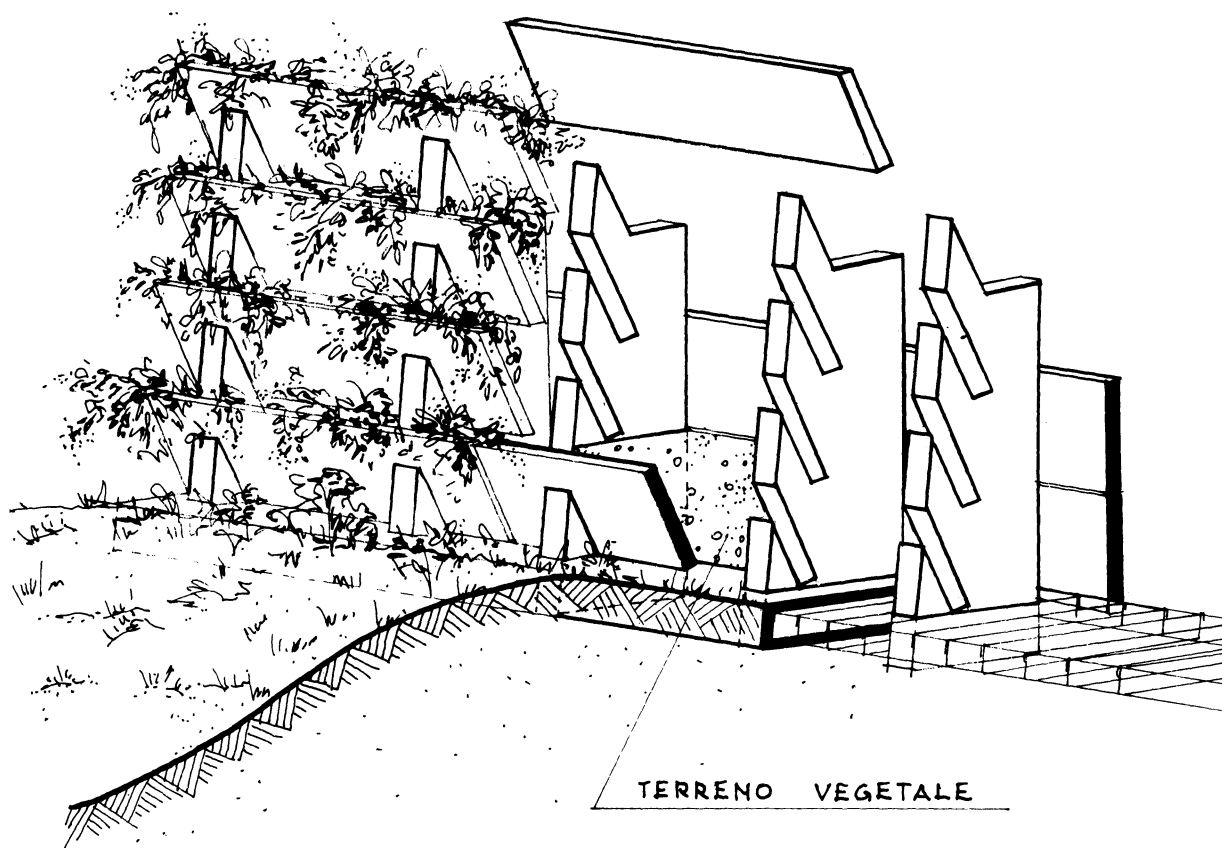


PROSPETTO



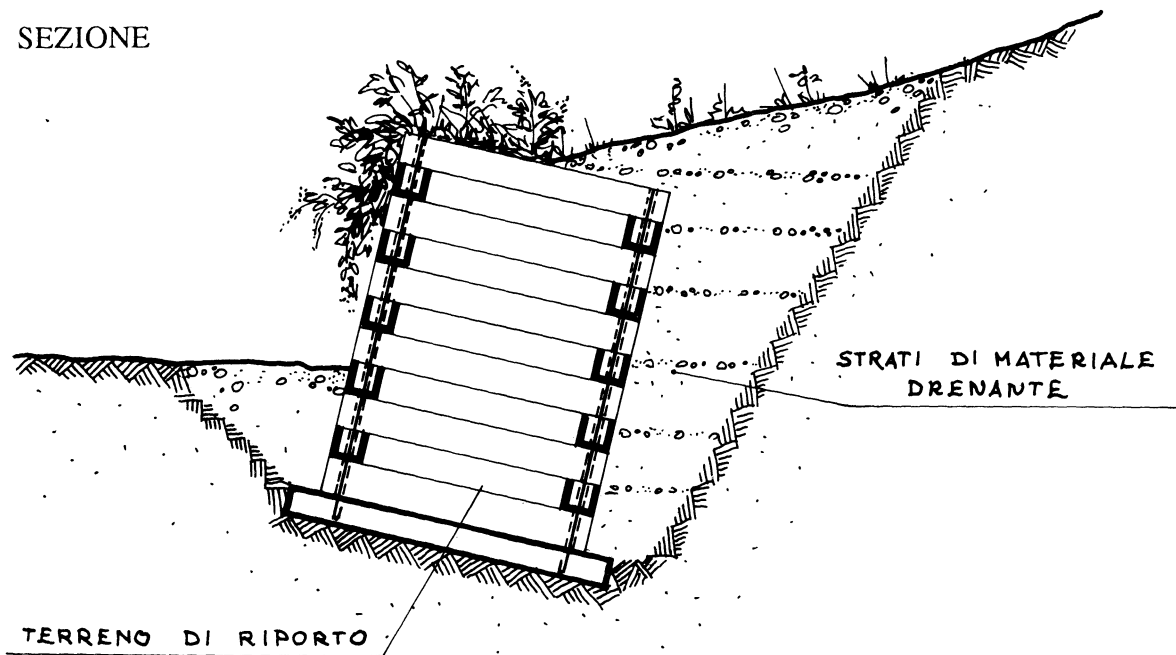
SEZIONE

**MURO DI SOSTEGNO IN ELEMENTI  
PREFABBRICATI IN CALCESTRUZZO**  
(elementi planari)

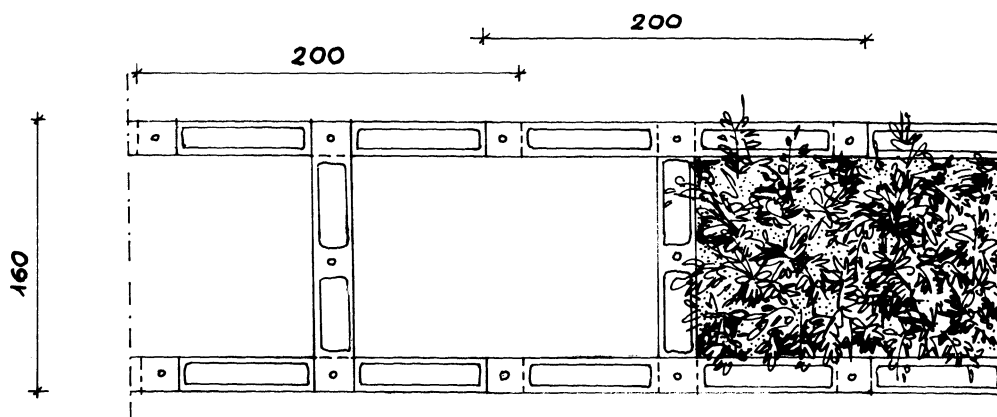


### MURO DI SOSTEGNO IN ELEMENTI PREFABBRICATI IN CALCESTRUZZO (travi)

SEZIONE



PIANTA



## MURO DI SOSTEGNO CON ARMATURA METALLICA (Terre rinforzate)

### MATERIALI:

- 1 - armatura in acciaio zincato
- 2 - griglia metallica elettrosaldata
- 3 - feltro
- 4 - talee di salice

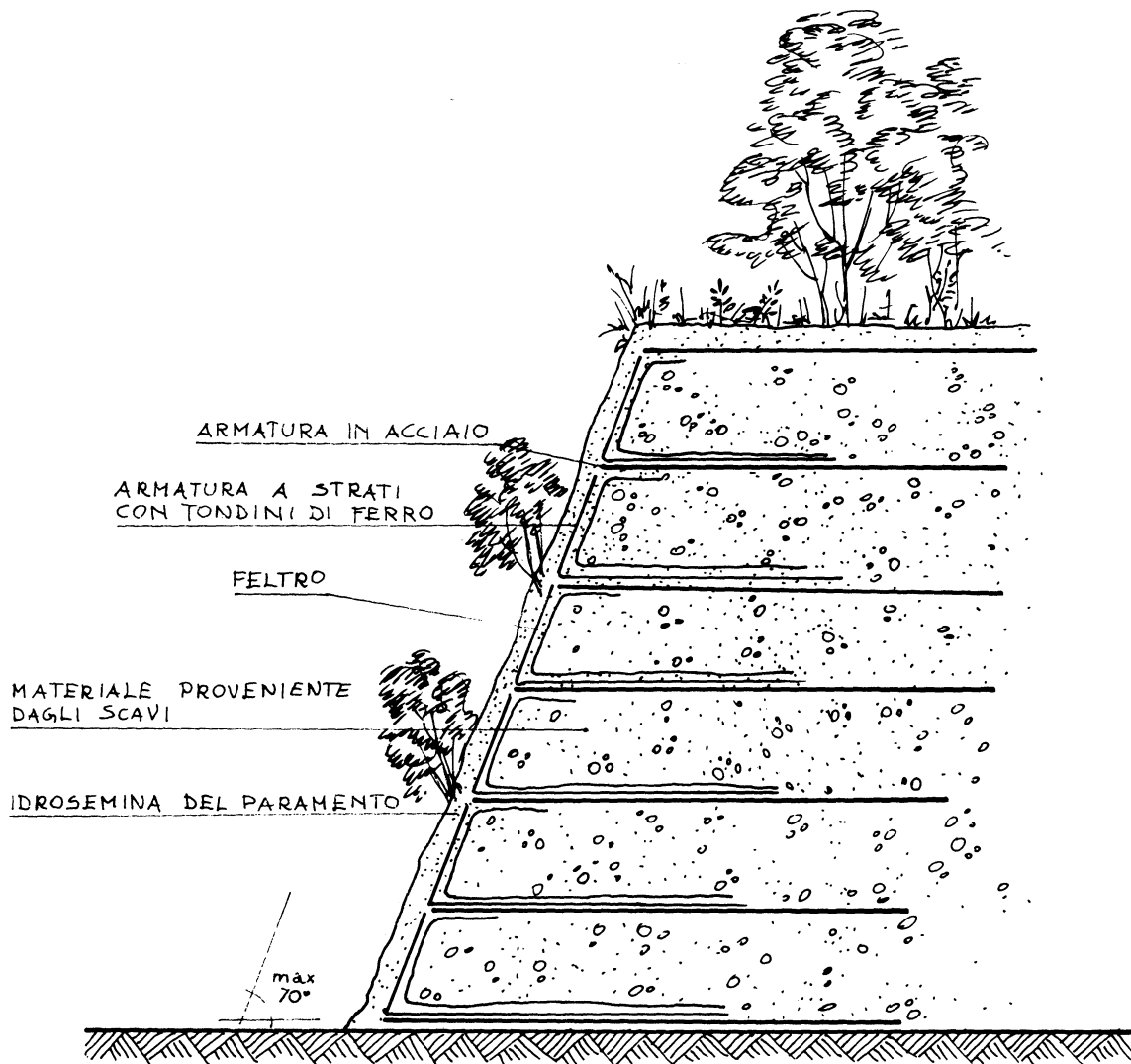
### MODALITA' DI ESECUZIONE:

- 1 - Preparazione del piano di fondazione e compattazione del terreno.
- 2 - Posa in opera dell'armatura in acciaio zincato.
- 3 - Posa in opera della griglia metallica elettrosaldata che ha una duplice funzione: di contenimento della scarpata e di supporto della struttura per poter fornire l'inclinazione desiderata all'opera.
- 4 - Posa in opera del feltro per il contenimento del terreno (solo in alcune tipologie).
- 5 - Riporto del terreno di scavo e relativa compattazione.
- 6 - Formazione dei successivi strati.
- 7 - Inerbimento della scarpata ed eventuale messa a dimora di talee di specie arbustive.

### Note:

- 1 - La durata di tali opere è paragonabile a quella delle tradizionali costruzioni in muratura.
- 2 - Modificando le tecniche di realizzazione si possono ottenere diverse pendenze del paramento (45-70°).
- 3 - Il principio fisico su cui si basa questa tipologia di intervento è quello delle terre rinforzate: la stabilità della struttura è dovuta al peso stesso del terreno ed allo scheletro in acciaio del manufatto.
- 4 - Un'alternativa a tale metodologia è costituita dall'impiego di lunghe barre di acciaio (chiodi) infissi ortogonalmente in modo da legare le parti stabili con quelle soggette a movimento, mentre sul pendio vengono stese griglie sintetiche o metalliche a fini antiersivi e di trattenuta del terreno.
- 5 - E' possibile realizzare terre rinforzate anche senza l'uso di armature in acciaio, impiegando tessuti o griglie in materiale sintetico (Tipologia n. 18).

## MURO DI SOSTEGNO CON ARMATURA METALLICA (Terre rinforzate)



## SISTEMAZIONE CON GRIGLIE, RETI O TESSUTI IN MATERIALE SINTETICO

### MATERIALI:

- a - Griglie o reti in poliammide (nylon).
- b - Griglie o reti in polietilene.
- c - Griglie o reti in polipropilene.
- d - Griglie o reti in poliestere.
- e - Reti a struttura alveolare in polietilene.
- f - Reti a struttura alveolare in poliestere.
- g - Tessuti in polipropilene.
- h - Tessuti in poliestere.
- i - Sistemi misti.

#### a - Griglie o reti in poliammide (nylon):

Sono griglie o reti tridimensionali a funzione antierosiva costituite da filamenti aggrovigliati e termosaldati in grado di inglobare le particelle del terreno (spessore: 10-25 mm, peso: 250-1000 g/mq, resistenza alla trazione: 1-3 kN/m). Possono anche essere impiegate per la realizzazione di canalette inerbite. In commercio sono disponibili anche griglie o reti già riempite con ghiaia (diametro < 6 mm) legata con bitume (peso: 15-20 kg/mq) ed altre con il manto vegetale già sviluppato (peso: 25-30 kg/mq).

#### b - Griglie o reti in polietilene:

Sono griglie o reti bidimensionali monodirezionali e possono essere impiegate per realizzare terre rinforzate (resistenza alla trazione: 30-110 kN/m) oppure per consolidare terreni in erosione. Vi sono anche griglie costituite da maglie romboidali composte da fili che formano micro-canali con un'elevata capacità drenante, per cui possono essere impiegate, ad esempio, nelle discariche controllate di rifiuti urbani. Esistono anche tessuti in polietilene che hanno una capacità impermeabilizzante e sono impiegati in piccoli bacini, discariche, ecc.

#### c - Griglie o reti in polipropilene:

Sono griglie o reti bi-tridimensionali forate in modo da inglobare le particelle di terreno ed essere inerbite svolgendo così una funzione antierosiva (resistenza alla trazione: 15-100 kN/m).

#### d - Griglie o reti in poliestere:

Possono essere posizionate in modo da costituire un'armatura del terreno (rilevato stradale o ferroviario, barriera antirumore, ecc.) in quanto sono in grado di sostenere da sole la spinta delle terre (terre rinforzate) (resistenza alla trazione: 20-110 kN/m, peso: 300-650 g/mq, dimensioni della maglia: 10-30 mm).

#### e - Reti a struttura alveolare (celle) in polietilene:

Trattenendo il terreno sciolto disposto all'interno delle diverse celle di forma romboidale o esagonale (altezza: 5-20 cm, diametro: 8-40 cm) svolgono una funzione antierosiva in quanto

costituiscono uno scheletro con cui incrementano la resistenza meccanica del terreno (1 kN/m). Hanno una certa permeabilità laterale in relazione alla presenza di fessure situate tra le diverse celle. Infine, hanno il vantaggio di essere facilmente trasportabili, in quanto realizzate in una struttura a "fisarmonica" di ingombro limitato, da cui ne consegue anche una certa facilità ed una rapidità di messa in opera.

f - Reti a struttura alveolare (celle) in poliestere:

Per quanto concerne la loro funzione valgono i concetti espressi alla lettera e).

g - Tessuti in polipropilene:

Possono essere posizionati in modo da costituire un'armatura del terreno in quanto sono in grado di sostenere da soli la spinta delle terre (terre rinforzate). Possono anche essere impiegati come elementi separatori del terreno, come drenaggi o per distribuire meglio i carichi (resistenza alla trazione: 20-80 kN/m, peso: 100-500 g/mq).

h - Tessuti in poliestere:

Per quanto riguarda la loro funzione valgono i concetti espressi alla lettera g), (resistenza alla trazione: 150-1000 kN/m). In commercio esistono anche tessuti in poliestere a funzione drenante.

i - Sistemi misti:

Sono disponibili dei sistemi misti consistenti in diverse combinazioni di reti, griglie, stuoie e tessuti che consentono di realizzare sistemi polifunzionali: drenanti, filtranti, antierosivi, ecc. Un sistema misto può essere considerata la stuoia per pacciamatura composta da una parte biodegradabile avvolta da una pellicola di polietilene che impedisce ai semi delle erbe infestanti di radicare e di svilupparsi, consentendo alle piante di specie arboree o arbustive messe a dimora di superare i primi 2-3 anni di vita; questa stuoia è disponibile in commercio in varie forme e dimensioni. Un altro sistema misto può essere considerato l'impiego di fibre sintetiche (poliestere) miscelate con sabbia, ghiaia ed acqua e viene utilizzato al fine di ottenere muri di sostegno inerbiti anche con pendenze elevate. Infine, un sistema di consolidamento di pendici soggette ad erosione è quello che impiega una rete metallica (funzione meccanica di sostegno) sovrapposta ad una griglia in materiale sintetico (funzione di contenimento del terreno) in modo tale da poter inerbire la superficie con un miscuglio di specie erbacee selezionate ed idonee al sito.

**MODALITA' DI ESECUZIONE:****Griglie o reti a funzione antierosiva:**

- 1 - Modellamento e preparazione delle scarpate mediante scoronamenti ed eliminazione di pietrame e ramaglia.
- 2 - Scavo di un solco di 20-30 cm di profondità lungo il lato a monte della superficie da proteggere.
- 3 - Inserimento nel solco della rete ripiegata in un doppio strato e ricoprimento con la medesima terra dello scavo.
- 4 - Stesura della rete lungo la linea di massima pendenza, in maniera che non sia troppo tesa e che ci sia una leggera sovrapposizione laterale (10-15 cm) tra i diversi rotoli impiegati, e nella direzione della corrente dell'acqua (nel caso di consolidamento di sponde fluviali), al fine di evitare l'insorgere di fenomeni erosivi.
- 5 - Fissaggio della rete con picchetti a "U" di ferro, di legno o di plastica disposti ad una distanza di 1 m lungo le sovrapposizioni laterali e trasversali ed eventualmente anche al centro della rete stessa; il numero dei picchetti varia in funzione della pendenza del terreno: con pendenze del versante superiori a 20-30° vanno inseriti 1-2 chiodi centrali con densità di 2-3 chiodi al metro quadrato, altrimenti sono sufficienti i chiodi laterali (1 chiodo ogni metro quadrato).
- 6 - Eventuale riporto di terreno vegetale, soprattutto sui bordi esterni.
- 7 - Semina di un idoneo miscuglio di sementi di specie erbacee selezionate; in certi casi la semina deve precedere la fase di stesura della griglia o della rete, oppure la fase di riempimento col terreno vegetale; talvolta è consigliato mettere a dimora anche talee di salice.

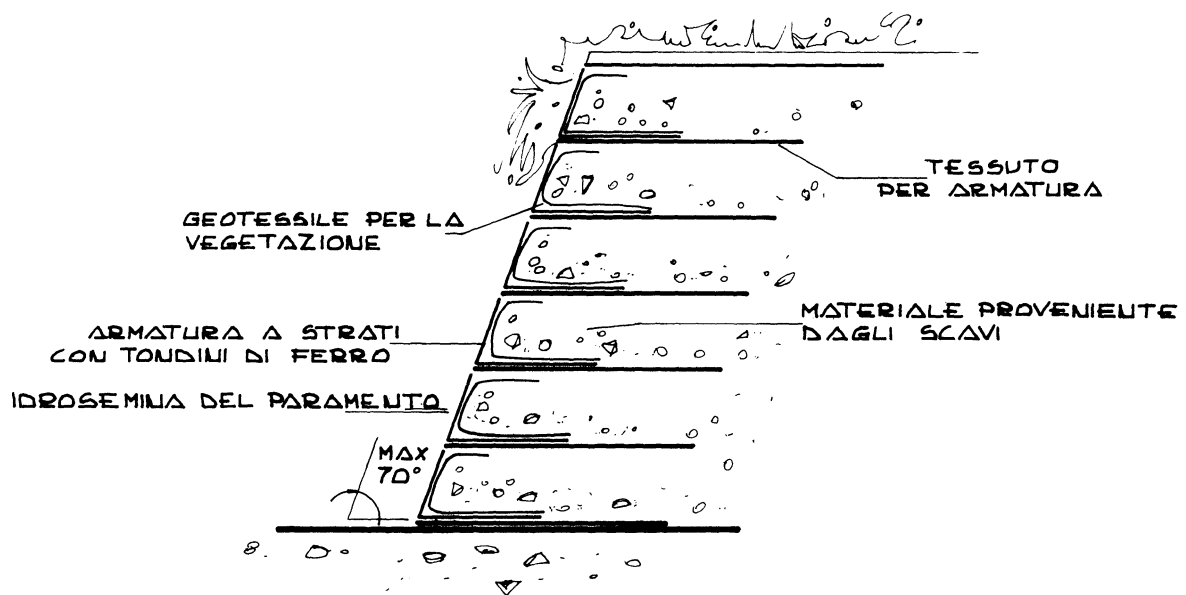
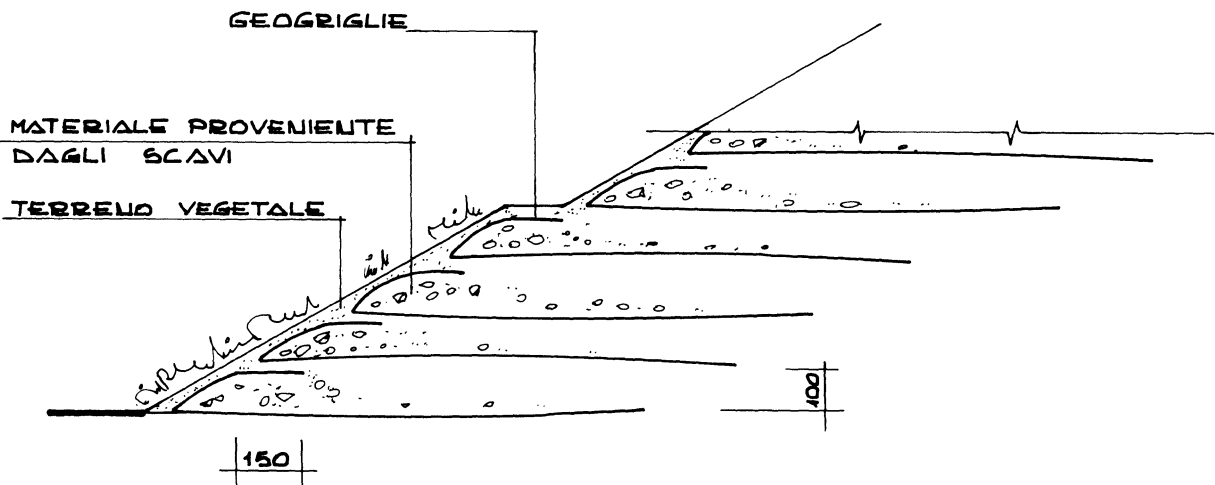
**Griglie o tessuti in materiale sintetico con funzione di sostegno (terre rinforzate):**

- 1 - Per quanto concerne la realizzazione di tali strutture di sostegno vale quanto già esposto per l'esecuzione dei muri di sostegno con armatura metallica (Tipologia n. 17), tenendo presente che in questo caso la capacità di resistenza alle spinte delle terre non è legata alle caratteristiche tecniche della struttura in metallo, ma al tipo di tessuto o di griglia impiegata. Anche con questi materiali è possibile ottenere muri di sostegno aventi paramenti con diverse pendenze (45-70°).

**Note:**

- 1 - Le principali funzioni delle griglie, delle reti e dei tessuti in materiale sintetico si possono così riassumere:
  - sostegno dei versanti;
  - consolidamento del terreno;
  - separazione dei materiali;
  - filtrazione e drenaggio;
  - distribuzione dei carichi.
- 2 - In commercio sono disponibili griglie, reti e tessuti di materiale sintetico in rotoli, teli o bobine di diverse dimensioni: lunghezza: 20-200 m, larghezza: 1-5 m.
- 3 - A differenza dei tessuti in materiale sintetico le griglie hanno il vantaggio di consentire un più facile inerbimento delle superfici da consolidare, anche se i tessuti hanno una maggiore resistenza alla trazione e quindi sono in grado di sopportare carichi più elevati.

**SISTEMAZIONE CON GRIGLIE, RETI O TESSUTI  
IN MATERIALE SINTETICO**  
(Terre rinforzate)



## SISTEMAZIONE CON RETI O STUOIE IN MATERIALE BIODEGRADABILE

### MATERIALI :

- a - Reti in juta, fibra di cocco o di altri vegetali.
- b - Stuoie in fibra di cocco, di paglia, di truciolare di legno o di altri vegetali.

#### a - Reti in juta, fibra di cocco o di altri vegetali:

Sono costituite da corde intrecciate di svariate dimensioni e caratteristiche tecniche:

- diametro corda = 4-5 mm;
- maglia rete = 10-50 mm;
- resistenza alla trazione = 5-15 N/m;
- peso = 200-1500 g/mq.

#### b - Stuoie in fibra di cocco, di paglia, di truciolare di legno o di altri vegetali:

Sono costituite da uno strato di fibra vegetale (cocco, paglia, legno, ecc.) legato da una rete di materiale biodegradabile o sintetico. Le stuoie realizzate con fibra di cocco sono consigliate per interventi con alto grado di erosione e con elevata pendenza in quanto di più lunga durata, mentre quelle di paglia si decompongono più velocemente.

### MODALITA' DI ESECUZIONE:

- 1 - Modellamento e preparazione delle scarpate mediante scoronamenti ed eliminazione di pietrame e ramaglia.
- 2 - Scavo di un solco di 20-30 cm di profondità lungo il lato a monte della superficie da proteggere.
- 3 - Semina di un miscuglio di sementi di specie erbacee selezionate e relativa concimazione.
- 4 - Inserimento nel solco della rete o della stuoia ripiegata in un doppio strato e ricoprimento con il terreno proveniente dallo scavo.
- 5 - Stesura della rete lungo la massima pendenza in maniera che non sia troppo tesa e che ci sia una leggera sovrapposizione laterale (10-15 cm) tra i diversi rotoli impiegati; fissaggio della rete con picchetti a "U" di ferro o di legno disposti ad una distanza di 1 m lungo le sovrapposizioni laterali e trasversali ed eventualmente anche al centro della rete stessa, in funzione del grado di pendenza del terreno: con pendenze del versante superiori a 20-30° vanno inseriti 1-2 chiodi centrali con densità di 2-3 chiodi al metro quadrato, altrimenti sono sufficienti i chiodi laterali (1 chiodo ogni metro quadrato).
- 6 - Copertura dei bordi esterni della rete con terreno.
- 7 - Eventuale completamento della fase di semina sopra la stuoia.
- 8 - Eventuale irrigazione durante periodi particolarmente siccitosi per garantire la germogliazione delle sementi.
- 9 - Eventuale concimazione post-germinazione qualora il substrato sia povero di sostanza organica.

**Note:**

- 1 - La semina di specie erbacee va effettuata, preferibilmente, prima di stendere la rete o la stuoia.
- 2 - Qualora si intenda mettere a dimora delle piantine o delle talee di alberi o arbusti è consigliabile procedere in uno dei seguenti modi:
  - a - piantine di altezza inferiore a 20 cm: allargamento della maglia della rete;
  - b - piantine di altezza superiore a 20 cm: taglio a "L" della maglia della rete e successivo fissaggio della medesima con un picchetto di legno.
- 3 - I picchetti (chiodi) di ferro impiegati per il fissaggio delle reti e delle stuoie hanno una lunghezza di 15-50 cm ed un diametro di 3-6 mm; spesso vengono utilizzati anche picchetti di legno di 30-40 cm di lunghezza; in caso di substrati particolarmente duri è necessario impiegare chiodi speciali. Il numero dei picchetti è di circa 1-3 ogni metro quadrato di rete e varia in funzione della pendenza del terreno.
- 4 - Per la conservazione delle reti e delle stuoie di origine naturale, prima del loro utilizzo, si dovrà porre particolare attenzione affinché esse non si bagnino, in quanto ciò comporterebbe un loro notevole aumento di peso ed una conseguente maggiore difficoltà di posa in opera.
- 5 - In commercio sono disponibili reti e stuoie di fibra naturale in rotoli, teli o bobine di diverse dimensioni (lunghezza: 20-100 m, larghezza: 1-4 m, peso: 200-1500 g/mq).
- 6 - Esistono anche stuoie cosiddette "preseminate" già contenenti all'interno il miscuglio di sementi (15-40 g/mq) ed anche il concime.
- 7 - Sono disponibili in commercio particolari reti in fibra naturale, con una larghezza di 15-30 cm che possono essere utilizzate per realizzare dei "recinti" di diversa forma (romboidale, rettangolare, ecc.) allo scopo di costituire uno scheletro di contenimento del terreno vegetale riportato successivamente.  
Per la loro posa in opera si eseguono le seguenti fasi di lavoro:
  - a - messa a dimora di picchetti di legno o di acciaio (lunghezza: 0,5-1 m, diametro: 4-6 cm, distanza: 30-70 cm) facendo in modo che sporgano per un'altezza pari a quella della rete;
  - b - posizionamento della rete e fissaggio con graffe metalliche o con filo di ferro zincato;
  - c - copertura con terreno di riporto.Queste reti possono anche essere montate obliquamente su di una griglia metallica zincata in modo da creare delle tasche e, in seguito, essere riempite con terreno ed inerbite e/o piantumate.
- 8 - In commercio, infine, vi sono dischi di materiale naturale, a funzione pacciamante, in grado di limitare lo sviluppo nelle erbe infestanti vicino alle piantine di specie arbustive o arboree messe a dimora, riducendo così i lavori di manutenzione ed escludendo, nel contempo, la necessità di impiego di diserbanti chimici (durata: 2-3 anni, spessore: 3-4 mm, diametro: 30-60 cm, peso: 150-700 g).

## COPERTURA DIFFUSA CON ASTONI

### MATERIALI:

#### a - semplice:

- 1 - paleria di larice o di castagno: lunghezza = 80 cm  
diametro = 5 cm
- 2 - talee di salice: lunghezza = 3-4 m  
diametro = 3-10 cm
- 3 - pietrame: pezzatura > 0,20 mc
- 4 - ghiaia: pezzatura = 30-160 mm
- 5 - filo di ferro zincato: diametro = 3 mm
- 6 - terreno vegetale

#### b - armata (in aggiunta):

- 1 - paleria di larice o di castagno: lunghezza = 1,5-2 m  
diametro = 20 cm
- 2 - fune di acciaio: diametro = 16 mm
- 3 - barra di acciaio: lunghezza > 60 cm  
diametro = 16-20 mm
- 4 - morsetto serrafune: diametro = 16-22 mm
- 5 - malta cementizia antiritiro

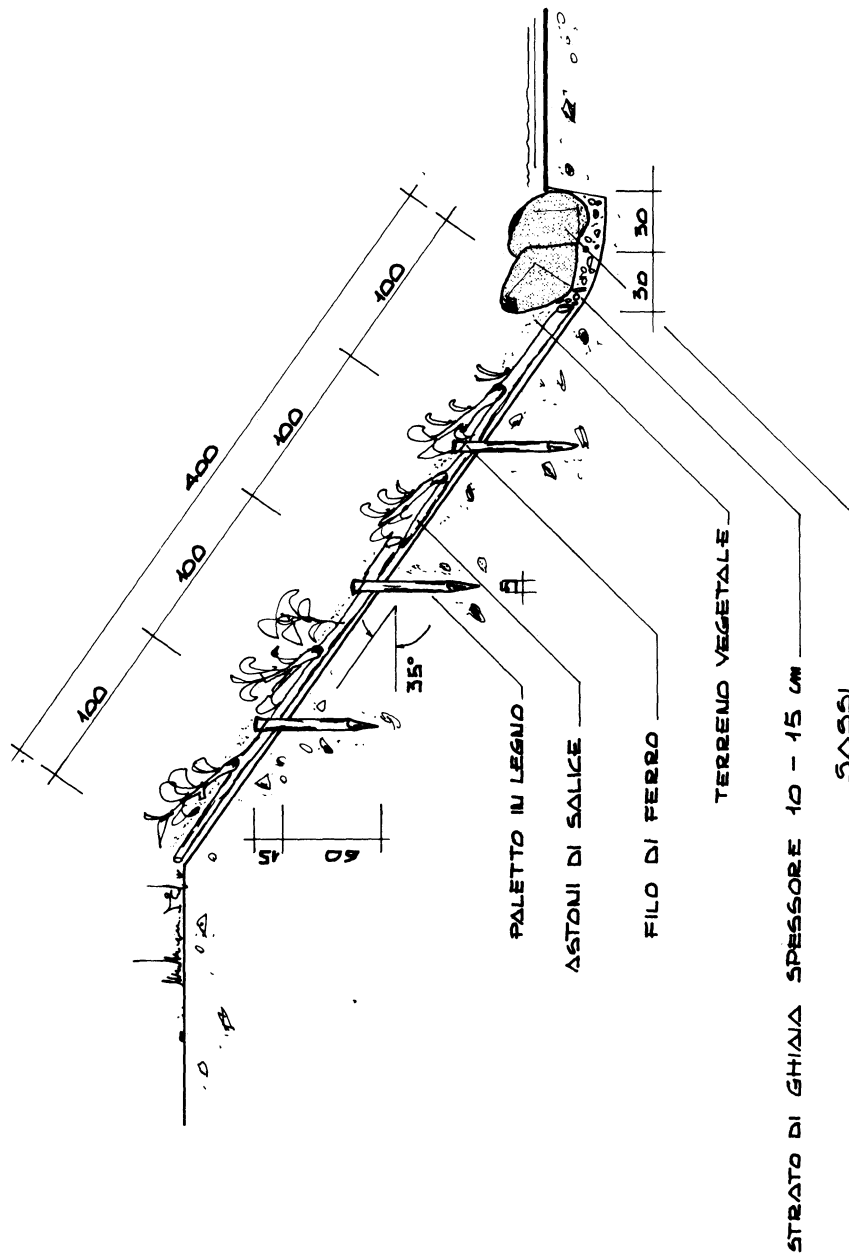
### MODALITA' DI ESECUZIONE:

- 1 - Modellamento della sponda del fiume con l'ausilio di un escavatore.
- 2 - Scavo di un fosso alla base della sponda (larghezza: 40 cm, profondità: 30 cm).
- 3 - Posa di 3 file di paletti di castagno o di larice, infissi nel terreno per 60 cm; le file di paletti vanno poste nel senso della corrente del fiume con un interasse di 1 m; la distanza tra i paletti è di 1 m per la fila inferiore, 1,5-2 m per la fila mediana e 2,5-3 m per la fila superiore.
- 4 - Posa di uno strato continuo di talee o astoni di salice in senso trasversale alla direzione della corrente e con il diametro maggiore posto nel fosso al piede della scarpata stessa; è importante che la base dell'astone sia il più possibile a contatto con il terreno e con l'acqua.
- 5 - Ancoraggio delle talee con il filo di ferro zincato fissato ai paletti.
- 6 - Copertura della base del fosso con uno strato di ciottoli di piccola dimensione o ghiaia in modo da favorire l'afflusso dell'acqua alle talee stesse.
- 7 - Messa in opera di una fila di pietrame (pezzatura > 0,20 mc) sopra i ciottoli, allo scopo di ottenere una protezione del piede della scarpata; a tal fine, al posto dei massi, si può procedere alla messa in opera di tondame scortecciato di larice o di castagno.
- 8 - Copertura delle talee con un sottile strato di terreno vegetale (spessore < 3 cm).

**Note:**

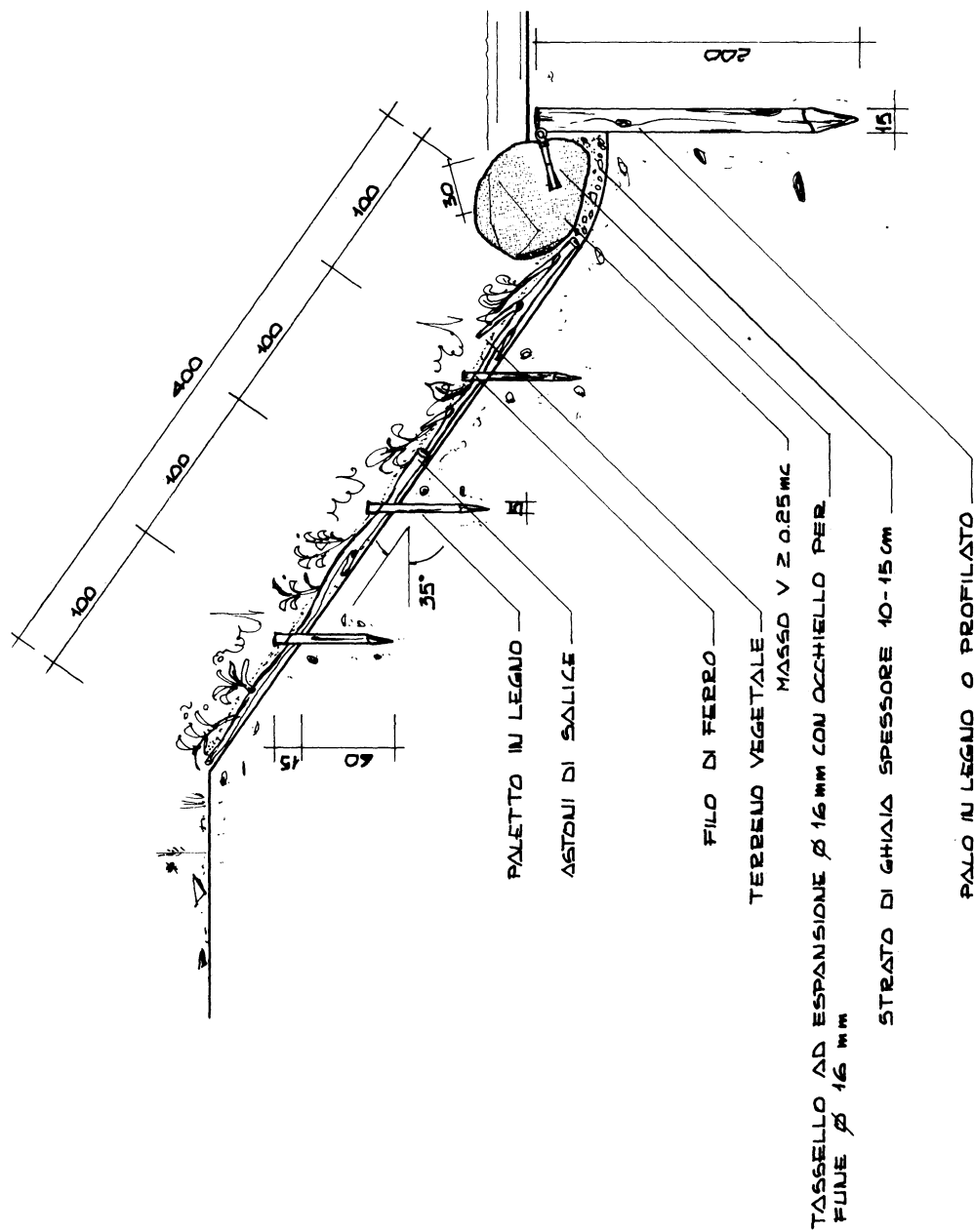
- 1 - Allo scopo di fornire una maggiore protezione del piede della scarpata si può realizzare una copertura diffusa con astoni di tipo "armata": l'armatura consiste nel legare il pietrame con una fune d'acciaio. A tal fine i massi vengono forati per consentire l'inserimento di una barra di acciaio ad aderenza migliorata (o di un tassello ad espansione) munita di un'asola ed il relativo fissaggio con malta cementizia antiritiro. La fune viene fissata a pali di legno o, in alternativa, a travi di acciaio infisse nell'alveo per 1,5-2 m e ad una distanza di 5 m, al fine di rendere più stabile la difesa spondale, pur conservando una certa elasticità.
- 2 - Allo scopo di mantenere un popolamento vegetale abbastanza "elastico", si potrà intervenire con periodiche manutenzioni (2-4 anni) consistenti nel diradamento o nel taglio dei salici in maniera scalare nel tempo e nello spazio.
- 3 - Una variante prevede la realizzazione, alla base della copertura diffusa con astoni, di una gradonata con talee, ancorata con una fascinata; tale metodo consente di evitare l'uso di una difesa spondale in pietrame ed è applicabile in corsi d'acqua con portate modeste (*Pruckner, 1943*).
- 4 - La copertura diffusa con astoni può essere anche realizzata a tergo di una scogliera in pietrame.

### COPERTURA DIFFUSA CON ASTONI

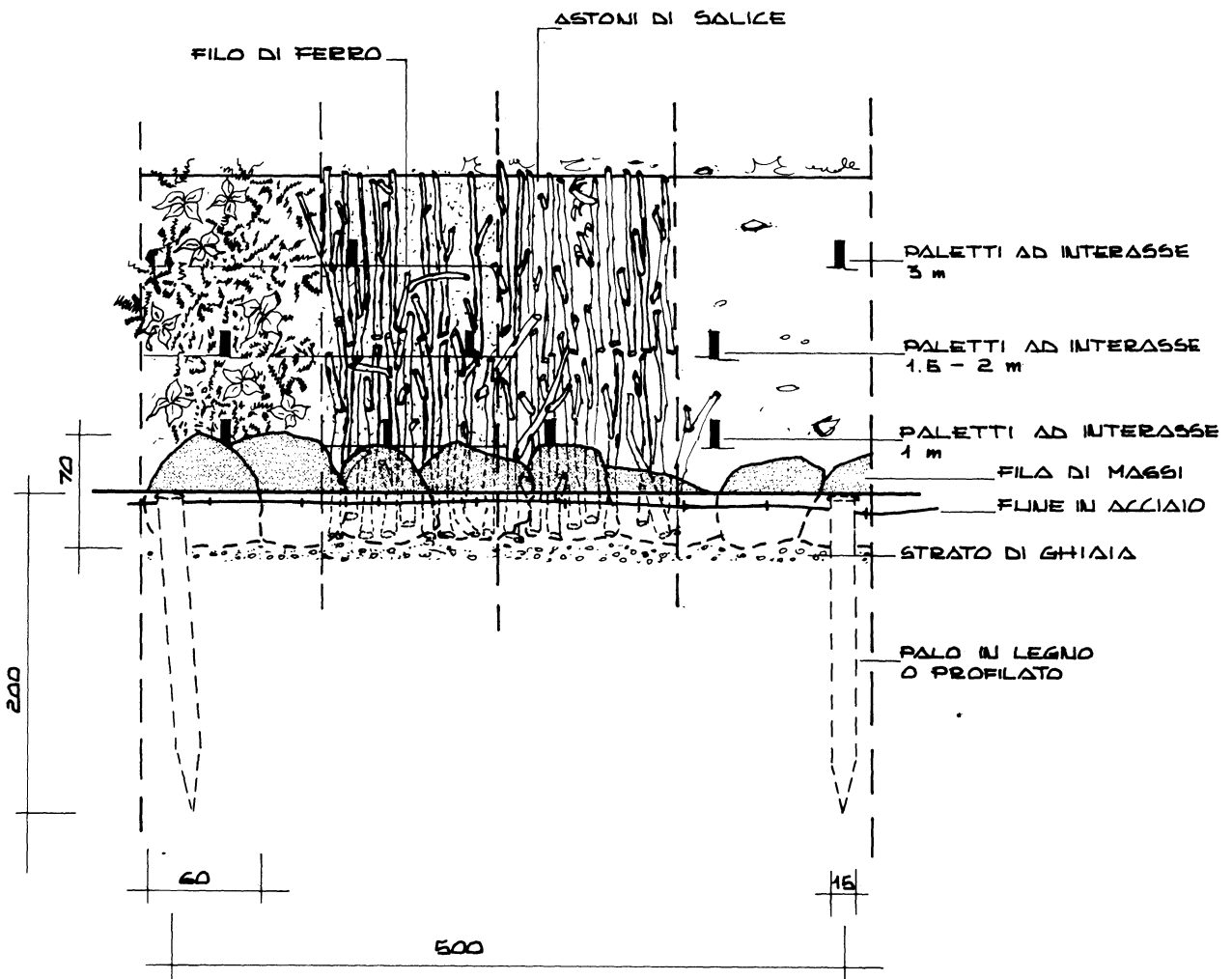


SEZIONE

### COPERTURA DIFFUSA CON ASTONI (tipo armata)

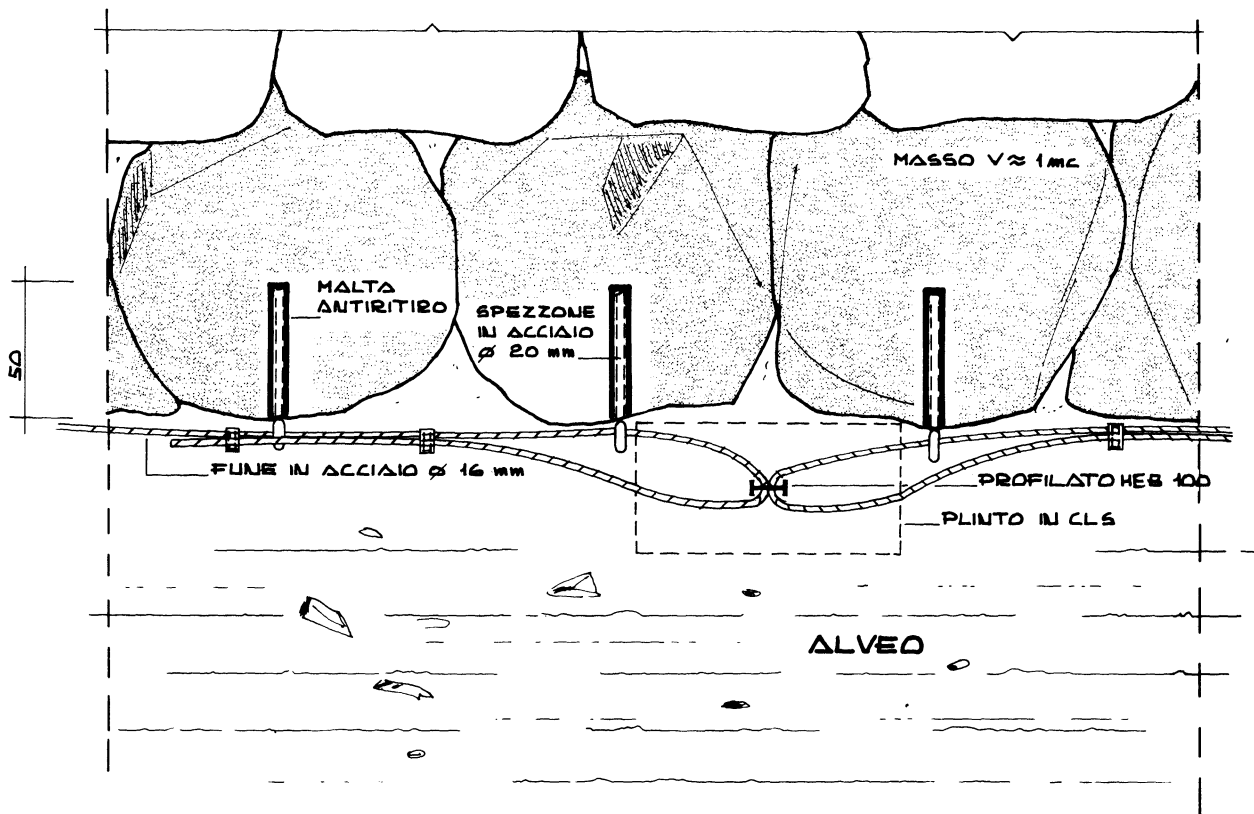


### COPERTURA DIFFUSA CON ASTONI (tipo armata)



PROSPETTO

**COPERTURA DIFFUSA CON ASTONI**  
 (particolare della legatura dei massi)



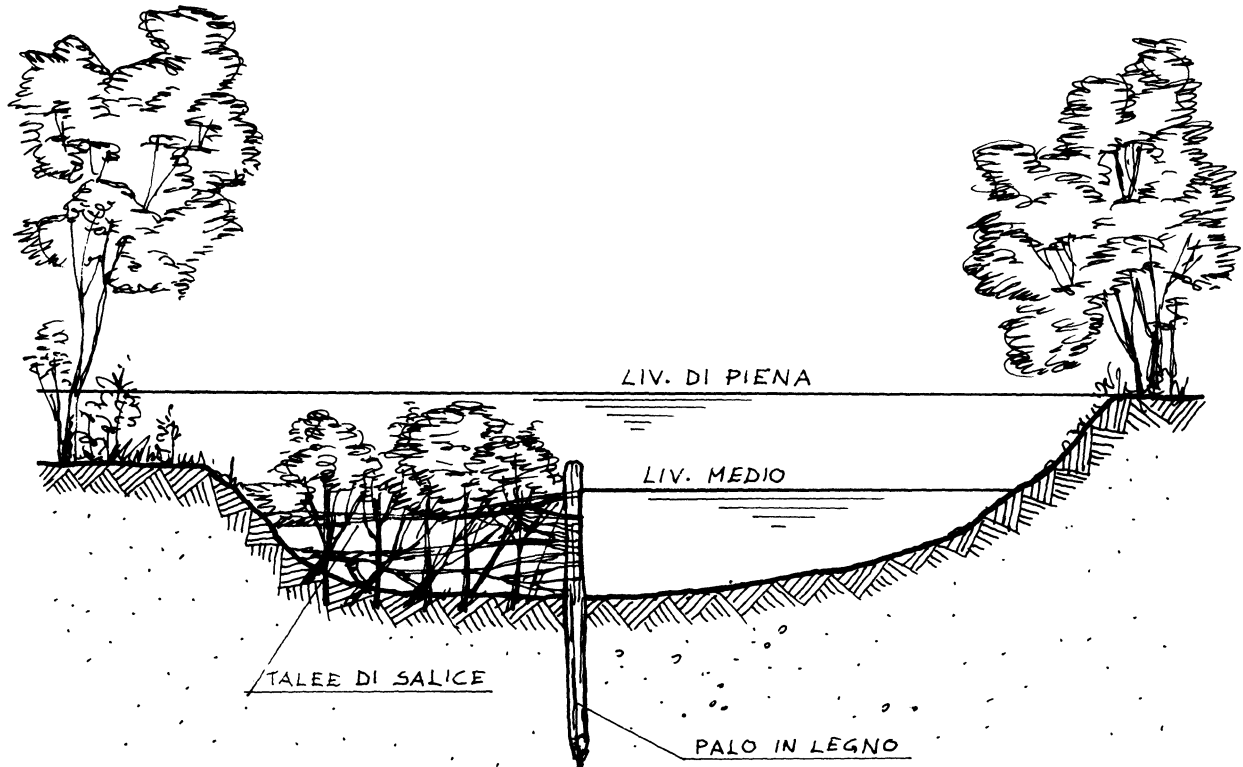


### DIFESA SPONDALE CON RAMAGLIA

RAMI SECCHI

PALO IN LEGNO

TALEE



## GABBIONATA CON TALEE

### MATERIALI:

- |                                      |                 |                         |
|--------------------------------------|-----------------|-------------------------|
| 1 - ciottoli di fiume:               | pezzatura       | = 15-35 cm              |
| 2 - gabbia in filo di ferro zincato: | diametro maglie | = (6-8) x (10-12) cm    |
|                                      | dimensioni      | = (2-4) x 1 x (0,5-1) m |
| 3 - filo di ferro zincato:           | diametro        | = 2,7-3 mm              |
| 4 - ramaglia o talee di salice:      | diametro        | = 3-10 cm               |

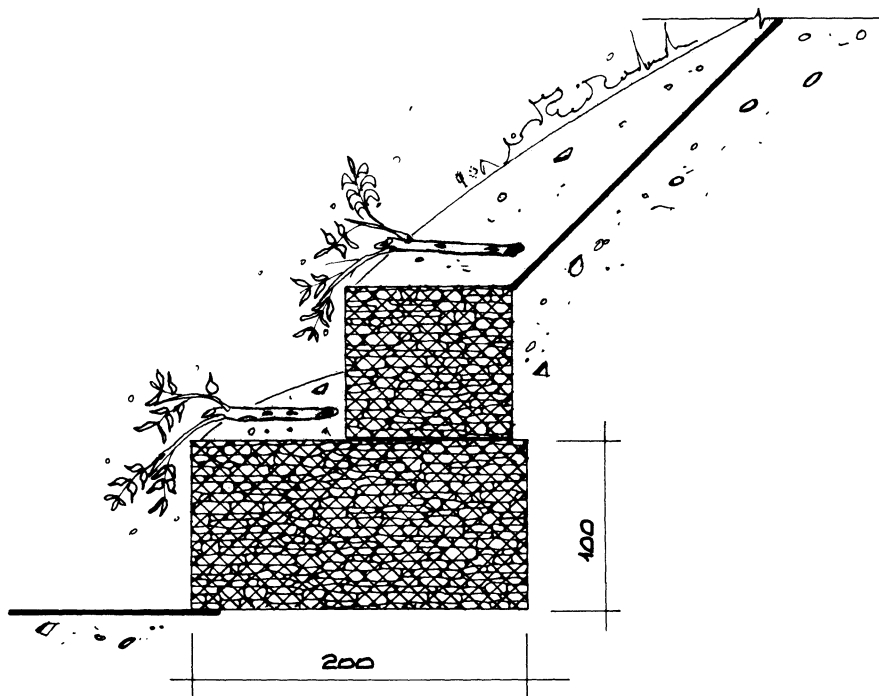
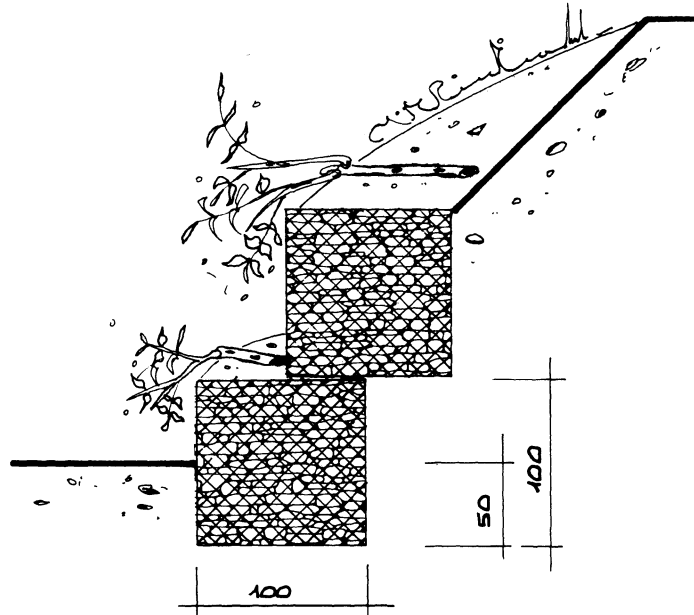
### MODALITA' DI ESECUZIONE:

- 1 - Preparazione del terreno su cui si intende realizzare la gabbionata.
- 2 - Posizionamento della rete in filo di ferro zincato a doppia torsione e costituzione della gabbia.
- 3 - Riempimento con pietrame non friabile di dimensioni superiori a quelle della maglia.
- 4 - Posa di terreno vegetale sulla parte superiore.
- 5 - Rinverdimento con talee o con idrosemina.

### Note:

- 1 - E' consigliato cucire i gabbioni fra di loro prima di riempirli con il pietrame.
- 2 - E' opportuno disporre dei tiranti di filo di ferro all'interno della gabbia per rendere la struttura meno deformabile.
- 3 - Qualora si intendesse mettere a dimora ramaglia, talee o piantine radicate all'interno del gabbione e non solo sulla sua sommità, si deve alternare il riempimento col pietrame alla posa delle piantine o dei rami in modo tale che siano posti a contatto con il terreno retrostante. La componente vegetale, oltre ad assolvere ad una funzione estetica, conferisce maggiore stabilità alla struttura stessa, aumentandone nel contempo, la capacità drenante. Ovviamente risulta più difficoltoso un rinverdimento di gabbionate preesistenti. E' anche possibile inserire le talee limitatamente alla parte superiore del gabbione, ricavando opportunamente una tasca che verrà riempita con terreno vegetale.
- 4 - I gabbioni possono essere anche a celle multiple, a materasso, o cilindrici.
- 5 - I gabbioni sono strutture di discreta elasticità e possono essere impiegati per realizzare difese spondali o muri di sostegno.
- 6 - A livello economico trattasi di una delle tipologie di consolidamento più vantaggiose, soprattutto qualora il pietrame sia reperibile in loco.

### GABBIONATA CON TALEE



## PENNELLO IN PIETRAMA CON TALEE (Repellente)

### MATERIALI:

- 1 - pietrame
- 2 - talee di salice: lunghezza = 1-1,5 m

### MODALITA' DI ESECUZIONE:

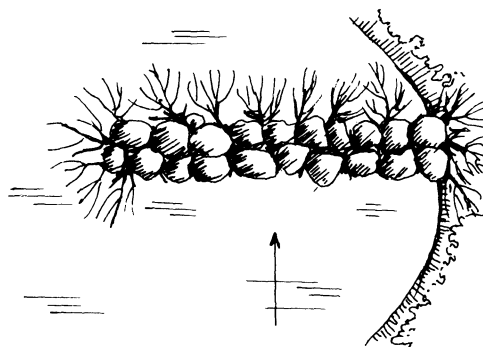
- 1 - Escavazione della base di appoggio (profondità: 30 cm, larghezza: 50 cm) e messa a dimora delle talee di salice in modo tale che abbiano un'inclinazione a valle di 45-60° e senza soluzione di continuità.
- 2 - Ricoprimento delle talee con ghiaia o con gabbioni di forma cilindrica.
- 3 - Posa del pietrame per un'altezza determinata dalle caratteristiche idrauliche del corso d'acqua.

### Note:

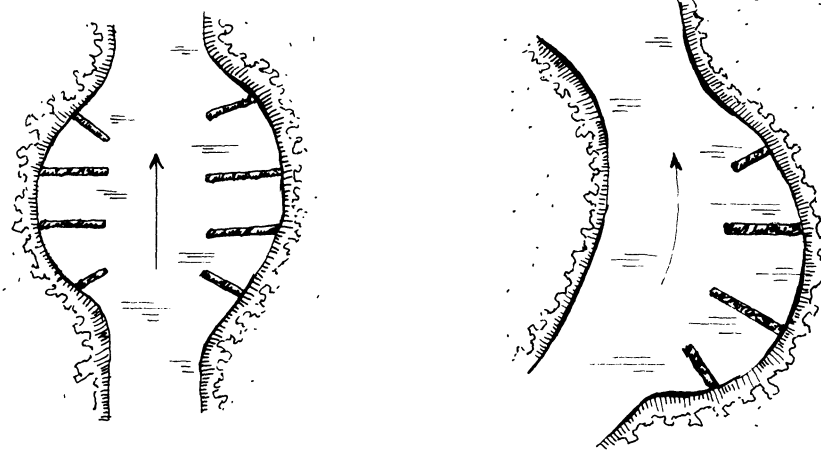
- 1 - Il pennello può essere realizzato anche solo in pietrame, ma la presenza di arbusti di salici oltre ad aumentare il pregio dell'opera dal punto di vista estetico-naturalistico, ne accresce le caratteristiche di staticità.
- 2 - Le talee vengono poste solamente nel lato a valle del pennello, per ovvi motivi di capacità di resistenza delle medesime alla forza della corrente; la presenza degli arbusti consente di rallentare la velocità delle acque e di favorire il deposito dei materiali fini in sospensione.
- 3 - E' consigliato inserire una "corona" di talee di salice attorno all'estremità dell'opera, in quanto la "testa" del pennello è più soggetta alla forza erosiva dell'acqua e costituisce un punto critico della struttura.
- 4 - Questa tipologia di intervento, finalizzata alla protezione di sponde soggette ad erosione, richiede la costruzione di pennelli dimensionati e disposti in modo opportuno, in relazione alla morfologia ed al regime idrico del corso d'acqua. Se si desidera concentrare il flusso della corrente è opportuno posizionare i pennelli in modo contrapposto su ambedue le sponde, mentre se si vuole meandrizzare il corso d'acqua i pennelli dovranno essere posti in modo alternato.
- 5 - Dal punto di vista economico è un metodo molto conveniente rispetto ad altre tipologie di consolidamento di sponde fluviali.
- 6 - E' possibile realizzare pennelli anche senza l'uso di pietrame, attraverso la posa di pali di legno disposti in file singole o doppie ed intrecciando o infiggendo nel fondo verghe, ramaglia e talee di salici; la presenza di una fitta ed elastica barriera di arbusti (sbarramento) determina una positiva riduzione della forza erosiva dell'acqua e crea microambienti preziosi per la fauna ittica.

### PENNELLO IN PIETRAME O IN LEGNAME CON TALEE

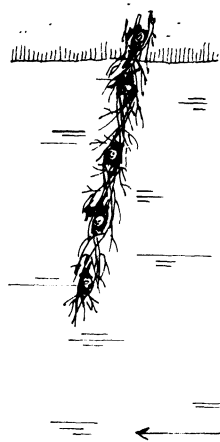
PENNELLO IN  
PIETRAME CON TALEE



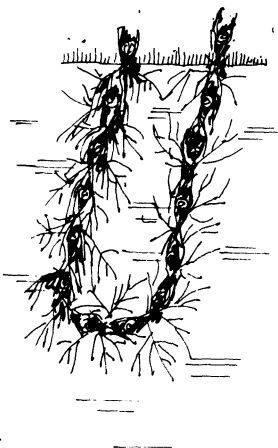
DISPOSIZIONE DEI PENNELLI



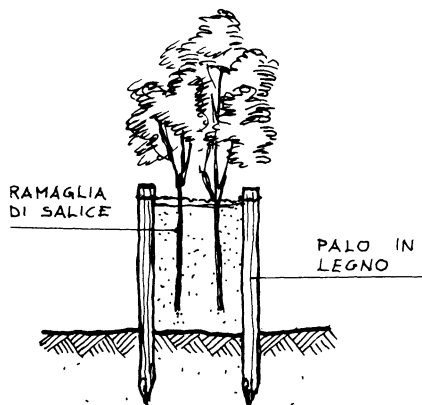
SBARRAMENTO AD  
UNA FILA DI PALI  
- PIANTA -



PENNELLO SINGOLO  
- PIANTA -



SBARRAMENTO A DUE  
FILE DI PALI - SEZIONE



## BRIGLIA IN LEGNAME E PIETrame

### MATERIALI:

- 1 - paleria di larice o di castagno: lunghezza = 2-4 m  
di diametro = 20-40 cm
- 2 - pietrame: pezzatura = 20-30 cm
- 3 - graffe metalliche o chiodi

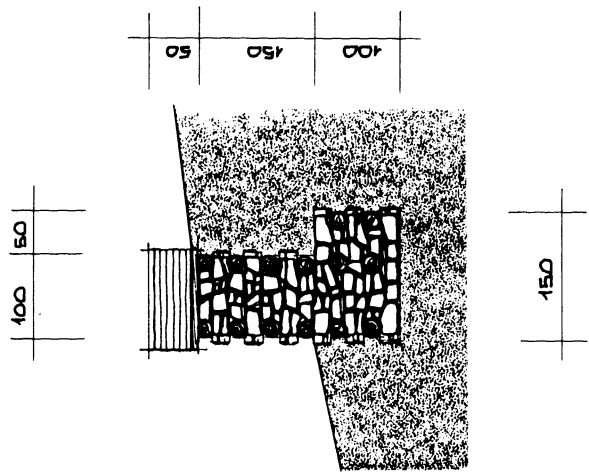
### MODALITA' DI ESECUZIONE:

- 1 - Scavo con mezzo meccanico o a mano.
- 2 - Costruzione di un cassone di contenimento realizzato mediante incastellatura dei pali di legno.
- 3 - Riempimento con materiale lapideo (diametro: 20-30 cm) reperito in loco.

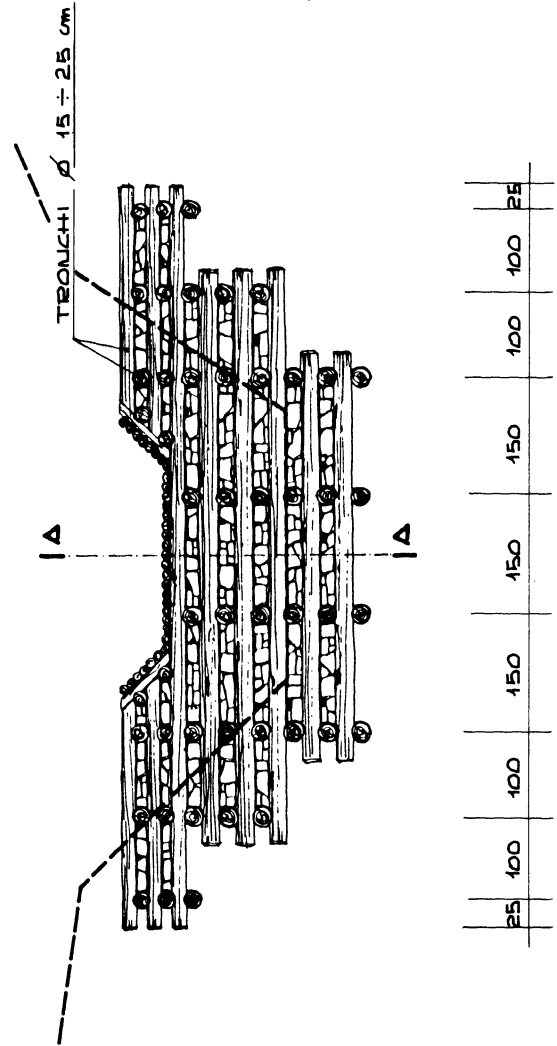
### Note:

- 1 - Al fine di ottenere una maggiore stabilità della struttura si dovranno ricavare idonei incastri nei tronchi, nonché impiegare chiodi o graffe metalliche.
- 2 - E' consigliato realizzare un rivestimento della gaveta con tondelli in legname interi o tagliati a metà e disposti in senso longitudinale.
- 3 - Le ali devono penetrare nelle sponde dell'alveo al fine di evitare un loro eventuale danneggiamento. In alvei con sponde molto scoscese, per un migliore inserimento dell'opera, si può realizzare la gaveta con le ali a "coda di rondine"; in questo caso, non concentrando l'acqua al centro dell'alveo, è necessario provvedere al consolidamento delle sponde con talee o piantine di specie arbustive.
- 4 - Si possono anche realizzare briglie collegate tra loro, ovvero briglie nelle quali i pali di fondazione terminano in corrispondenza della gaveta dell'opera a valle, realizzando così un'unità strutturale a gradinata.
- 5 - Le briglie in legname e pietrame, non avendo un paramento continuo, hanno una notevole capacità drenante, soprattutto nel primo periodo di funzionamento.
- 6 - La durata di queste opere è notevole, soprattutto se il torrente ha una portata continua durante tutto l'anno, infatti il legno di larice sott'acqua può durare anche 30-40 anni.
- 7 - Questa tipologia è indicata soprattutto in quelle zone prive di viabilità, ove vi sia disponibilità di legname e di pietrame e dove il trasporto solido dei torrenti non sia eccessivo sia a livello di quantità che di dimensioni del materiale lapideo.
- 8 - Le briglie in legname e pietrame, come quelle in calcestruzzo, costituiscono un ostacolo insormontabile per la fauna ittica, ma da un punto di vista estetico-paesaggistico hanno un più elevato grado di inserimento nel contesto ambientale circostante.

### BRIGLIA IN LEGNAME E PIETREME

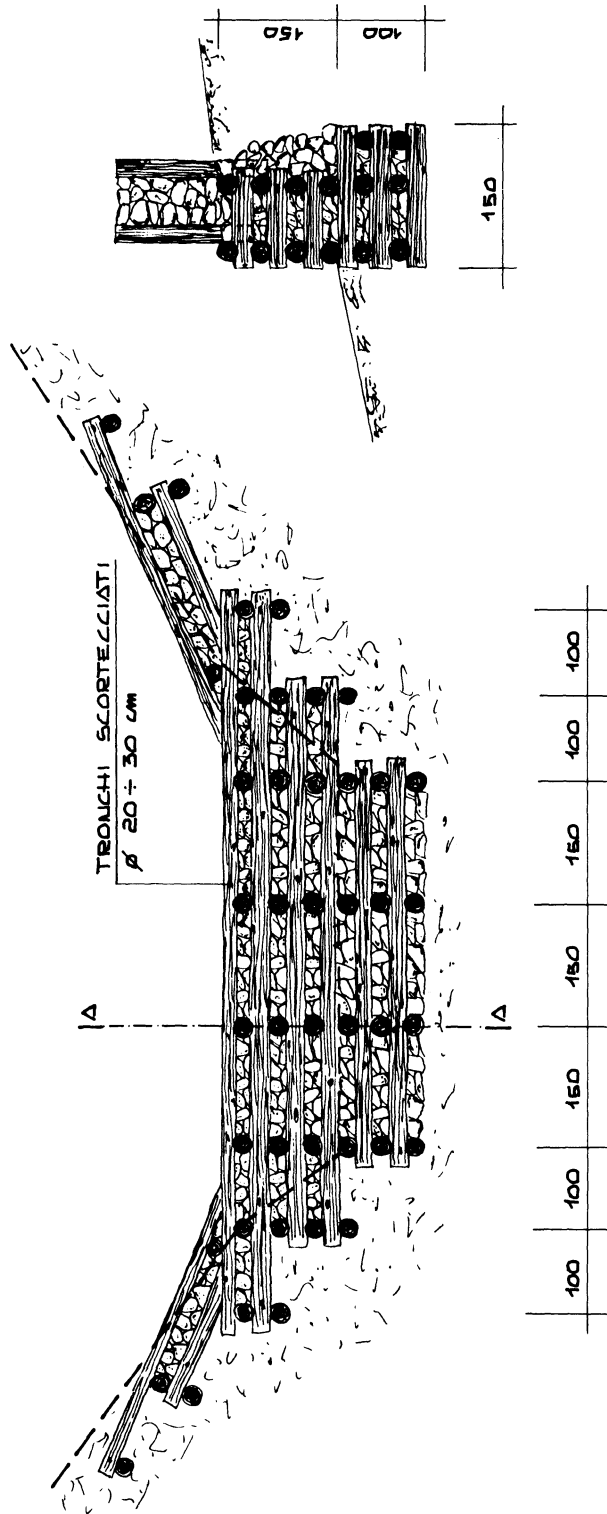


SEZIONE



PROSPETTO

**BRIGLIA IN LEGNAME E PIETRE**

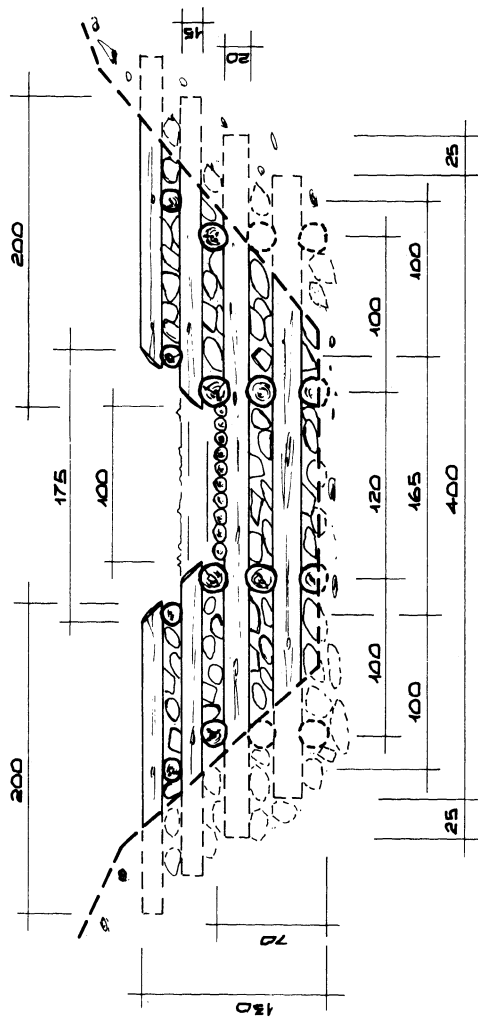


SEZIONE

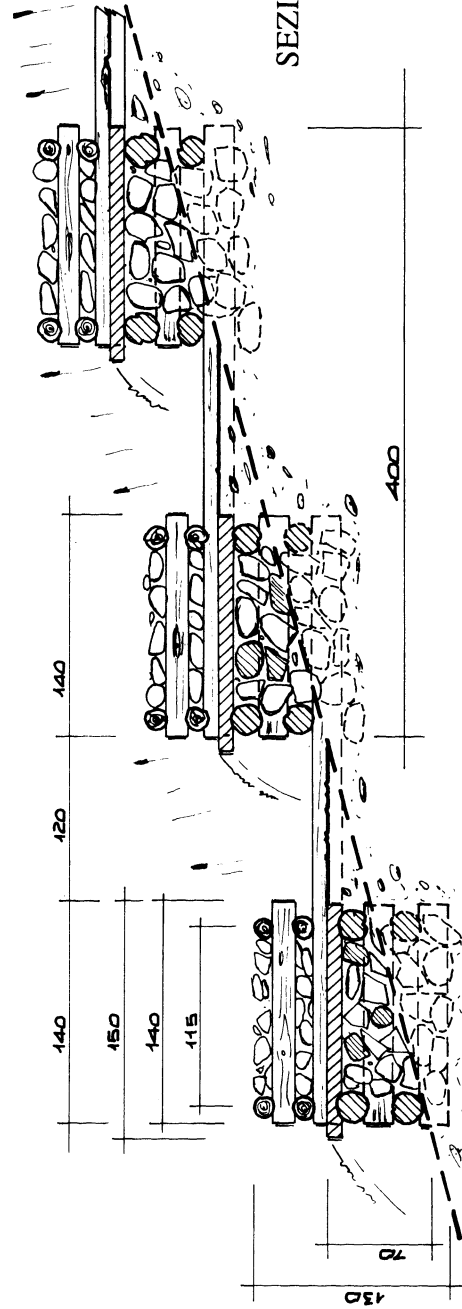
PROSPETTO

**BRIGLIA IN LEGNAME E PIETREME**  
(serie di briglie collegate fra loro)

PROSPETTO



SEZIONE



## SOGLIA IN PIETRAMA

### MATERIALI:

- 1 - pietrame (massi ciclopici): pezzatura = 0,6-1 mc
- 2 - barra di acciaio: lunghezza > 80 cm  
diametro = 20 mm
- 3 - fune di acciaio: diametro = 16 mm
- 4 - morsetto serrafune: diametro = 16-22 mm
- 5 - travi in acciaio tipo "HEB": lunghezza = 2 m  
altezza = 100 mm  
larghezza = 100 mm  
spessore anima = 6 mm  
spessore ala = 10 mm

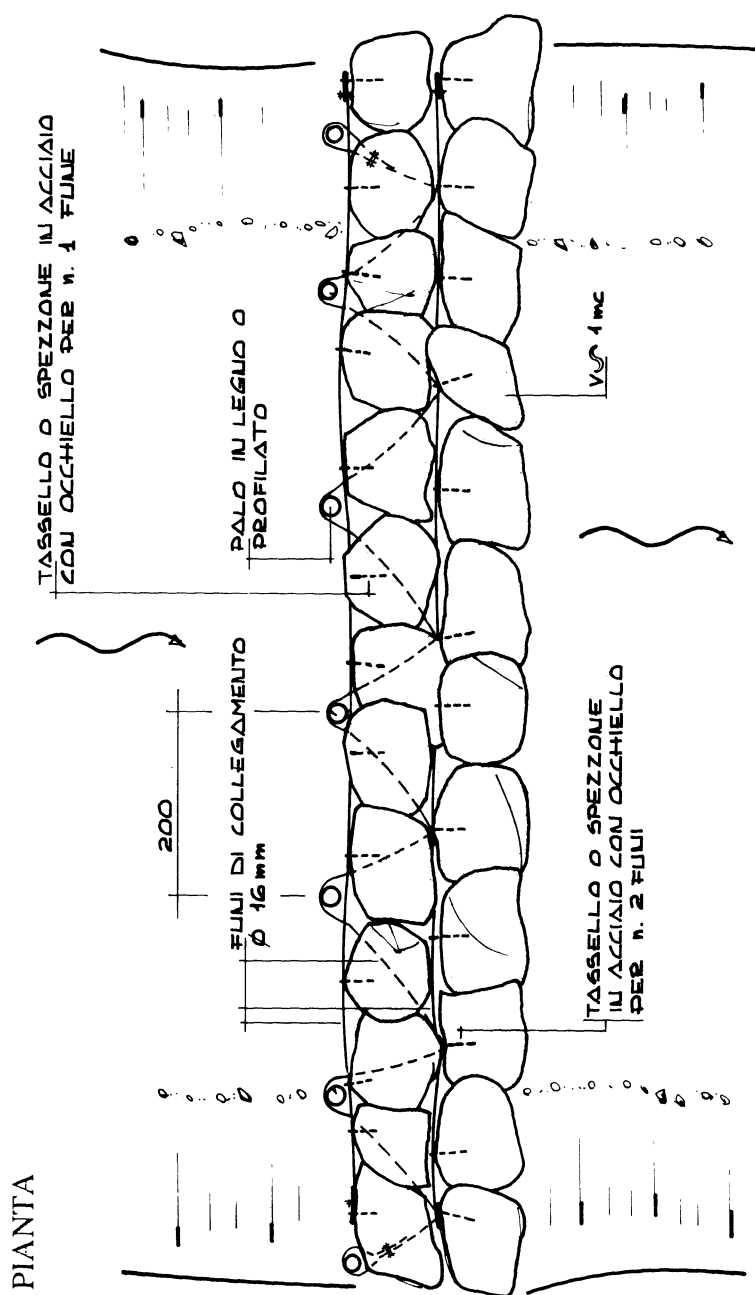
### MODALITA' DI ESECUZIONE:

- 1 - Esecuzione dello scavo di fondazione.
- 2 - Posa dei massi ciclopici su due file, con il medesimo piano di posa. I massi della fila a monte vanno legati tra loro facendo passare una fune di acciaio (diametro: 16 mm) attraverso l'asola di una barra di acciaio (o di un tassello ad espansione) fissata con malta cementizia antiritiro ai singoli massi; quelli della fila di valle vanno legati nello stesso modo e, alternativamente, tramite un'altra fune di acciaio, a delle travi poste a monte della soglia, infisse nell'alveo per una profondità di 1,5-2 m, con un interasse di 2 m ed emergenti dal piano di posa della scogliera, ma non dal letto del corso d'acqua.

### Note:

- 1 - L'ancoraggio del pietrame può essere effettuato anche tramite pali di larice o di castagno infissi nell'alveo del torrente (lunghezza: 2 m, diametro: 20-25 cm).
- 2 - I massi della fila a monte possono anche non essere legati, ma semplicemente appoggiati a quelli della fila di valle.
- 3 - Le travi in acciaio o i pali in legno vanno infissi nell'alveo a pressione, se la granulometria del materiale dell'alveo lo consente; in presenza di grossi massi nel detrito alluvionale si procederà ad un preventivo scavo.
- 4 - Varianti a questa tipologia possono anche essere realizzate collocando 1 o 3 file di massi.

### SOGLIA IN PIETrame



## RAMPA IN PIETRAME (Rampa di risalita per pesci)

### Caratteristiche del corso d'acqua:

Fondo: ghiaioso e sabbioso in erosione

Larghezza:  $b = 5 \text{ m}$

Pendenza:  $i = 2 \text{ ‰}$

Area del bacino:  $A = 129 \text{ km}^2$

Portata:  $Q = 85 \text{ mc/sec}$

### Caratteristiche della rampa:

Altezza:  $h = 0,8 \text{ m}$

Lunghezza:  $l = 12 \text{ m}$

Larghezza:  $b = 5 \text{ m}$

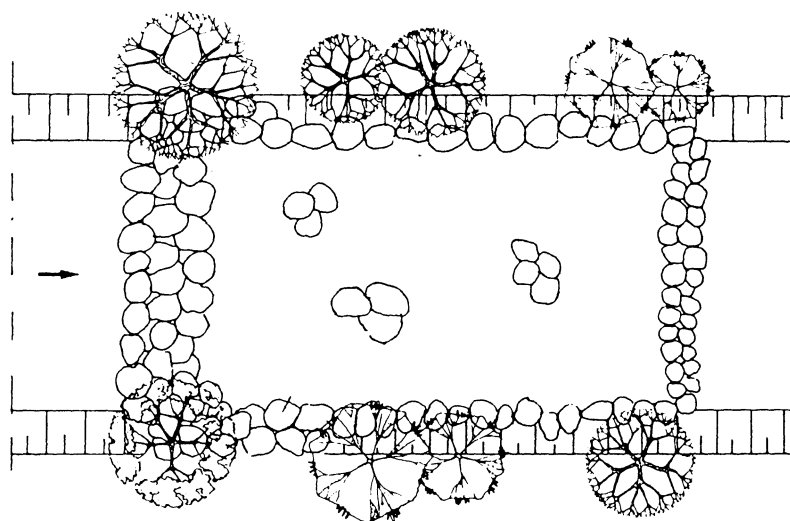
Pendenza:  $i = 1:15$

Pietrame:  $d = 0,4-1 \text{ m}$

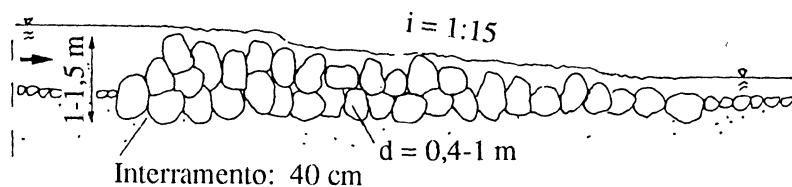
### MODALITA' DI ESECUZIONE:

- 1 - La rampa, realizzata al fine di consolidare il fondo dell'alveo soggetto ad erosione, è formata da pietrame collocato in modo irregolare ed interrato per una profondità di 30-40 cm circa.
- 2 - A valle dell'opera non viene creato un bacino di smorzamento della forza erosiva della corrente, ma una graduale protezione del fondo con pietrame di dimensioni minori.

### PIANTA



### SEZIONE



## RAMPA IN PIETrame

(Rampa di risalita per pesci)

### Caratteristiche del corso d'acqua:

Fondo: ghiaioso e sabbioso  
 Larghezza:  $b = 15 \text{ m}$   
 Pendenza:  $i = 2,2 \text{ ‰}$   
 Area del bacino:  $A = 420 \text{ kmq}$   
 Portata:  $Q = 200 \text{ mc/sec}$

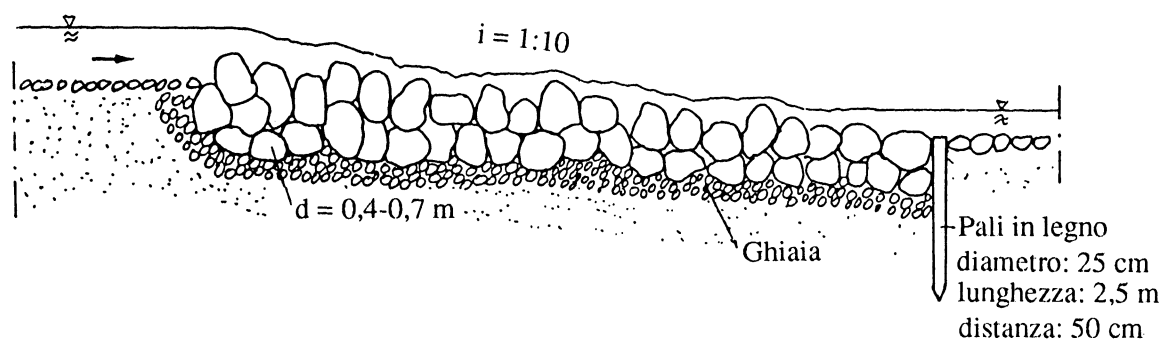
### Caratteristiche della rampa:

Altezza:  $h = 0,5-0,7 \text{ m}$   
 Lunghezza:  $l = 5-7 \text{ m}$   
 Larghezza:  $b = 15 \text{ m}$   
 Pendenza:  $i = 1:10$   
 Pietrame:  $d = 0,4-0,7 \text{ m}$

### MODALITA' DI ESECUZIONE:

- 1 - Il corpo della rampa, realizzata al fine di consolidare il fondo dell'alveo soggetto ad erosione, è formato da strati di pietrame, collocati in modo irregolare e posti su di un letto di ghiaia e di pietrisco.
- 2 - A valle dell'opera viene posta una fila di pali (diametro: 25 cm) infissi per una profondità di 2,5 m e ad una distanza di 50 cm.
- 3 - A causa dello stramazzo rigurgitato che si viene a creare in caso di piena, il carico sul pietrame risulta essere modesto (tale opera ha resistito a portate specifiche di 13 mc/msec).

### SEZIONE



## RAMPA IN PIETrame

(Rampa di risalita per pesci)

### Caratteristiche del corso d'acqua:

Profilo: a doppio trapezio

Fondo: ghiaioso e sabbioso

Larghezza:  $b = 25 \text{ m}$

Pendenza:  $i = 2 \text{ ‰}$

Area del bacino:  $A = 652 \text{ kmq}$

Portata:  $Q = 492 \text{ mc/sec}$

### Caratteristiche della rampa:

Altezza:  $h = 0,8 \text{ m}$

Lunghezza:  $l = 8 \text{ m}$

Larghezza:  $b = 35 \text{ m}$

Pendenza:  $i = 1:10$

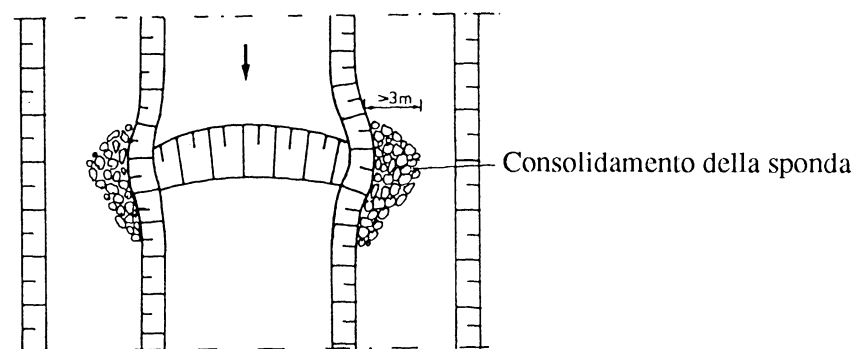
Raggio curvatura ( $r = 5/4 b$ ) =  $43,5 \text{ m}$

Pietrame:  $d = 1,2 \text{ m}$

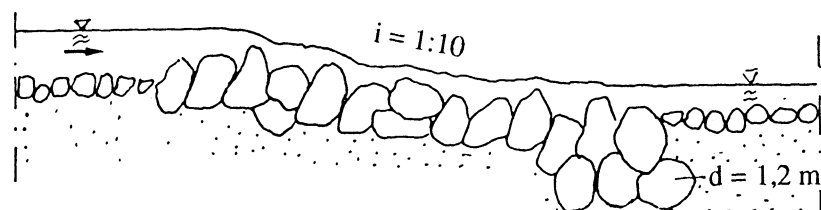
### MODALITA' DI ESECUZIONE:

- 1 - La rampa è stata realizzata al fine di consolidare il fondo dell'alveo soggetto ad erosione e per sostituire delle soglie in legname e calcestruzzo ormai deteriorate; la struttura è costituita da pietrame collocato in modo da formare un arco avente la funzione di deviare la corrente al centro dell'alveo.
- 2 - Nel punto di inserzione tra la rampa e la sponda si deve creare un allargamento dell'alveo medesimo e consolidarlo con pietrame.
- 3 - Il piede della struttura deve essere rinforzato e, a tal fine, è consigliato collocare un doppio strato di pietrame interrato per una profondità media di 1,5-2 m.

### PIANTA



### SEZIONE



Doppio strato di pietrame  
altezza: 1,5-2 m

## RAMPA IN PIETRAME (Rampa di risalita per pesci)

### Caratteristiche del corso d'acqua:

Fondo: ghiaioso e sassoso  
 Larghezza:  $b = 30$  m  
 Pendenza:  $i = 7,5$  ‰  
 Area del bacino:  $A = 92$  kmq  
 Portata:  $Q = 140$  mc/sec

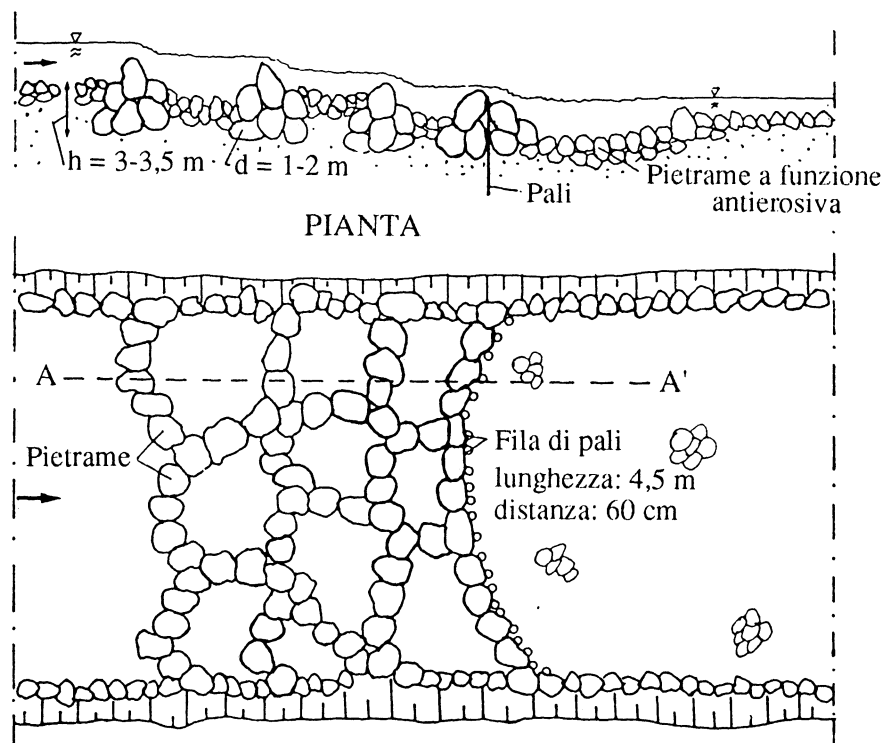
### Caratteristiche della rampa:

Altezza:  $h = 1,5$  m  
 Lunghezza:  $l = 30$  m  
 Larghezza:  $b = 30$  m  
 Pendenza:  $i = 1:15 - 1:20$   
 Pietrame:  $d = 1-2$  m

### MODALITA' DI ESECUZIONE:

- 1 - La rampa, realizzata al fine di sostituire delle soglie in legname ormai deteriorate, non è costituita da un corpo unico, ma da una serie di traverse in pietrame profondamente legate al fondo (3-3,5 m) che costituiscono una struttura reticolare molto interessante anche dal punto di vista ecologico, in quanto in essa si vengono a creare dei microambienti diversificati tra loro.
- 2 - Il piede della struttura viene rinforzato con un fila di pali profondamente infissi nel fondo dell'alveo (4,5 m).
- 3 - Un'ulteriore protezione dall'erosione è costituita dalla posa di pietrame di dimensioni minori sul fondo dell'alveo a valle dei pali e tra le traverse.

SEZIONE A - A'



## RAMPA IN PIETrame

(Rampa di risalita per pesci)

### Caratteristiche del corso d'acqua:

Fondo: ghiaioso e sabbioso  
Larghezza:  $b = 20-25$  m  
Pendenza:  $i = 1,25$  ‰  
Area del bacino:  $A = 2150$  kmq  
Portata:  $Q = 360$  mc/sec

### Caratteristiche della rampa:

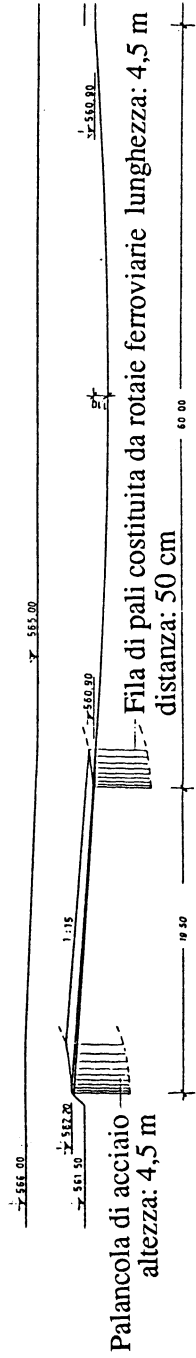
Altezza:  $h = 1,3$  m  
Lunghezza:  $l = 19,5$  m  
Larghezza:  $b = 28-36$  m  
Pendenza:  $i = 1:15$   
Pietrame:  $d = 1,2$  m

### MODALITA' DI ESECUZIONE:

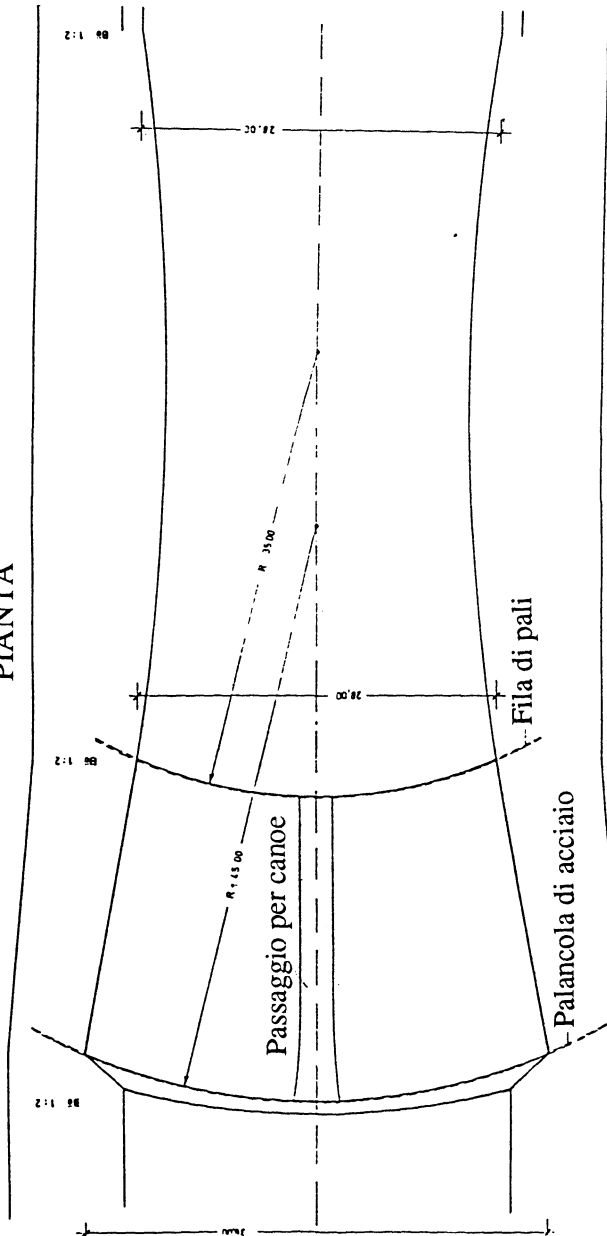
- 1 - La rampa è costituita da un corpo unico, ad arco, realizzato con pietrame collocato in modo regolare su di un letto filtrante di pietrisco.
- 2 - A monte della struttura viene collocata una palancolata di acciaio, mentre a valle vengono posti dei pali conficcati nel fondo dell'alveo.
- 3 - A valle è prevista la realizzazione di una buca (profondità: 1,1 m) sul cui fondo viene collocato del pietrame di dimensioni minori a fini antiersivi.
- 4 - Lungo l'asse centrale della rampa può essere realizzato uno scivolo con il fondo lastricato per consentire il passaggio alle canoe.
- 5 - Durante i periodi di magra, il deflusso si concentra nella parte centrale ed assume una velocità superiore ai 3 m/sec; pur non costituendo un problema per il passaggio delle canoe, esso rappresenta un ostacolo per la risalita della fauna ittica, mentre, nel caso di portate maggiori, ai lati della rampa si viene a creare un sistema lacunoso più favorevole con un deflusso idrico a corrente lenta ( $v = 1$  m/sec).

**RAMPA IN PIETREME**  
(Rampa di risalita per pesci)

SEZIONE



PIANTA



## RAMPA IN PIETrame

### (Rampa di risalita per pesci)

#### Caratteristiche della rampa:

Altezza coronamento:  $z = (y_n + v_n^2/2g) - (y_{gr} + v_{gr}^2/2g)$

con:  $y_n, v_n$  = profondità e velocità dell'acqua a monte

$y_{gr}, v_{gr}$  = profondità e velocità limite dell'acqua sopra il coronamento

$g$  = accelerazione di gravità ( $m/sec^2$ )

Altezza rampa:  $h$

Pendenza:  $i < 1:10$

Lunghezza:  $l_1 = (h+t) / i$

Dimensione pietrame:  $d$

Spessore strato pietrame:  $s > (1,5 - 2) d$

Spessore strato filtrante:  $s = 10-20$  cm (ghiaia)

$s = 5-10$  cm (sabbia)

Dimensioni inerti strato filtrante:  $d_{15}$  (strato superiore)  $< 5 d_{85}$  (strato sottostante)

$d_{50}$  (strato superiore) =  $c d_{50}$  (strato sottostante)

con:  $c = 5 - 10$  per inerti rotondi

$c = 10-30$  per inerti spigolosi

Profondità buca a valle:  $t = (1/3-1/2) h$

Lunghezza tratto di passaggio a valle:  $l_2 = (7-10) h$

Dimensioni pietrame a valle:  $d_{65} > 0,04 v_m^2$

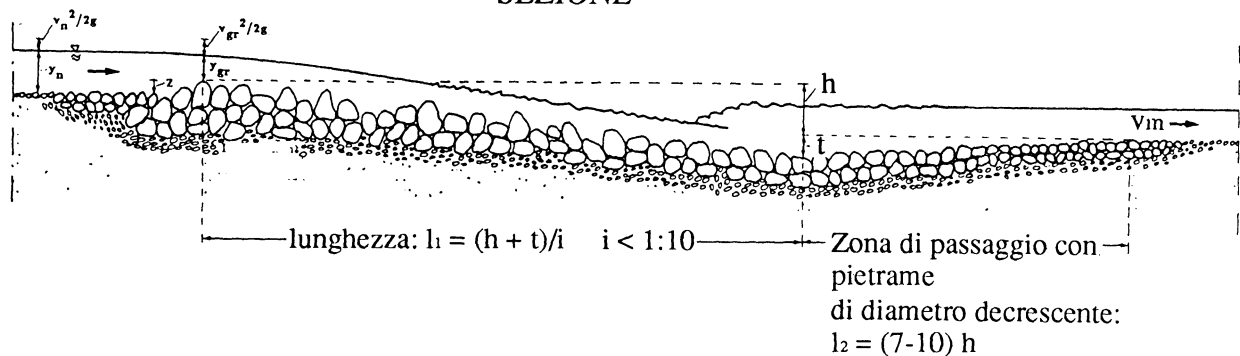
con:  $v_m$  ricavata dalla curva di deflusso

Pendenza sponda:  $i = 1:1,5 - 1:2$

#### MODALITA' DI ESECUZIONE:

- 1 - Il pietrame viene collocato su di un letto filtrante di pietrisco.
- 2 - A valle della struttura, qualora il fondo dell'alveo fosse costituito da materiale facilmente erodibile, è opportuno prevedere la posa di pietrame di varie dimensioni.
- 3 - Il piede della rampa può essere ulteriormente consolidato attraverso la posa di massi ciclopici.

#### SEZIONE



## RAMPA IN PIETrame

(Rampa di risalita per pesci)

### Caratteristiche del corso d'acqua:

Profilo: a doppio trapezio  
 Fondo: ghiaioso e sassoso  
 Larghezza:  $b = 40 \text{ m}$   
 Pendenza:  $i = 4,5 \text{ ‰}$   
 Area del bacino:  $A = 789 \text{ km}^2$   
 Portata:  $Q = 500 \text{ mc/sec}$

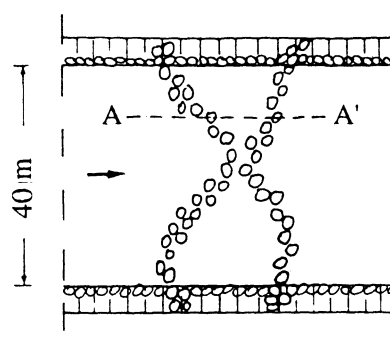
### Caratteristiche della rampa:

Altezza:  $h = 0,50 \text{ m}$   
 Lunghezza:  $l = 20 \text{ m}$   
 Larghezza:  $b = 40 \text{ m}$   
 Pendenza:  $i = 1:40$   
 Pietrame:  $d = 0,6-1,5 \text{ m}$

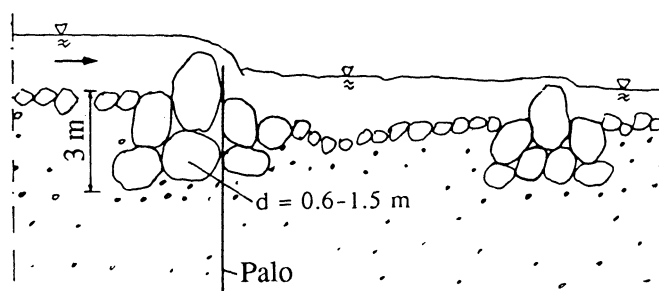
### MODALITA' DI ESECUZIONE:

- 1 - La soglia, realizzata al fine di sostituire quella in calcestruzzo già esistente, è formata da due file di pietrame disposte in modo da formare due archi contrapposti.
- 2 - La profondità di interramento del pietrame è di 3 m circa.
- 3 - Per un ulteriore consolidamento della struttura, nella parte a monte possono essere infissi dei pali di acciaio (ad esempio: rotaie ferroviarie) ad una distanza di 60 cm e ad una profondità 4,5-5 m.
- 4 - Il fondo dell'alveo tra le due file di massi va consolidato con pietrame di dimensioni minori.

PIANTA



SEZIONE A - A'



## RAMPA IN PIETRAMME (Rampa di risalita in pietrame)

### Caratteristiche del corso d'acqua:

Fondo: ghiaioso e sassoso  
 Larghezza:  $b = 10 \text{ m}$   
 Pendenza:  $i = 4 \text{ ‰}$   
 Area del bacino:  $A = 155 \text{ km}^2$   
 Portata:  $Q = 147 \text{ mc/sec}$

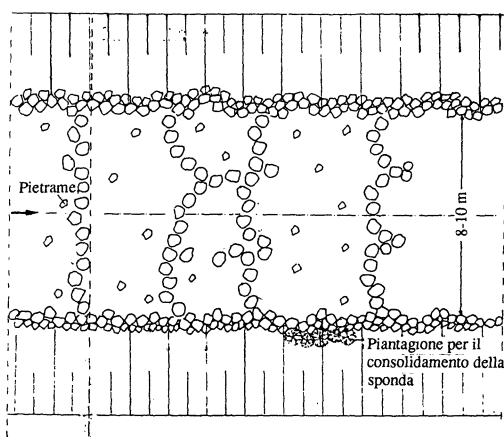
### Caratteristiche della rampa:

Altezza:  $h = 1 \text{ m}$   
 Lunghezza:  $l = 20 \text{ m}$   
 Larghezza:  $b = 10 \text{ m}$   
 Pendenza:  $i = 1:20$   
 Pietrame:  $d = 0,8-1,2 \text{ m}$

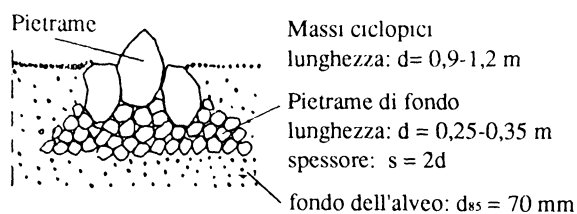
### MODALITA' DI ESECUZIONE:

- 1 - La rampa, realizzata al fine di sostituire una soglia in calcestruzzo già esistente, non è costituita da un corpo unico, ma da una serie di traverse (n. 4) in pietrame profondamente interrate nel fondo dell'alveo, creando così una struttura reticolare diversificata da un punto di vista morfologico e fluido-dinamico (depositi di ghiaia, buche, zone a corrente lenta, ecc.).
- 2 - Ogni traversa è costituita da tre file trasversali di massi ciclopici; il pietrame posto centralmente alla struttura è sporgente rispetto alle due file laterali più interrate ed è efficace dal punto di vista idraulico.
- 3 - La base di appoggio del pietrame deve essere di natura filtrante (ad esempio: pietrisco).
- 4 - La vecchia soglia in calcestruzzo viene abbassata di 40-50 cm e ricoperta dai massi, assolvendo così ad una funzione stabilizzatrice della rampa stessa.

### PIANTA



### PARTICOLARE DELLA RAMPA



### SEZIONE

## RAMPA IN PIETRAME (Rampa di risalita per pesci)

### Caratteristiche del corso d'acqua:

Fondo: ghiaioso e sabbioso  
 Larghezza:  $b = 10 \text{ m}$   
 Pendenza:  $i = 8-10 \text{ ‰}$   
 Area del bacino:  $A = 111 \text{ kmq}$   
 Portata:  $Q = 115 \text{ mc/sec}$

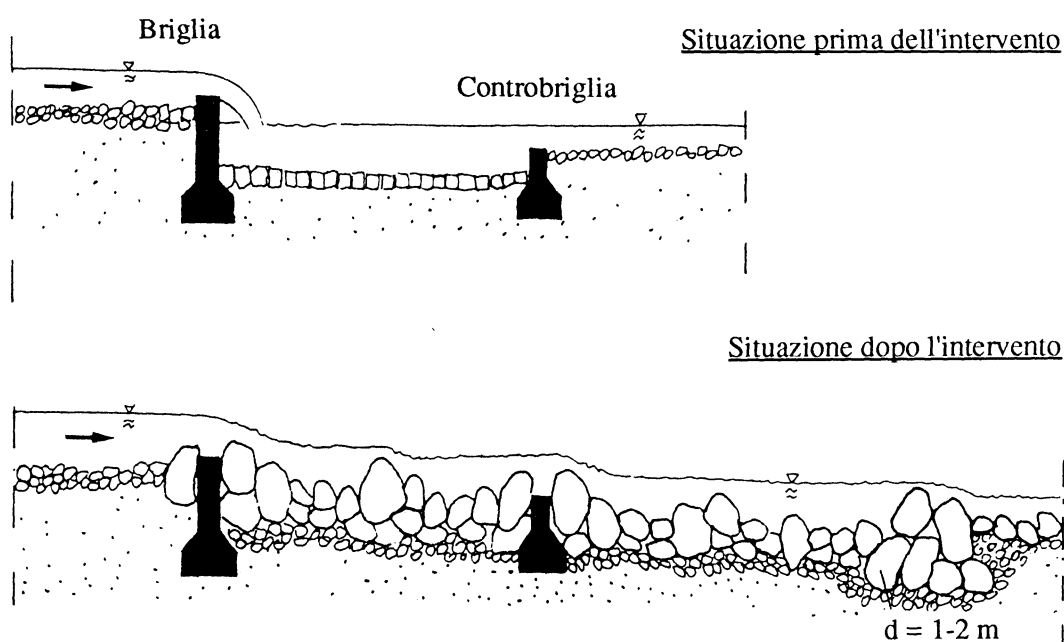
### Caratteristiche della rampa:

Altezza briglia:  $h_2 = 1,5 \text{ m}$   
 Altezza rampa:  $h = 1,5 \text{ m}$   
 Lunghezza:  $l = 25 \text{ m}$   
 Larghezza:  $b = 10 \text{ m}$   
 Pendenza:  $i = 1:15 - 1:20$   
 Pietrame:  $d = 1-2 \text{ m}$

### MODALITA' DI ESECUZIONE:

- 1 - La rampa è stata realizzata, al fine di trasformare una preesistente briglia in calcestruzzo, posando del pietrame a valle della briglia medesima, il cui coronamento è stato reso meno regolare; in questo modo la briglia e la relativa soglia posta a valle costituiscono lo scheletro della rampa e ne aumentano, nel contempo, la stabilità.
- 2 - A valle della soglia in calcestruzzo ne viene realizzata una terza in pietrame, interrata per 2,5 m.
- 3 - Per diversificare ulteriormente l'ambiente, tra le tre soglie viene collocato altro pietrame di diverse dimensioni; oltre ad essere funzionale, la struttura assume così un aspetto di naturalità che risulta essere molto gradevole dal punto di vista estetico-paesaggistico.

### SEZIONE



## RAMPA IN PIETRAMME (Rampa di risalita per pesci)

### Caratteristiche del corso d'acqua:

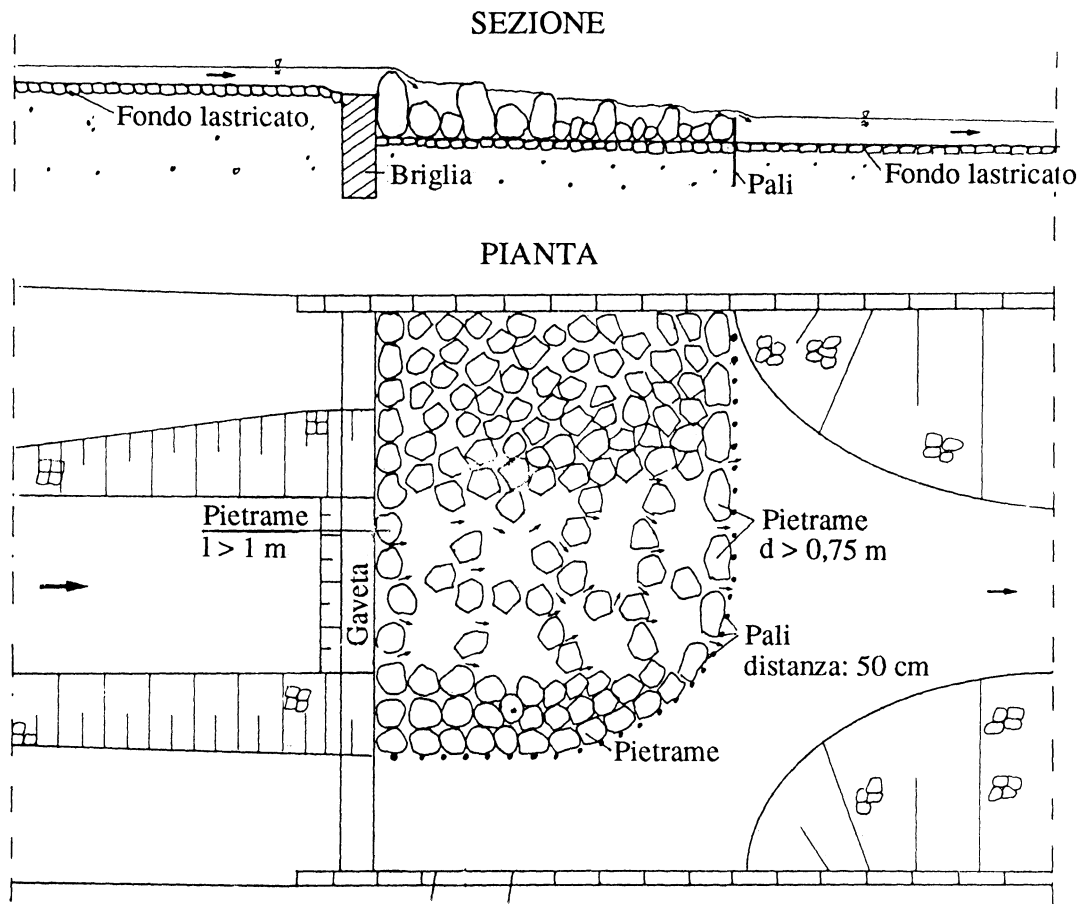
Fondo: lastricato  
 Larghezza:  $b = 3,5 \text{ m}$   
 Pendenza:  $i = 1,5 \text{ ‰}$   
 Area del bacino:  $A = 204 \text{ kmq}$   
 Portata:  $Q = 58 \text{ mc/sec}$

### Caratteristiche della rampa:

Altezza:  $h = 0,8 \text{ m}$   
 Lunghezza:  $l = 8 \text{ m}$   
 Larghezza:  $b = 10 \text{ m}$   
 Pendenza:  $i = 1:10$   
 Pietrame:  $d = 0,8 \text{ m}$

### MODALITA' DI ESECUZIONE:

- 1 - La briglia in calcestruzzo viene mantenuta, ma a valle di essa viene realizzata la rampa in pietrame. Per poter fissare il pietrame, considerato che il fondo dell'alveo a valle della briglia era stato in precedenza lastricato, si è reso necessario conficcare, per una profondità di 1 m, dei tondini di acciaio per armature (diametro: 34 mm, lunghezza: 1,5 m); la distanza tra i tondini deve essere inferiore ai 2/3 delle dimensioni del pietrame.
- 2 - Per maggiore sicurezza si possono legare i massi con funi di acciaio.
- 3 - Al fine di aumentare il grado di continuità morfologica e fluido-dinamica della rampa, qualora anche il fondo a monte della briglia fosse lastricato, è consigliato ripristinare quello naturale.



## RAMPA IN PIETRAME (Passaggio per pesci)

### Caratteristiche della rampa:

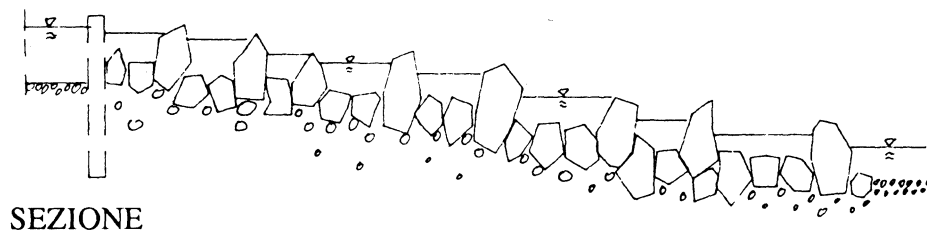
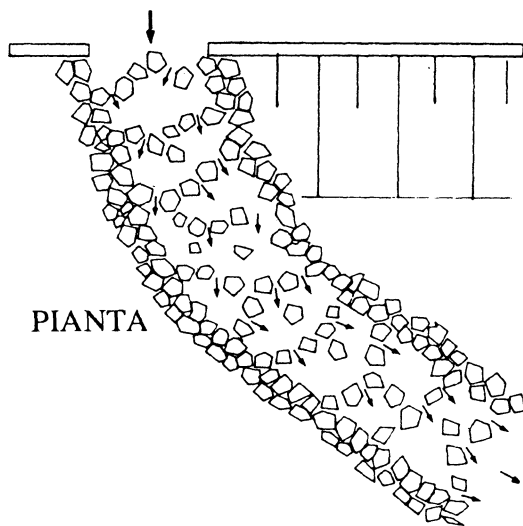
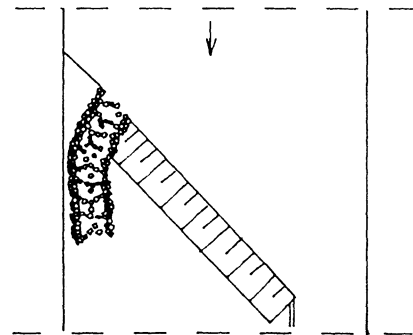
Larghezza:  $b = 1,5 \text{ m}$

Pendenza:  $i < 1:10$  (nella parte a monte è consigliata una pendenza minore)

Pietrame:  $d = 0,6-1 \text{ m}$

Portata specifica:  $q = 70-100 \text{ l/msec}$

PLANIMETRIA



## RAMPA IN PIETRAMI (Passaggio per pesci)

**Caratteristiche della rampa:**

Altezza:	$h = 2 \text{ m}$
Lunghezza:	$l = 20 \text{ m}$
Larghezza :	$b = 5 \text{ m}$ (larghezza deflusso idrico: $b = 2-3 \text{ m}$ )
Pendenza:	$i = 1:10$
Pietrame:	$d = 0,4-0,8 \text{ m}$
Largh. varco coronamento:	$b = 1,1 \text{ m}$
Prof. varco coronamento:	$t_1 = 0,4 \text{ m}$
Portata:	$Q = 210 \text{ l/sec}$
Velocità deflusso idrico:	$V_{\max} = 0,9 \text{ m/sec}$ (zone di calma) $V_{\max} = 1,7 \text{ m/sec}$ (zone di rapida)

**Caratteristiche della rampa:**

Altezza:	$h = 1,3 \text{ m}$
Lunghezza:	$l = 12 \text{ m}$
Larghezza:	$b = 2,5 \text{ m}$
Pendenza:	$i = 1:9$
Pietrame:	$d = 0,6-1,2 \text{ m}$
Profondità bacini:	$y = 0,5 \text{ m}$
Portata:	$Q = 200 \text{ l/sec}$

**Caratteristiche della rampa (a bacini successivi):**

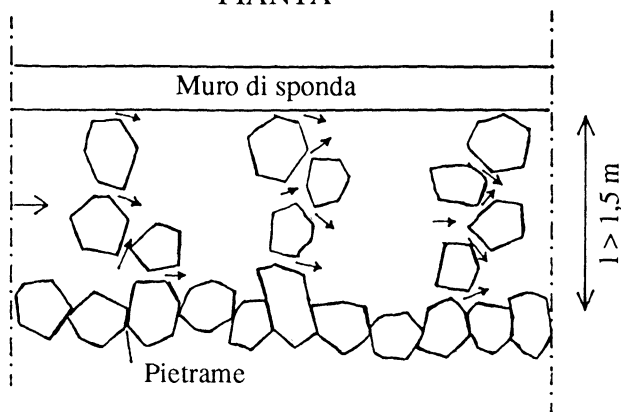
Altezza:	$h = 3,6 \text{ m}$
Lunghezza:	$l = 32 \text{ m}$
Larghezza :	$b = 1,9 \text{ m}$
Pendenza:	$i = 1:9$
Pietrame:	$d = 0,4-1 \text{ m}$
Profondità bacini:	$y = 0,6-0,8 \text{ m}$
Dislivello tra bacini:	$h_3 = 0,2 \text{ m}$
Distanza tra le traverse:	$a = 1,5-3 \text{ m}$
Portata:	$Q = 340 \text{ l/sec}$

## RAMPA IN PIETRAMME (Passaggio per pesci)

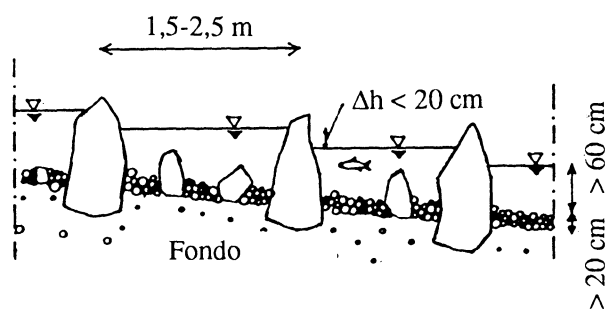
**Caratteristiche della rampa (a bacini successivi):**

Larghezza:	$b = 1,5 \text{ m}$
Pendenza:	$i < 1:10$
Pietrame:	$d = 1,2 \text{ m}$ (lato maggiore)
Profondità bacini:	$y = 0,6 \text{ m}$
Dislivello tra bacini:	$h_b = 0,2 \text{ m}$
Distanza tra le traverse:	$a = 1,5-2,5 \text{ m}$
Portata specifica:	$q = 150 \text{ l/msec}$

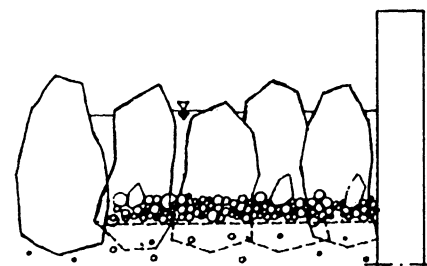
PIANTA



SEZIONE



PROSPETTO

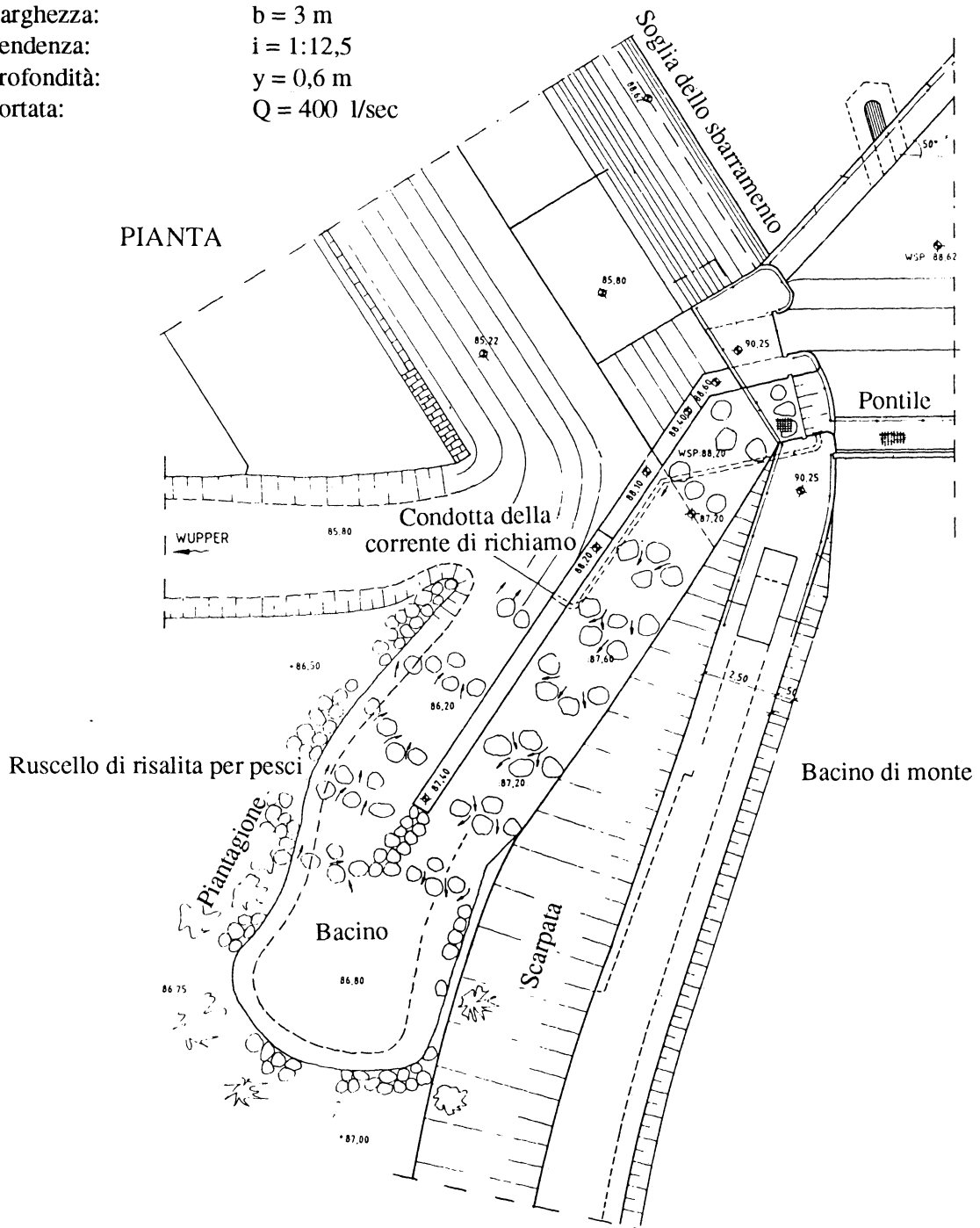


## RAMPA IN PIETREME (Passaggio per pesci)

**Caratteristiche del rampa (a bacini successivi):**

Altezza:	$h = 2,8 \text{ m}$
Lunghezza:	$l = 35 \text{ m}$ (oltre al tratto di bacino centrale)
Larghezza:	$b = 3 \text{ m}$
Pendenza:	$i = 1:12,5$
Profondità:	$y = 0,6 \text{ m}$
Portata:	$Q = 400 \text{ l/sec}$

PIANTA



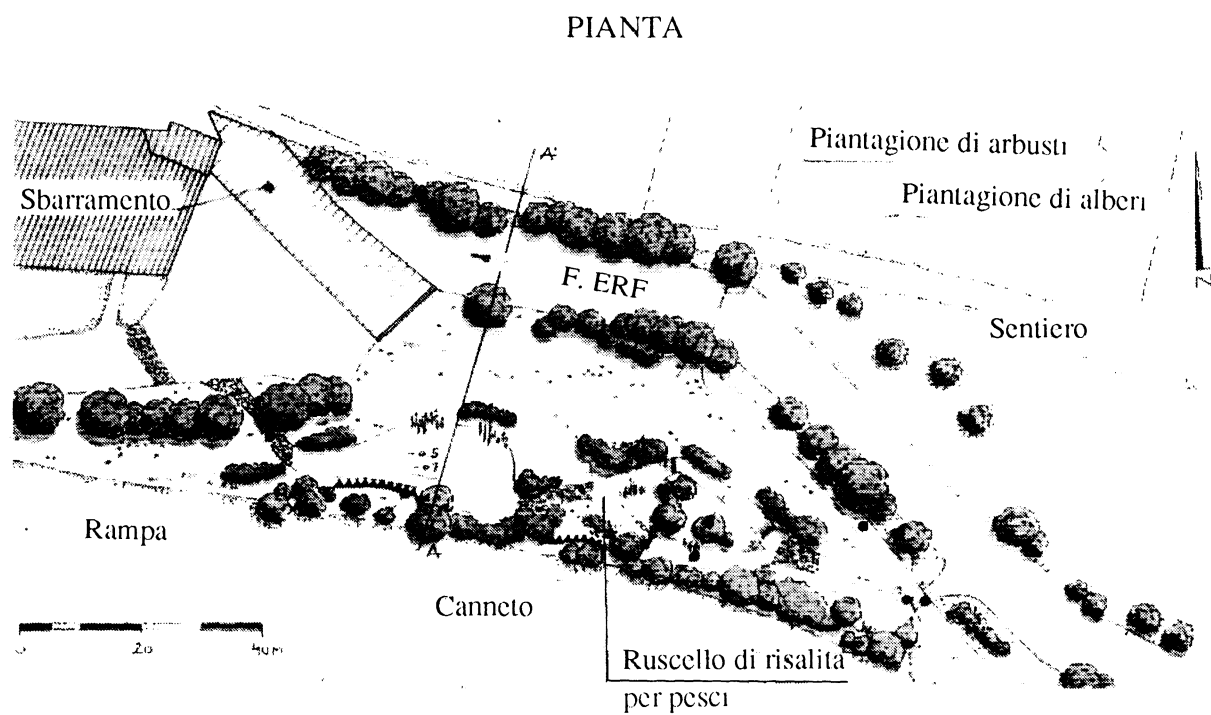
**MODALITA' DI ESECUZIONE:**

- 1 - La rampa, che viene inserita in una briglia in calcestruzzo preesistente, va realizzata preferibilmente a lato del corpo della briglia medesima per motivi funzionali (la fauna ittica individua più facilmente la scala di risalita), economici (in presenza di un muro laterale di sponda si può utilizzarlo come supporto della rampa medesima) e paesaggistici (migliore inserimento estetico).
- 2 - Si collocano i massi a gruppi al fine di creare diversi piccoli bacini (diametro: 1,5 m, profondità > 50 cm) a vari livelli in modo da consentire a tutta la fauna ittica di risalire l'ostacolo. E' da evitare la formazione di uno stramazzone libero staccato dalla struttura.
- 3 - La pendenza della rampa non dovrebbe mai superare il valore di  $i = 1:10$  ed il dislivello tra due bacini contigui (zone a corrente calma) non dovrebbe essere maggiore di 20-25 cm. Pertanto, il numero di traverse in pietrame da realizzare è in funzione di questi parametri e, ovviamente, del dislivello complessivo della briglia esistente; in generale, le traverse vengono poste a 1,5-2,5 m di distanza l'una dall'altra, mentre, se il dislivello complessivo da superare è maggiore di 3 m, si dovrà creare un ulteriore bacino intermedio di 4 m di larghezza minima (ogni dislivello aggiuntivo di 2 m determina la necessità di realizzare dei bacini intermedi).
- 4 - Il pietrame, qualora il fondo dell'alveo a valle della briglia fosse lastricato, va consolidato attraverso un ancoraggio a dei tondini di acciaio (diametro: 24 mm) infissi nel fondo. E' consigliata la posa di uno strato di pietrisco e di ghiaia (spessore: 20-30 cm) all'interno dei bacini per consentire la formazione di microambienti adatti alla fauna ittica in generale e bentonica in particolare. Se possibile, è preferibile non utilizzare il calcestruzzo per fissare i massi sul fondo.
- 5 - In fase di progettazione e di valutazione economica della rampa va tenuto presente che, molto probabilmente, sarà necessario un successivo intervento per rimodellare la struttura dopo un certo periodo di assestamento, al fine di ottimizzarne la funzionalità.

## RAMPA IN PIETRAME (Ruscello di risalita per pesci)

### Caratteristiche del ruscello:

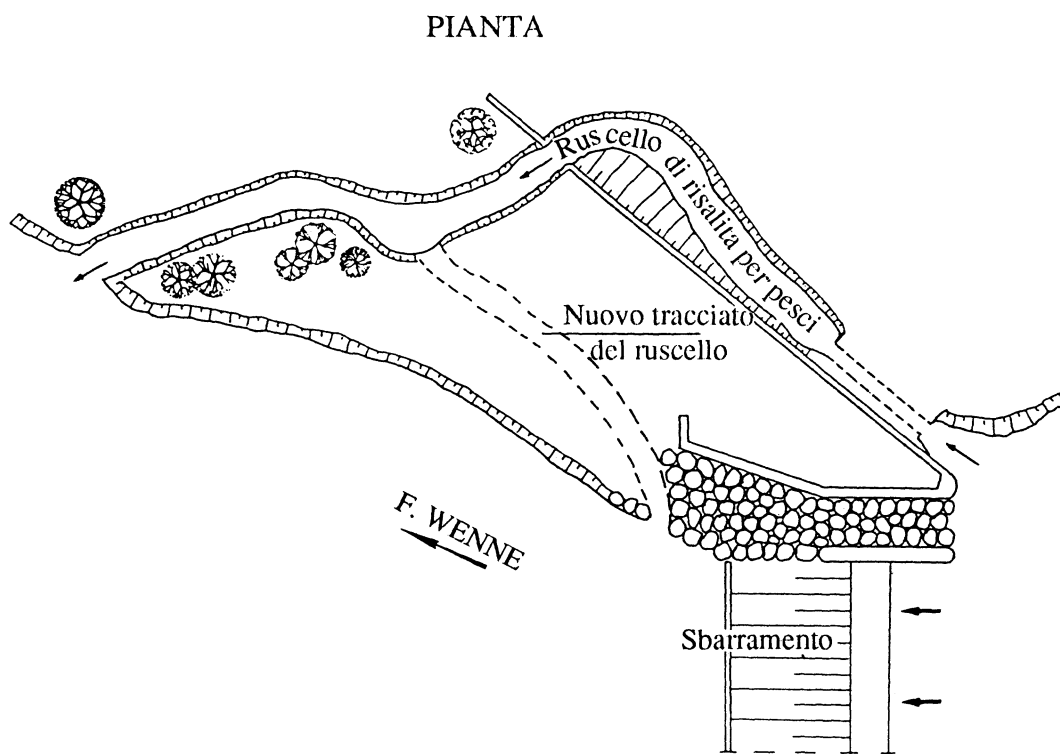
Altezza:	$h = 1,3 \text{ m}$
Lunghezza:	$l = 130 \text{ m}$
Larghezza:	$b = 0,5-1 \text{ m}$
Pendenza:	$i = 1:100$
Profondità:	$y = 0,4 \text{ m}$
Portata:	$Q = 40-50 \text{ l/sec}$



## RAMPA IN PIETrame (Ruscello di risalita per pesci)

### Caratteristiche del ruscello:

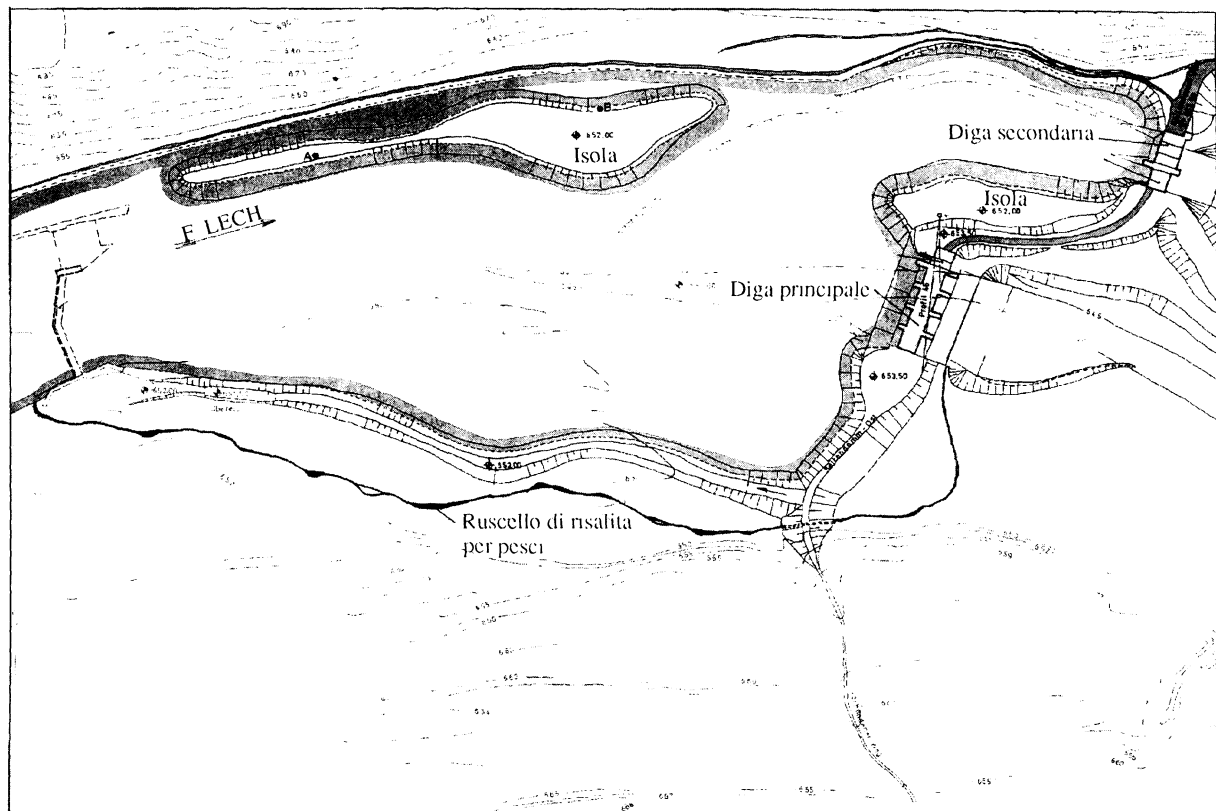
Altezza:	$h = 2,6 \text{ m}$
Lunghezza:	$l = 70 \text{ m}$
Larghezza:	$b = 2-3 \text{ m}$
Pendenza:	$i = 1:27$
Profondità:	$y = 0,2-0,5 \text{ m}$
Portata:	$Q = 200-300 \text{ l/sec}$



## RAMPA IN PIETRAMME (Ruscello di risalita per pesci)

### Caratteristiche del ruscello:

Altezza:	$h = 8 \text{ m}$
Lunghezza:	$l = 800 \text{ m}$
Larghezza:	$b = 2-4 \text{ m}$
Pendenza:	$i = 1:100$ ( $i = 1:20$ parte inferiore)
Profondità:	$y = 0,2-0,6 \text{ m}$
Portata:	$Q = 500 \text{ l/sec}$

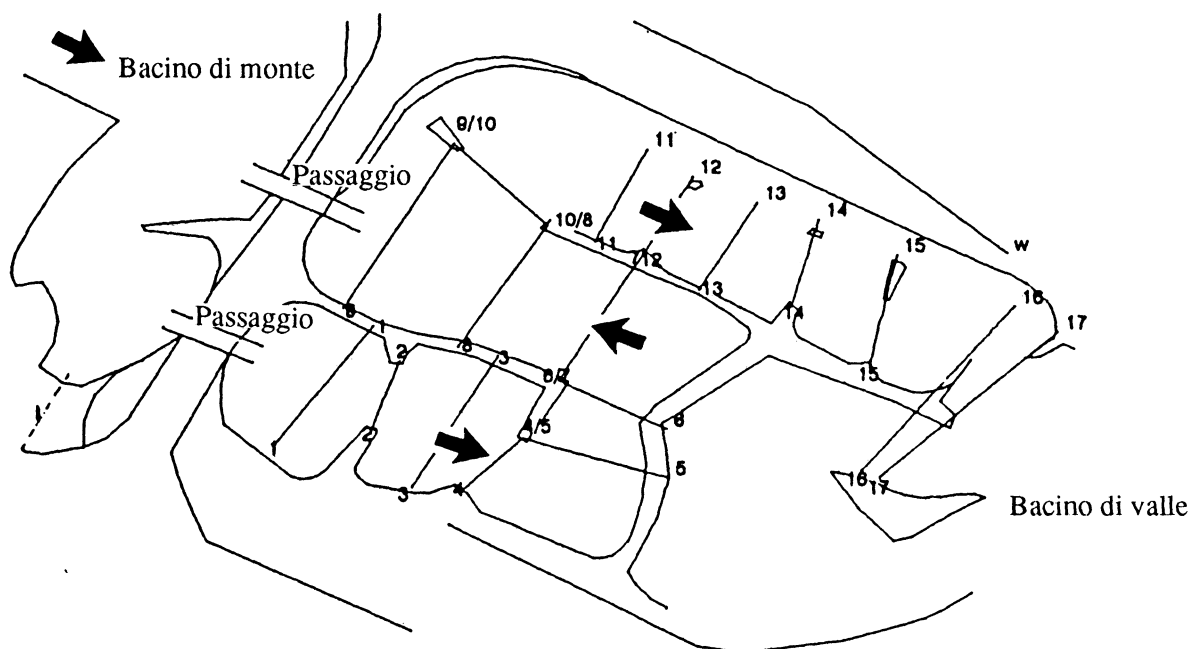


## RAMPA IN PIETREME (Ruscello di risalita per pesci)

### Caratteristiche del ruscello:

Altezza:	$h = 1,2 \text{ m}$
Lunghezza:	$l = 150 \text{ m}$
Larghezza:	$b = 15-25 \text{ m}$
Pendenza:	$i = 1:125$
Portata:	$Q = 1,7 \text{ mc/sec}$
Numero bacini:	$n = 8$
Superficie bacini:	$A = 190-900 \text{ mq}$

### PIANTA



**MODALITA' DI ESECUZIONE:**

- 1 - Al fine di risultare funzionale allo scopo, il ruscello di risalita per i pesci deve essere realizzato il più possibile vicino alla base dell'opera idraulica stessa (briglia, diga, ecc.), in quanto i pesci avvertono la presenza della "rampa" artificiale in base all'intensità della corrente e, quindi, la risalgono solamente se essa è posta vicino all'ostacolo (Tipologia n. 26/c2).
- 2 - Per realizzare il ruscello di risalita per pesci vi sono diversi metodi in funzione delle caratteristiche del corso d'acqua principale, del suo regime idrico, della disponibilità di terreno e delle componenti la fauna ittica; il principio base è, comunque, quello di ricreare un ambiente il più simile possibile a quello del fiume principale (fondo naturale, sponde inerbite e con presenza di arbusti ed alberi, zone a corrente rapida alternate ad altre a corrente lenta, ecc.).
- 3 - I criteri ed i parametri biologici da tenere presenti durante la fase progettuale dei ruscelli sono simili a quelli delle rampe in pietrame e mirano alla massima diversità ambientale possibile (dislivelli modesti: inferiori a 20 cm; larghezza minima: 1 m; zone a corrente rapida alternate a quelle con acqua più lenta o addirittura stagnante; profondità minima 40-60 cm; pendenze modeste: inferiori a 1:20; rive ghiaiose e/o con vegetazione arbustiva, ecc.).
- 4 - Un ruscello creato ex-novo, se opportunamente progettato, oltre a consentire la risalita dei pesci, ha il pregio di creare una serie di microambienti diversificati ed interessantissimi per tutta la fauna acquatica: in alcuni casi si sono addirittura venute a determinare le condizioni idonee per la riproduzione di diverse specie e ciò costituisce una prova tangibile del corretto inserimento ambientale di queste strutture artificiali.
- 5 - A volte le dimensioni dei corsi d'acqua costruiti per consentire la risalita della fauna ittica sono notevoli come, ad esempio, quello progettato in Germania sul fiume Reno, lateralmente ad una diga: larghezza: 50 m, lunghezza: 900 m, portata massima: 20 mc/sec.

**PREZZARIO**  
**(Regione del Veneto)**



## PREMESSA

Ai fini di un corretto impiego del prezzario di seguito riportato, si ritiene opportuno fare alcune schematiche e sintetiche considerazioni sia sulla forma e sia sul contenuto.

E' innanzitutto necessario evidenziare il contesto organizzativo-amministrativo all'interno del quale le varie tipologie di intervento ed i relativi costi si possono ritenere validi ed applicabili.

Nell'ambito della Regione del Veneto il riferimento normativo per ciò che concerne i lavori di difesa idrogeologica di competenza del Dipartimento per le Foreste e l'Economia Montana è la L.R. n. 52 del 13.9.1978.

Le strutture preposte alla realizzazione delle suddette opere sono, di fatto, i Servizi Forestali Regionali, istituiti con la L.R. n. 8 del 15.1.1985, facenti capo al Dipartimento Foreste della Regione del Veneto ed il cui ambito di azione è a livello provinciale; i lavori, che i sopra richiamati Servizi progettano e dirigono, vengono eseguiti in economia con la forma dell'Amministrazione Diretta.

Le opere alle quali si fa riferimento nel prezzario, che possono ovviamente esulare dallo specifico contesto della difesa idrogeologica e che costituiscono la maggior parte delle tipologie descritte nella parte speciale del testo, vengono comunque riferite a questa realtà operativa e derivano dall'esperienza maturata in questi anni, soprattutto nel territorio montano dolomitico.

La positiva collaborazione tra i citati Servizi Forestali ed il Centro Sperimentale Valanghe e Difesa Idrogeologica ha consentito un riscontro sia tecnico che economico delle varie tipologie di intervento di seguito illustrate.

Il prezzario è costituito da due parti:

- a - l'elenco dei prezzi unitari;
- b - l'analisi dei prezzi delle tipologie.

### 1 - Elenco dei prezzi unitari:

In questa prima parte vengono riportate le varie voci relative alle seguenti categorie:

- a - manodopera;
- b - noli;
- c - materiali.

Le singole voci sono contraddistinte da un codice composto da una lettera maiuscola (A per la manodopera, B per i noli e C per i materiali) e da un numero progressivo.

Per ogni voce vengono inoltre forniti la descrizione, l'unità di misura ed il prezzo elementare; si precisa, infine, che i prezzi sono relativi al primo semestre 1993.

#### a - Manodopera:

Le voci della manodopera sono riferite al costo orario degli operai agro-forestali con rapporto di lavoro a tempo determinato alla data del 1.1.1993 (Contratto collettivo nazionale di lavoro per gli addetti forestali 1991-1993) e sono comprensive di:

- retribuzione oraria;
- oneri previdenziali, assicurativi ed assistenziali;
- indennità d'alta moltagna (per uniformità e semplicità è stata scelta un'unica fascia altimetrica e precisamente quella da 1.000 a 1.500 m s.l.m.);
- rimborso chilometrico per accedere al cantiere (10 km circa);
- indennità di mensa.

b - Noli:

Il costo dei noli è IVA esclusa ed è comprensivo di:

- operatore;
- carburanti e lubrificanti;
- spese di trasporto e di installazione dei macchinari;
- manutenzione.

c - Materiali:

Il costo dei materiali è IVA esclusa e va inteso a piè d'opera, ad eccezione del legname per il quale si è invece considerato il prezzo della pianta in piedi.

Il costo degli astoni, delle talee e delle piantine non viene considerato nelle analisi delle opere finite in quanto provenienti da vivai forestali della Regione o da manutenzioni di alvei fluviali; per le suddette voci viene comunque considerato il costo della raccolta e del trasporto a piè d'opera; infine, per il legname ed il pietrame si è anche ipotizzato di recuperare i materiali in loco.

## 2 - Analisi dei prezzi delle tipologie:

Le analisi dei prezzi si compongono di:

- a - descrizione del lavoro;
- b - componenti dell'analisi (manodopera, noli, materiali) con: codice di riferimento delle voci (secondo l'elenco dei prezzi unitari), unità di misura, quantità, prezzo elementare ed importo;
- c - IVA sui noli (19%) e sui materiali (9%);
- d - arrotondamento;
- e - prezzo di applicazione.

Gli scavi e la preparazione del sito non vengono computati salvo specifiche precisazioni nella descrizione dell'analisi stessa.

In merito al prezzo, è necessario evidenziare i criteri adottati nella sua elaborazione, specificando i limiti entro i quali tali prezzi possono essere considerati validi ed applicabili, nonché le particolari condizioni operative territoriali e strutturali a cui essi si riferiscono.

Per ogni lavoro si è considerato un contesto operativo medio: ovviamente se questa condizione viene meno, ad esempio in un cantiere senza viabilità o in un pendio da sistemare con un angolo di inclinazione superiore ai 50° o, ancora, in cantieri dove non sia possibile impiegare i mezzi meccanici, i prezzi indicati possono variare anche del 20-30%.

Inoltre, per alcune opere che comportano l'uso di legname e di pietrame si è ipotizzato di recuperare i materiali in loco: anche in questo caso i costi saranno presumibilmente diversi se, per esempio, il materiale viene acquistato o recuperato lontano dal cantiere.

In definitiva i prezzi delle opere finite riportati nel prezzo hanno un valore indicativo; l'obiettivo principale del presente prezzo è, infatti, quello di fornire un ordine di grandezza del costo delle diverse tipologie dell'ingegneria naturalistica in base all'esperienza operativa maturata nel corso degli anni.

In conclusione, il presente prezzo si pone come un punto di riferimento per i tecnici che intendono applicare concretamente queste tipologie di intervento a basso impatto ambientale e, dalle esperienze che verranno condotte in futuro, si potranno trarre ulteriori elementi conoscitivi per aggiornarlo ed integrarlo opportunamente.

## **Elenco prezzi unitari**



OGGETTO	COD. RIF.	UNITA' DI MISURA	PREZZO ELEMENTARE
<b>A - MANODOPERA:</b> <i>(Lavori in terreni montani: 1.000 - 1.500 m)</i>			
- Operaio specializzato	A 1	ora	16.100
- Operaio qualificato	A 2	ora	15.300
- Operaio comune	A 3	ora	14.350
 <b>B - NOLI :</b> <i>(Compresi operatore, carburante, lubrificante, manutenzione e spese per trasporto ed installazione macchinari)</i>			
- Escavatore semovente (capacità benna: 1 mc)	B 1	ora	70.000
- Autocarro con cassone ribaltabile (portata: 60-100 q.li)	B 2	ora	55.000
- Motocompressore con martello demolitore o perforatore	B 3	ora	38.000
- Idroseminatrice con cisterna	B 4	ora	50.000
- Pompa irroratrice a zaino per bitumi ed altri leganti	B 5	ora	22.000

OGGETTO	COD. RIF.	UNITA' DI MISURA	PREZZO ELEMENTARE
<b>C - MATERIALI:</b> <i>(Fornitura a piè d'opera)</i>			
- Ghiaia per drenaggi (pezzatura: 30-160 mm)	C 1	mc	15.500
- Ciottoloni di fiume o pietrame di cava per gabbionate (pezzatura: 15-35 cm)	C 2	mc	23.000
- Pietrame per scogliere (pezzatura: 0,20 mc)	C 3	mc	63.000
- Pietrame per scogliere (pezzatura: 0,25 mc)	C 4	mc	63.000
- Massi ciclopici per scogliere (pezzatura: 1 mc)	C 5	mc	63.000
- Malta cementizia antiritiro per ancoraggi	C 6	kg	1.050
- Chioderia varia	C 7	kg	2.100
- Filo di ferro cotto nero (n. 17) (diametro: 3 mm)	C 8	kg	1.000
- Filo di ferro zincato (diametro: 3 mm)	C 9	kg	1.500
- Gabbioni a scatola in rete di filo di ferro a doppia torsione e zincatura (maglia: 8x10 cm, diametro del filo: 2,7 mm) per gabbionate	C 10	kg	2.200
- Fune in fili di acciaio zincato ed anima in acciaio (diametro: 16-18 mm)	C 11	m	4.200
- Morsetto serrafune (diametro: 16-22 mm)	C 12	n	3.500
- Barra di acciaio munita di asola (diametro: 16 mm, lunghezza > 60 cm)	C 13	n	3.500
- Barra di acciaio munita di asola (diametro: 20 mm, lunghezza > 80 cm)	C 14	n	4.000
- Trave in acciaio tipo "HEB 100"	C 15	kg	1.150
- Legname di larice (*)	C 16	mc	80.000
- Stangame di conifere (*)	C 17	mc	50.000
- Sostanza vegetale secca (paglia in balle, fieno, ecc.)	C 18	q.le	20.000

OGGETTO	COD. RIF.	UNITA' DI MISURA	PREZZO ELEMENTARE
- Miscela bilanciata di sementi foraggere	C 19	kg	6.000
- Terreno vegetale	C 20	mc	30.000
- Fertilizzante organico liquido	C 21	kg	1.500
- Collante organico	C 22	kg	4.000
- Emulsione bituminosa	C 23	kg	600
- Carta catramata	C 24	mq	3.000
- Rete di fibra naturale (juta) (maglia: 18x15 mm, peso: 500 g/mq)	C 25	mq	2.500
- Stuoia in fibra naturale (legno di faggio)	C 26	mq	2.650
<p data-bbox="181 1070 976 1173">(*) Per il legname è stato considerato il costo delle piante in piedi e non a piè d'opera; per il legname ed il pietrame in alcune tipologie si è anche ipotizzato di recuperare i materiali in loco.</p>			



## **Analisi prezzi delle tipologie**



## DESCRIZIONE TIPOLOGIA

**INERBIMENTO: SEMINA A SPAGLIO**

Realizzazione di un inerbimento su di una superficie piana o inclinata mediante la semina a spaglio di un miscuglio di sementi di specie erbacee selezionate ed idonee al sito, esclusa la preparazione del piano di semina.

OGGETTO	COD. RIF.	UNITA' DI MISURA	QUANTITA'	PREZZO ELEMENTARE	IMPORTO
MANODOPERA: - Operaio comune	A 3	ora	0,04	14.350	574
MATERIALI: - Miscela bilanciata di sementi foraggere IVA (9%)	C 19	kg	0,03	6.000	180 16
Totale Arrotondamento					<u>770</u> 30
<b>PREZZO DI APPLICAZIONE</b>				<b>£/mq</b>	<b>800</b>

## DESCRIZIONE TIPOLOGIA

**INERBIMENTO: IDROSEMINA**

Realizzazione di un inerbimento su di una superficie piana o inclinata mediante la tecnica dell'idrosemina consistente nell'aspersione di una miscela formata da acqua, miscuglio di sementi di specie erbacee selezionate e idonee al sito, concime organico, collanti e sostanze miglioratrici del terreno; il tutto distribuito in un'unica soluzione con speciali macchine irroratrici a forte pressione (idrosemiatrici), esclusa la preparazione del piano di semina.

OGGETTO	COD. RIF.	UNITA' DI MISURA	QUANTITA'	PREZZO ELEMENTARE	IMPORTO
<b>MANODOPERA:</b>					
- Operaio qualificato	A 2	ora	0,02	15.300	306
- Operaio comune	A 3	ora	0,02	14.350	287
<b>NOLI :</b>					
- Idrosemiatrica con cisterna IVA (19%)	B 4	ora	0,02	50.000	1.000 190
<b>MATERIALI:</b>					
- Miscela bilanciata di sementi foraggere IVA (9%)	C 19	kg	0,02	6.000	120 11
- Fertilizzante organico liquido IVA (9%)	C 21	kg	0,05	1.500	75 7
- Collante organico IVA (9%)	C 22	kg	0,08	4.000	320 29
Totale Arrotondamento					<u>2.345</u> - 45
<b>PREZZO DI APPLICAZIONE</b>				<b>£/mq</b>	<b>2.300</b>

## DESCRIZIONE TIPOLOGIA

**INERBIMENTO: SEMINA CON COLTRE PROTETTIVA DI PAGLIA (mulch)**

Realizzazione di un inerbimento su di una superficie piana o inclinata mediante la semina di un miscuglio di sementi di specie erbacee selezionate e idonee al sito e distribuzione di una miscela composta da fieno o paglia e concime, mediante l'uso di irroratrici, esclusa la preparazione del piano di semina.

OGGETTO	COD. RIF.	UNITA' DI MISURA	QUANTITA'	PREZZO ELEMENTARE	IMPORTO
<b>MANODOPERA:</b>					
- Operaio qualificato	A 2	ora	0,02	15.300	306
- Operaio comune	A 3	ora	0,02	14.350	287
<b>NOLI:</b>					
- Idrosemnatrice con cisterna IVA (19%)	B 4	ora	0,02	50.000	1.000 190
<b>MATERIALI:</b>					
- Sostanza vegetale secca (paglia) IVA (9%)	C 18	q.le	0,01	20.000	200 18
- Miscela bilanciata di sementi foraggere IVA (9%)	C 19	kg	0,02	6.000	120 11
- Fertilizzante organico liquido IVA (9%)	C 21	kg	0,05	1.500	75 7
Totale Arrotondamento					2.214 - 14
<b>PREZZO DI APPLICAZIONE</b>				<b>£/mq</b>	<b>2.200</b>

## DESCRIZIONE TIPOLOGIA

**INERBIMENTO: SEMINA CON COLTRE PROTETTIVA DI PAGLIA E BITUME  
(sistema Schiechteln ®)**

Realizzazione di un inerbimento su di una superficie piana o inclinata mediante la semina di un miscuglio di sementi di specie erbacee selezionate e idonee al sito, su di un letto di paglia distribuita uniformemente ed asperione di un'emulsione bituminosa instabile con funzione protettiva, mediante l'uso di pompe irroratrici a zaino, esclusa la preparazione del piano di semina.

OGGETTO	COD. RIF.	UNITA' DI MISURA	QUANTITA'	PREZZO ELEMENTARE	IMPORTO
<b>MANODOPERA:</b>					
- Operaio qualificato	A 2	ora	0,02	15.300	306
- Operaio comune	A 3	ora	0,02	14.350	287
<b>NOLI:</b>					
- Pompa irroratrice a zaino IVA (19%)	B 5	ora	0,03	22.000	660 125
<b>MATERIALI:</b>					
- Sostanza vegetale secca (paglia) IVA (9%)	C 18	q.le	0,01	20.000	200 18
- Miscela bilanciata di sementi foraggiere IVA (9%)	C 19	kg	0,02	6.000	120 11
- Fertilizzante organico liquido IVA (9%)	C 21	kg	0,05	1.500	75 7
- Emulsione bituminosa IVA (9%)	C 23	kg	0,70	600	420 37
Totale					2.266
Arrotondamento					34
<b>PREZZO DI APPLICAZIONE</b>				<b>€/mq</b>	<b>2.300</b>

## DESCRIZIONE TIPOLOGIA

**PIANTAGIONE DI SPECIE ARBUSTIVE ED ARBOREE A RADICE NUDA**

Piantazione di piantine di specie arbustive o arboree a radice nuda, compresa l'apertura di buche (40x40x40 cm), la ricolmatura con compressione del terreno adiacente alle radici, l'eventuale e razionale posa in tagliola e relativa imbozzimatura, la spuntatura delle radici ed ogni altra operazione necessaria per eseguire il lavoro a regola d'arte, ma escluse l'irrigazione e la concimazione.

OGGETTO	COD. RIF.	UNITA' DI MISURA	QUANTITA'	PREZZO ELEMENTARE	IMPORTO
MANODOPERA:					
- Operaio qualificato	A 2	ora	0,05	15.300	765
- Operaio comune	A 3	ora	0,10	14.350	1.435
NOLI:					
- Autocarro (portata: 60-100 q.li) IVA (19%)	B 2	ora	0,002	55.000	110 21
Totale					2.331
Arrotondamento					- 31
<b>PREZZO DI APPLICAZIONE</b>				<b>€/pianta</b>	<b>2.300</b>

## DESCRIZIONE TIPOLOGIA

**MESSA A DIMORA DI TALEE DI SPECIE ARBUSTIVE  
NELLE DIFESE SPONDALI**

Inserimento di talee di specie arbustive (diametro: 1-5 cm, lunghezza: 70-80 cm) ad elevata capacità vegetativa (ad esempio: salici) negli interstizi delle difese spondali (4 talee per metro quadrato) ed infisse nel terreno vegetale per almeno 50-60 cm; compreso ogni altro onere ed accessorio per eseguire il lavoro a regola d'arte.

OGGETTO	COD. RIF.	UNITA' DI MISURA	QUANTITA'	PREZZO ELEMENTARE	IMPORTO
MANODOPERA:					
- Operaio qualificato	A 2	ora	0,05	15.300	765
- Operaio comune	A 3	ora	0,08	14.350	1.148
NOLI:					
- Autocarro (portata: 60-100 q.li) IVA (19%)	B 2	ora	0,002	55.000	110 21
Totale					<hr/> 2.044
Arrotondamento					- 44
<b>PREZZO DI APPLICAZIONE</b>				<b>£/pianta</b>	<b>2.000</b>

## DESCRIZIONE TIPOLOGIA

**GRADONATA CON TALEE**

Realizzazione di una banchina della profondità minima di 50 cm con un interasse di 1,5-3 m e messa a dimora di talee interrate per circa 3/4 della loro lunghezza ed appartenenti a specie arbustive o arboree ad elevata capacità vegetativa; successivo riempimento con il materiale di scavo proveniente dalla banchina superiore, compreso ogni altro onere ed accessorio per eseguire il lavoro a regola d'arte.

OGGETTO	COD. RIF.	UNITA' DI MISURA	QUANTITA'	PREZZO ELEMENTARE	IMPORTO
MANODOPERA:					
- Operaio qualificato	A 2	ora	0,50	15.300	7.650
- Operaio comune	A 3	ora	0,50	14.350	7.175
NOLI:					
- Autocarro (portata: 60-100 q.li) IVA (19%)	B 2	ora	0,002	55.000	110 21
Totale Arrotondamento					<u>14.956</u> 44
<b>PREZZO DI APPLICAZIONE</b>				<b>£/m</b>	<b>15.000</b>

## DESCRIZIONE TIPOLOGIA

**GRADONATA CON PIANTINE**

Realizzazione di una banchina della profondità minima di 50 cm, con una contropendenza del 10% e con un interasse di 1-3 m e messa a dimora di piantine di 2-3 anni appartenenti a specie in grado di emettere radici avventizie dal fusto, sporgenti dal terreno per 1/3 della loro lunghezza e con una densità di almeno 5 piante per metro; successivo riempimento con il materiale di scavo proveniente dalla banchina superiore, compreso ogni altro onere ed accessorio per eseguire il lavoro a regola d'arte.

OGGETTO	COD. RIF.	UNITA' DI MISURA	QUANTITA'	PREZZO ELEMENTARE	IMPORTO
MANODOPERA:					
- Operaio qualificato	A 2	ora	0,50	15.300	7.650
- Operaio comune	A 3	ora	0,50	14.350	7.175
NOLI:					
- Autocarro (portata: 60-100 q.li) IVA (19%)	B 2	ora	0,002	55.000	110 21
Totale					14.956
Arrotondamento					44
<b>PREZZO DI APPLICAZIONE</b>				<b>£/m</b>	<b>15.000</b>

## DESCRIZIONE TIPOLOGIA

**GRADONATA MISTA CON TALEE E PIANTINE**

Realizzazione di una banchina della profondità minima di 50 cm con una contropendenza del 10% e con un interasse di 2,5-3 m e messa a dimora di talee o astoni, interrati per circa 3/4 della loro lunghezza, appartenenti a specie arbustive o arboree ad elevata capacità vegetativa; essi devono avere tutti i rami laterali ed essere almeno 10 per ogni metro lineare di sistemazione; inserimento di piantine radicate distanziate di 50 cm, ricoprimento con il materiale di scavo proveniente dalla banchina superiore; compreso ogni altro onere ed accessorio per eseguire il lavoro a regola d'arte.

OGGETTO	COD. RIF.	UNITA' DI MISURA	QUANTITA'	PREZZO ELEMENTARE	IMPORTO
MANODOPERA:					
- Operaio qualificato	A 2	ora	0,70	15.300	10.710
- Operaio comune	A 3	ora	0,60	14.350	8.610
NOLI:					
- Autocarro (portata: 60-100 q.li) IVA (19%)	B 2	ora	0,002	55.000	110 21
Totale					19.451
Arrotondamento					49
<b>PREZZO DI APPLICAZIONE</b>				<b>£/m</b>	<b>19.500</b>

## DESCRIZIONE TIPOLOGIA

**CORDONATA**

Realizzazione di una cordonata eseguita su di una banchina orizzontale della larghezza minima di 50 cm, con posa in opera, longitudinalmente, di stanghe con corteccia (diametro: 8 cm, lunghezza: 2 m) per sostegno, successiva copertura della base con ramaglia di conifere recuperate sul posto conseguentemente a ripuliture di boschi e ricoprimento con terreno (spessore: 10 cm) sul quale porre in opera le talee di salice (lunghezza: 60 cm, distanza: 5 cm) distanziate di 10 cm dal ciglio a monte; il tutto ricoperto con il materiale di scavo della cordonata superiore da realizzare ad un interasse variabile in funzione della natura del pendio; compreso ogni altro onere ed accessorio per eseguire il lavoro a regola d'arte.

OGGETTO	COD. RIF.	UNITA' DI MISURA	QUANTITA'	PREZZO ELEMENTARE	IMPORTO
MANODOPERA:					
- Operaio qualificato	A 2	ora	0,40	15.300	6.120
- Operaio comune	A 3	ora	1,15	14.350	16.503
NOLI:					
- Autocarro (portata: 60-100 q.li) IVA (19%)	B 2	ora	0,02	55.000	1.100 209
MATERIALI:					
- Stangame di conifere IVA (9%)	C 17	mc	0,022	50.000	1.100 99
Totale					<u>25.131</u>
Arrotondamento					- 31
<b>PREZZO DI APPLICAZIONE</b>				<b>£/m</b>	<b>25.100</b>

## DESCRIZIONE TIPOLOGIA

**VIMINATA**

Realizzazione di una viminata costituita da paletti di legname idoneo (diametro: 5 cm, lunghezza: 1 m), posti ad una distanza di 50 cm ed infissi nel terreno per 70 cm, collegati con un intreccio di verghe (altezza: 30 cm) legate con filo di ferro zincato (diametro: 3 mm), compreso ogni altro onere ed accessorio per eseguire il lavoro a regola d'arte.

OGGETTO	COD. RIF.	UNITA' DI MISURA	QUANTITA'	PREZZO ELEMENTARE	IMPORTO
<b>MANODOPERA:</b>					
- Operaio qualificato	A 2	ora	0,40	15.300	6.120
- Operaio comune	A 3	ora	0,50	14.350	7.175
<b>NOLI:</b>					
- Autocarro (portata: 60-100 q.li) IVA (19%)	B 2	ora	0,002	55.000	110 21
<b>MATERIALI:</b>					
- Filo di ferro zincato (diametro: 3 mm) IVA (9%)	C 9	kg	0,20	1.500	300 27
- Stangame di conifere IVA (9%)	C 17	mc	0,05	50.000	2.500 225
<b>Totale</b>					<u>16.478</u>
<b>Arrotondamento</b>					22
<b>PREZZO DI APPLICAZIONE</b>				<b>£/m</b>	<b>16.500</b>

## DESCRIZIONE TIPOLOGIA

**FASCINATA**

Realizzazione di una fascinata eseguita su di una banchina orizzontale della profondità di 30-50 cm e larga altrettanto, con posa in opera di fascine composte ognuna di 5 verghe, successivamente fissate al terreno con picchetti di legno (diametro: 5 cm, lunghezza: 1 m) posti ogni 80 cm; il tutto ricoperto con il materiale di risulta dello scavo a monte e compreso ogni altro onere ed accessorio per eseguire il lavoro a regola d'arte.

OGGETTO	COD. RIF.	UNITA' DI MISURA	QUANTITA'	PREZZO ELEMENTARE	IMPORTO
MANODOPERA:					
- Operaio qualificato	A 2	ora	0,20	15.300	3.060
- Operaio comune	A 3	ora	0,55	14.350	7.893
NOLI:					
- Autocarro (portata: 60-100 q.li) IVA (19%)	B 2	ora	0,002	55.000	110 21
MATERIALI:					
- Stangame di conifere IVA (9%)	C 17	mc	0,03	50.000	1.500 135
Totale					12.719
Arrotondamento					- 19
<b>PREZZO DI APPLICAZIONE</b>				<b>€/m</b>	<b>12.700</b>

## DESCRIZIONE TIPOLOGIA

**DRENAGGIO CON FASCINAME**

Realizzazione di un drenaggio in trincea attraverso la posa in opera nello scavo (profondità: 50 cm) di fascine costituite da verghe di specie arbustive o arboree ad elevata capacità vegetativa; riempimento con terreno di riporto e posa di talee, ogni 70 cm, aventi una funzione di fissaggio delle fascine; compreso ogni altro onere ed accessorio per eseguire il lavoro a regola d'arte, ma escluso lo scavo.

OGGETTO	COD. RIF.	UNITA' DI MISURA	QUANTITA'	PREZZO ELEMENTARE	IMPORTO
MANODOPERA:					
- Operaio qualificato	A 2	ora	0,50	15.300	7.650
- Operaio comune	A 3	ora	0,40	14.350	5.740
NOLI:					
- Autocarro (portata: 60-100 q.li) IVA (19%)	B 2	ora	0,004	55.000	220 42
MATERIALI:					
- Filo di ferro cotto nero (n. 17) IVA (9%)	C 8	kg	0,20	1.000	200 18
Totale					13.870
Arrotondamento					30
<b>PREZZO DI APPLICAZIONE</b>				<b>€/m</b>	<b>13.900</b>

## DESCRIZIONE TIPOLOGIA

**CANALETTA IN LEGNAME E PIETRAME**

Realizzazione di una canaletta in legname e pietrame a forma trapezia (altezza: 80 cm, base minore: 70 cm, base maggiore: 170 cm), con intelaiatura realizzata con pali di legname idoneo (diametro: 15-20 cm) e con il fondo e le pareti rivestiti in pietrame (spessore: 20 cm), recuperato in loco e posto in opera a mano. Il tondame, posto in opera longitudinalmente viene ancorato a quello infisso nel terreno, disposto lungo il lato obliquo della canaletta, tramite chioderia e graffe metalliche; ogni 7 m viene inserita nella parte sommitale dell'opera una traversa in legno per rendere più rigida la struttura; compreso ogni altro onere ed accessorio per eseguire il lavoro a regola d'arte, incluso lo scavo.

OGGETTO	COD. RIF.	UNITA' DI MISURA	QUANTITA'	PREZZO ELEMENTARE	IMPORTO
<b>MANODOPERA:</b>					
- Operaio qualificato	A 2	ora	1,50	15.300	22.950
- Operaio comune	A 3	ora	1,10	14.350	15.785
<b>NOLI:</b>					
- Escavatore (capacità benna: 1 mc) IVA (19%)	B 1	ora	0,01	70.000	700 133
<b>MATERIALI:</b>					
- Chioderia varia IVA (9%)	C 7	kg	0,25	2.100	525 47
- Legname di larice IVA (9%)	C 16	mc	0,20	80.000	16.000 1.440
<b>Totale</b>					<u>57.580</u>
<b>Arrotondamento</b>					420
<b>PREZZO DI APPLICAZIONE</b>				<b>£/m</b>	<b>58.000</b>

## DESCRIZIONE TIPOLOGIA

**GRATA IN LEGNAME CON TALEE**

Realizzazione di una grata in legname idoneo (diametro: 20 cm, lunghezza: 3 m) previo scavo di una trincea sul terreno stabile; la struttura in elementi verticali ed orizzontali è a maglia quadrata (1 m) ed è fissata tramite picchetti di legno (diametro: 8-10 cm, lunghezza: 1 m) infissi nel suolo compresa la messa a dimora di talee, di carta catramata sulla sommità della grata ed ogni altro onere ed accessorio per eseguire il lavoro a regola d'arte.

OGGETTO	COD. RIF.	UNITA' DI MISURA	QUANTITA'	PREZZO ELEMENTARE	IMPORTO
<b>MANODOPERA:</b>					
- Operaio qualificato	A 2	ora	1,50	15.300	22.950
- Operaio comune	A 3	ora	2,60	14.350	37.310
<b>NOLI:</b>					
- Autocarro (portata: 60-100 q.li) IVA (19%)	B 2	ora	0,002	55.000	110 21
<b>MATERIALI:</b>					
- Chioderia varia IVA (9%)	C 7	kg	0,25	2.100	525 47
- Legname di larice IVA (9%)	C 16	mc	0,07	80.000	5.600 504
- Stangame di conifere IVA (9%)	C 17	mc	0,02	50.000	1.000 90
- Carta catramata IVA (9%)	C 24	mq	0,25	3.000	750 68
<b>Totale</b>					<u>68.975</u>
<b>Arrotondamento</b>					25
<b>PREZZO DI APPLICAZIONE</b>				<b>£/mq</b>	<b>69.000</b>

## DESCRIZIONE TIPOLOGIA

**PALIZZATA IN LEGNAME CON TALEE**

Realizzazione di una palizzata costituita da pali di legname idoneo (diametro: 20 cm, lunghezza: 1,5 m) infissi nel terreno per una profondità di 1 m e posti ad una distanza di 1 m. Sulla parte emergente dal terreno verranno collocati dei mezzi tronchi di larice (diametro: 10 cm, lunghezza: 2 m), legati con filo di ferro, allo scopo di trattenere il materiale di risulta posto a tergo della struttura medesima; messa a dimora di talee di specie autoctone idonee per la ricostituzione della compagine vegetale; compreso ogni altro onere ed accessorio per eseguire il lavoro a regola d'arte.

OGGETTO	COD. RIF.	UNITA' DI MISURA	QUANTITA'	PREZZO ELEMENTARE	IMPORTO
<b>MANODOPERA:</b>					
- Operaio qualificato	A 2	ora	0,30	15.300	4.590
- Operaio comune	A 3	ora	0,55	14.350	7.893
<b>NOLI:</b>					
- Autocarro (portata: 60-100 q.li) IVA (19%)	B 2	ora	0,002	55.000	110 21
<b>MATERIALI:</b>					
- Filo di ferro cotto nero (n. 17) IVA (9%)	C 8	kg	0,30	1.000	300 27
- Legname di larice IVA (9%)	C 16	mc	0,07	80.000	5.600 504
Totale					19.045
Arrotondamento					- 45
<b>PREZZO DI APPLICAZIONE</b>				<b>£/m</b>	<b>19.000</b>

## DESCRIZIONE TIPOLOGIA

**PALIFICATA IN LEGNAME CON TALEE  
(ad una parete)**

Realizzazione di una palificata in legname a parete singola, realizzata in tondame scortecciato di legname idoneo (diametro: 10-25 cm) comprese le legature con filo di ferro zincato (diametro: 3 mm), chiodi, ecc.; inserimento negli interstizi, durante la fase costruttiva, di robuste talee di specie arbustive ed arboree ad elevata capacità vegetativa (diametro: 3-10 cm), in numero di almeno 5 per metro lineare e riempimento con il materiale dello scavo; compreso ogni altro onere ed accessorio per eseguire il lavoro a regola d'arte.

OGGETTO	COD. RIF.	UNITA' DI MISURA	QUANTITA'	PREZZO ELEMENTARE	IMPORTO
<b>MANODOPERA:</b>					
- Operaio qualificato	A 2	ora	1,50	15.300	22.950
- Operaio comune	A 3	ora	2,70	14.350	38.745
<b>NOLI:</b>					
- Autocarro (portata: 60-100 q.li) IVA (19%)	B 2	ora	0,002	55.000	110 21
<b>MATERIALI</b>					
- Chioderia varia IVA (9%)	C 7	kg	0,25	2.100	525 47
- Filo di ferro zincato (diametro: 3 mm) IVA (9%)	C 9	kg	0,15	1.500	225 20
- Legname di larice IVA (9%)	C 16	mc	0,20	80.000	16.000 1.440
<b>Totale</b>					<u>80.083</u>
Arrotondamento					- 83
<b>PREZZO DI APPLICAZIONE</b>				<b>€/mc</b>	<b>80.000</b>

## DESCRIZIONE TIPOLOGIA

**PALIFICATA IN LEGNAME CON TALEE  
(a due pareti)**

Realizzazione di una palificata in legname a due pareti, realizzata in tondame scortecciato di legname idoneo (diametro: 10-25 cm) comprese le legature con filo di ferro zincato (diametro: 3 mm), chiodi, ecc.; inserimento negli interstizi, durante la fase costruttiva, di robuste talee di specie arbustive ed arboree ad elevata capacità vegetativa (diametro: 3-10 cm), in numero di almeno 5 per metro lineare e riempimento con il materiale dello scavo; compreso ogni altro onere ed accessorio per eseguire il lavoro a regola d'arte.

OGGETTO	COD. RIF.	UNITA' DI MISURA	QUANTITA'	PREZZO ELEMENTARE	IMPORTO
<b>MANODOPERA:</b>					
- Operaio qualificato	A 2	ora	1,80	15.300	27.540
- Operaio comune	A 3	ora	3,10	14.350	44.485
<b>NOLI:</b>					
- Autocarro (portata: 60-100 q.li) IVA (19%)	B 2	ora	0,002	55.000	110 21
<b>MATERIALI:</b>					
- Chioderia varia IVA (9%)	C 7	kg	0,30	2.100	630 57
- Filo di ferro zincato (diametro: 3 mm) IVA (9%)	C 9	kg	0,20	1.500	300 27
- Legname di larice IVA (9%)	C 16	mc	0,25	80.000	20.000 1.800
<b>Totale</b>					<u>94.970</u>
<b>Arrotondamento</b>					30
<b>PREZZO DI APPLICAZIONE</b>				<b>£/mc</b>	<b>95.000</b>

## DESCRIZIONE TIPOLOGIA

**MURO DI SOSTEGNO IN PIETRAME**  
(a secco)

Costruzione di un muro di sostegno con massi calcarei recuperati sul posto; il pietrame sarà posto in opera con una leggera contropendenza rispetto al versante; compreso ogni altro onere ed accessorio per eseguire il lavoro a regola d'arte.

OGGETTO	COD. RIF.	UNITA' DI MISURA	QUANTITA'	PREZZO ELEMENTARE	IMPORTO
MANODOPERA:					
- Operaio qualificato	A 2	ora	2,50	15.300	38.250
- Operaio comune	A 3	ora	1,10	14.350	15.785
NOLI:					
- Escavatore (capacità benna: 1 mc) IVA (19%)	B 1	ora	0,05	70.000	3.500 665
Totale					58.200
Arrotondamento					- 200
<b>PREZZO DI APPLICAZIONE</b>				<b>€/mc</b>	<b>58.000</b>

## DESCRIZIONE TIPOLOGIA

**SISTEMAZIONE CON RETI IN MATERIALE BIODEGRADABILE:  
JUTA**

Posa in opera di rete in fibra naturale (juta) a funzione antierosiva, fissata al terreno con picchetti di legno recuperati sul posto, previa semina di un miscuglio di sementi di specie erbacee selezionate e idonee al sito, con relativa concimazione; compreso ogni altro onere ed accessorio per eseguire il lavoro a regola d'arte, ma escluse la semina e la concimazione.

OGGETTO	COD. RIF.	UNITA' DI MISURA	QUANTITA'	PREZZO ELEMENTARE	IMPORTO
MANODOPERA:					
- Operaio specializzato	A 1	ora	0,05	16.100	805
- Operaio qualificato	A 2	ora	0,10	15.300	1.530
- Operaio comune	A 3	ora	0,10	14.350	1.435
MATERIALI:					
- Rete in fibra naturale (juta) IVA (9%)	C 25	mq	1	2.500	2.500 225
Totale					6.495
Arrotondamento					5
<b>PREZZO DI APPLICAZIONE</b>				<b>€/mq</b>	<b>6.500</b>

## DESCRIZIONE TIPOLOGIA

**SISTEMAZIONE CON STUOIE IN MATERIALE BIODEGRADABILE:  
FIBRA DI LEGNO**

Posa in opera di stuoia in fibra naturale (legno di faggio) a funzione antierosiva, fissata al terreno con picchetti di legno recuperati sul posto, previa semina di un miscuglio di sementi di specie erbacee selezionate e idonee al sito, con relativa concimazione; compreso ogni altro onere ed accessorio per eseguire il lavoro a regola d'arte, ma escluse la semina e la concimazione.

OGGETTO	COD. RIF.	UNITA' DI MISURA	QUANTITA'	PREZZO ELEMENTARE	IMPORTO
MANODOPERA:					
- Operaio specializzato	A 1	ora	0,05	16.100	805
- Operaio qualificato	A 2	ora	0,10	15.300	1.530
- Operaio comune	A 3	ora	0,10	14.350	1.435
MATERIALI:					
- Stuoia in fibra naturale (legno di faggio) IVA (9%)	C 26	mq	1	2.650	2.650 238
Totale					6.658
Arrotondamento					42
<b>PREZZO DI APPLICAZIONE</b>				<b>€/mq</b>	<b>6.700</b>

## DESCRIZIONE TIPOLOGIA

**COPERTURA DIFFUSA CON ASTONI**

Realizzazione di una copertura diffusa con astoni di salice su sponda di alveo di 4 m di altezza. Modellamento della sponda tramite escavatore, scavo di un fosso alla base della sponda (larghezza: 40 cm, profondità: 30 cm); posa di 3 file di paletti di legname idoneo (diametro: 5 cm, lunghezza: 80 cm) infissi nel terreno per 60 cm. La distanza tra i paletti è di 1 m per la fila inferiore, 2 m per quella intermedia e 3 m per quella superiore; posizionamento di uno strato continuo di astoni di salice in senso trasversale alla direzione della corrente, con il diametro maggiore nel fosso al piede della scarpata ed ancorati alla sponda con filo di ferro zincato (diametro: 3 mm) fissato ai paletti di legno; posa di uno strato di ciottoli in modo da favorire l'afflusso dell'acqua alle talee stesse; realizzazione di una difesa in pietrame (volume > 0,20 mc) per ottenere una protezione al piede della scarpata stessa; ricoprimento degli astoni con uno strato di terreno vegetale (spessore < 3 cm), compreso ogni altro onere ed accessorio per eseguire il lavoro a regola d'arte.

OGGETTO	COD. RIF.	UNITA' DI MISURA	QUANTITA'	PREZZO ELEMENTARE	IMPORTO
<b>MANODOPERA:</b>					
- Operaio qualificato	A 2	ora	2,00	15.300	30.600
- Operaio comune	A 3	ora	2,05	14.350	29.418
<b>NOLI:</b>					
- Escavatore (capacità benna: 1 mc) IVA (19%)	B 1	ora	0,25	70.000	17.500 3.325
- Autocarro (portata: 60-100 q.li) IVA (19%)	B 2	ora	0,003	55.000	165 31
<b>MATERIALI:</b>					
- Ghiaia (pezzatura: 30-160 mm) IVA (9%)	C 1	mc	0,10	15.500	1.550 140
- Pietrame per scogliere (pezzatura: 0,20 mc) IVA (9%)	C 3	mc	0,20	63.000	12.600 1.134
- Filo di ferro zincato (diametro: 3 mm) IVA (9%)	C 9	kg	0,20	1.500	300 27
- Stangame di conifere IVA (9%)	C 17	mc	0,02	50.000	1.000 90
- Terreno vegetale IVA (9%)	C 20	mc	0,20	30.000	6.000 540
Arrotondamento					- 420
<b>PREZZO DI APPLICAZIONE</b>				<b>£/m</b>	<b>104.000</b>

## DESCRIZIONE TIPOLOGIA

**COPERTURA DIFFUSA CON ASTONI  
(tipo armata)**

Realizzazione di una copertura diffusa con astoni di salice (tipo armata) su sponda di alveo di 4 m di altezza. Modellamento della sponda tramite escavatore, scavo di un fosso alla base della sponda (larghezza: 40 cm, profondità: 30 cm); posa di 3 file di paletti di legname idoneo (diametro: 5 cm, lunghezza: 80 cm) infissi nel terreno per 60 cm. La distanza tra i paletti è di 1 m per la fila inferiore, 2 m per quella intermedia e 3 m per quella superiore; posizionamento di uno strato continuo di astoni di salice in senso trasversale alla direzione della corrente, con il diametro maggiore nel fosso al piede della scarpata ed ancorati alla sponda con filo di ferro zincato (diametro: 3 mm) fissato ai paletti

*(continua)*

OGGETTO	COD. RIF.	UNITA' DI MISURA	QUANTITA'	PREZZO ELEMENTARE	IMPORTO
<b>MANODOPERA:</b>					
- Operaio qualificato	A 2	ora	3,00	15.300	45.900
- Operaio comune	A 3	ora	4,05	14.350	58.118
<b>NOLI:</b>					
- Escavatore (capacità benna: 1 mc) IVA (19%)	B 1	ora	0,25	70.000	17.500 3.325
- Autocarro (portata: 60-100 q.li) IVA (19%)	B 2	ora	0,003	55.000	165 31
- Motocompressore con martello demolitore o perforatore IVA (19%)	B 3	ora	1,00	38.000	38.000 7.220
<b>MATERIALI:</b>					
- Ghiaia (pezzatura: 30-160 mm) IVA (9%)	C 1	mc	0,10	15.500	1.550 140
- Pietrame per scogliere (pezzatura: 0,25 mc) IVA (9%)	C 4	mc	0,25	63.000	15.750 1.417
- Malta cementizia antiritiro per ancoraggi IVA (9%)	C 6	kg	2,00	1.050	2.100 189
<b>PREZZO DI APPLICAZIONE</b>					

## DESCRIZIONE TIPOLOGIA

di legno; posa di uno strato di ciottoli in modo da favorire l'afflusso dell'acqua alle talee stesse; realizzazione di una difesa in massi (volume > 0,25 mc) muniti di barre in acciaio ad aderenza migliorata (diametro: 16 mm) munite di asola e fissate con malta cementizia antiritiro nei massi stessi e collegati tra loro da una fune di acciaio (diametro: 16 mm) per ottenere una protezione al piede della scarpata stessa; fissaggio della fune, ogni 5 m, ad un palo di larice (diametro: 20 cm, lunghezza: 2 m) infisso per 1,5 m nell'alveo al piede della scarpata; ricoprimento degli astoni con uno strato di terreno vegetale (spessore < 3 cm), compreso ogni altro onere ed accessorio per eseguire il lavoro a regola d'arte.

OGGETTO	COD. RIF.	UNITA' DI MISURA	QUANTITA'	PREZZO ELEMENTARE	IMPORTO
- Filo di ferro zincato (diametro: 3 mm) IVA (9%)	C 9	kg	0,20	1.500	300 27
- Fune di acciaio (diametro: 16 mm) IVA (9%)	C 11	m	1,20	4.200	5.040 454
- Morsetto serrafune (diametro 16-22 mm) IVA (9%)	C 12	n	1	3.500	3.500 315
- Barra di acciaio munita di asola (diametro: 16 mm, lunghezza > 60 cm) IVA (9%)	C 13	n	1	3.500	3.500 315
- Legname di larice IVA (9%)	C 16	mc	0,04	80.000	3.200 288
- Stangame di conifere IVA (9%)	C 17	mc	0,02	50.000	1.000 90
- Terreno vegetale IVA (9%)	C 20	mc	0,20	30.000	6.000 540
Totale Arrotondamento					215.974 26
<b>PREZZO DI APPLICAZIONE</b>				<b>€/m</b>	<b>216.000</b>

## DESCRIZIONE TIPOLOGIA

**GABBIONATA CON TALEE**

Realizzazione di una gabbionata costituita da una rete metallica in filo di ferro zincato a doppia torsione (diametro: 2,7 mm) con maglia di dimensioni 8x10 cm, compresi i tiranti (diametro: 4 mm), riempita con pietrame di cava o ciottoli di fiume (diametro: 15-35 cm) sistemati a mano; distribuzione di terreno vegetale sulla pedata della gabbionata e messa a dimora di robuste talee di specie arbustive ad elevata capacità vegetativa (diametro: 3-10 cm), in numero di almeno 5 per metro lineare; compreso ogni altro onere ed accessorio per eseguire il lavoro a regola d'arte.

OGGETTO	COD. RIF.	UNITA' DI MISURA	QUANTITA'	PREZZO ELEMENTARE	IMPORTO
<b>MANODOPERA:</b>					
- Operaio qualificato	A 2	ora	4,00	15.300	61.200
- Operaio comune	A 3	ora	3,40	14.350	48.790
<b>NOLI:</b>					
- Autocarro (portata: 60-100 q.li) IVA (19%)	B 2	ora	0,002	55.000	110 21
<b>MATERIALI:</b>					
- Ciottoloni di fiume (diametro: 15-35 cm) IVA (9%)	C 2	mc	1	23.000	23.000 2.070
- Filo di ferro cotto nero (n. 17) IVA (9%)	C 8	kg	0,30	1.000	300 27
- Gabbioni metallici (maglia: 8x10 cm) IVA (9%)	C 10	kg	6,80	2.200	14.960 1.346
- Terreno vegetale IVA (9%)	C 20	mc	0,30	30.000	9.000 810
Totale					161.634
Arrotondamento					366
<b>PREZZO DI APPLICAZIONE</b>				<b>£/mc</b>	<b>162.000</b>

## DESCRIZIONE TIPOLOGIA

**BRIGLIA IN LEGNAME E PIETRAMI**

Realizzazione di una briglia in legname e pietrame costituita da tondame scortecciato di legno idoneo (diametro: 30 cm) posto in opera mediante l'incastellatura dei singoli pali, uniti con chiodi e graffe metalliche, ricavando un piccolo incastro nei medesimi; riempimento con ciottoli di materiale idoneo reperiti in loco e disposti a mano in modo tale da non danneggiare la struttura di sostegno; compreso ogni altro onere ed accessorio per eseguire il lavoro finito a regola d'arte, ma escluso lo scavo.

OGGETTO	COD. RIF.	UNITA' DI MISURA	QUANTITA'	PREZZO ELEMENTARE	IMPORTO
<b>MANODOPERA:</b>					
- Operaio specializzato	A 1	ora	1,00	16.100	16.100
- Operaio qualificato	A 2	ora	2,00	15.300	30.600
- Operaio comune	A 3	ora	4,00	14.350	57.400
<b>MATERIALI:</b>					
- Chioderia varia IVA (9%)	C 7	kg	0,40	2.100	840 76
- Legname di larice IVA (9%)	C 16	mc	0,60	80.000	48.000 4.320
Totale					157.336
Arrotondamento					- 336
<b>PREZZO DI APPLICAZIONE</b>				<b>£/mc</b>	<b>157.000</b>

## DESCRIZIONE TIPOLOGIA

**SOGLIA IN PIETRAMME  
(ancorato a travi in acciaio)**

Realizzazione di una soglia in massi ciclopici ( $d > 1$  mc) ancorati e disposti trasversalmente su due file parallele aventi lo stesso piano di posa. I massi della fila a monte vanno legati tra loro, mentre quelli della fila a valle vanno legati, oltre che tra loro, anche, alternativamente, a delle putrelle in acciaio del tipo "HEB" (altezza: 100 mm, larghezza: 100 mm, spessore anima: 6 mm, spessore ala: 10 mm), poste a monte della soglia, infisse nell'alveo per 1,5-2 m con un interasse di 2 m ed emergenti dal piano di posa. La legatura viene eseguita tramite una fune di acciaio (diametro: 16 mm) passante attraverso un'asola di una barra di acciaio, previa foratura di diametro e profondità adeguati ai massi medesimi ed ancorata ai massi con malta cementizia antiritiro, compreso ogni altro onere ed accessorio per eseguire il lavoro a regola d'arte, ma escluso lo scavo.

OGGETTO	COD. RIF.	UNITA' DI MISURA	QUANTITA'	PREZZO ELEMENTARE	IMPORTO
<b>MANODOPERA:</b>					
- Operaio qualificato	A 2	ora	1,00	15.300	15.300
- Operaio comune	A 3	ora	2,10	14.350	30.135
<b>NOLI:</b>					
- Escavatore (capacità benna: 1 mc) IVA (19%)	B 1	ora	0,10	70.000	7.000 1.330
- Motocompressore con martello demolitore e perforatore IVA (19%)	B 3	ora	1,00	38.000	38.000 7.220
<b>MATERIALI:</b>					
- Massi ciclopici (pezzatura: 1 mc) IVA (9%)	C 5	mc	1	63.000	63.000 5.670
- Malta cementizia antiritiro per ancoraggi IVA (9%)	C 6	kg	2,00	1.050	2.100 189
- Fune di acciaio (diametro: 16 mm) IVA (9%)	C 11	m	1,50	4.200	6.300 567
- Morsetto serrafune (diametro: 16-22 mm) IVA (9%)	C 12	n	2	3.500	7.000 630
- Barra di acciaio munita di asola (diametro: 20 mm, lunghezza > 80 cm) IVA (9%)	C 14	n	1	4.000	4.000 360
- Trave in acciaio tipo "HEB 100" IVA (9%)	C 15	kg	15,30	1.150	17.595 1.584
Arrotondamento					20
<b>PREZZO DI APPLICAZIONE</b>				<b>£/mc</b>	<b>208.000</b>

## BIBLIOGRAFIA

AA.VV. (1982). *Protection contre les crues des cours d'eau - Directives*. Departement federal des transports, des communications et de l'energie - Berna.

AA.VV. (1984). *Atti del Seminario Tecnico Regionale: Progettazione di passaggi artificiali per la risalita dei pesci nei fiumi*. Regione Emilia-Romagna e Provincia di Modena.

AA.VV. (1987). *Atti del Convegno: Progetto Ledra, conservazione e manutenzione degli ecosistemi fluviali*. Comitato per la difesa del fiume Ledra e del suo ambiente - Buia (UD).

AA.VV. (1988). *Atti del Convegno: La qualità delle acque superficiali - Criteri per una metodologia omogenea di valutazione*. Provincia Autonoma di Trento.

AA.VV. (1988). *I fiumi italiani e le calamità artificiali*. Regione Piemonte, Ente Riserve Naturali Garzaia di Valenza e di Bosco Marengo.

AA.VV. (1990). *Handbuch Wasserbau - Naturgemässe Gestaltung von Fließgewässern*. Ministerium für Umwelt Baden-Württemberg - Karlsruhe.

AA.VV. (1991). *Ricerche sulla sistemazione a verde di una cava di argilla*. Regione Emilia-Romagna e Comune di Carpineti (RE).

AA.VV. (1992). *Atti del Congresso Internazionale: Tecniche di rinaturazione e di ingegneria naturalistica*. A.I.P.I.N. Associazione Italiana per l'Ingegneria Naturalistica - Trieste.

AA.VV. (1992). *Sistemazione tecnica e biologica dei corsi d'acqua: 20 anni di esperienze*. Azienda Speciale per la Regolazione dei Corsi d'Acqua e la Difesa del Suolo - Provincia Autonoma di Bolzano.

AA.VV. (1992). *Tutela e gestione degli ambienti fluviali*. Serie Atti e Studi n. 8, W.W.F. Fondo Mondiale per la Natura - Roma.

AA.VV. (1993). *Opere di ingegneria naturalistica sulle sponde - Tecniche costruttive nel cantone di Berna (Svizzera)*. Ministero dell'Ambiente - Roma.

BEGEMANN W. e SCHIECHTL H.M. (1986). *Ingenieurbiologie - Handbuch zum naturnahen Wasser- und Erdbau*. Bauverlag GMBH - Wiesbaden und Berlin.

BUCKLEY K., HONNOR J. e NEWBOLD C. (1989). *Nature conservation and the management of drainage channels*. Nature Conservancy Council - Association of Drainage Authorities.

DELLAGIACOMA F., FLORINETH F. e ZOLIN G. (1991). *Opere di sistemazione e di regolazione dei corsi d'acqua - V.I.A.* Provincia Autonoma di Trento.

GEBLER R.J. (1991). *Sohlrampen und Fischaufstiege*. Walzbachtal.

GHETTI P.F. (1986). *Manuale di applicazione: i macroinvertebrati nell'analisi di qualità dei corsi d'acqua*. Provincia Autonoma di Trento - Stazione Sperimentale Agrario-Forestale - Trento

LACHAT B. (1991). *Le cours d'eau - Conservation, entretien et aménagement*. Consiglio d'Europa - Strasburgo.

LARSEN P. (1986). *Mitteilungen - Heft 174/1986 - Naturnahe Umgestaltung ausgebauter Fliessgewässer - Projektstudie*. Universität Fridericiana zu Karlsruhe.

LARSEN P. (1986). *Mitteilungen - Heft 175/1986 - Naturnahe Umgestaltung ausgebauter Fliessgewässer - Beiträge zum Wasserbaulichen Kolloquium*. Universität Fridericiana zu Karlsruhe.

SCHIECHTL H.M. (1991). *Bioingegneria forestale - Biotecnica naturalistica*. Edizioni Castaldi - Feltre (BL).

SCHIECHTL H.M. e STERN R. (1992). *Ingegneria naturalistica - Manuale delle opere in terra*. Edizioni Castaldi - Feltre (BL).

## COLLABORAZIONI

Il presente testo è stato elaborato grazie alla positiva collaborazione instauratasi tra diversi autori ed Enti e, in particolare, si ringraziano sentitamente per il loro contributo tecnico:

### Coordinamento editoriale:

Francesco Besio (Regione Emilia Romagna - Assessorato all'Ambiente - Bologna).

Alberto Luchetta (Regione del Veneto - Centro Sperimentale Valanghe e Difesa Idrogeologica - Arabba - BL)

Paolo Minarelli (Centro di Formazione Professionale O. Malaguti - S. Pietro in Casale - BO)

### Testi:

Bernhard Burkart

(Amt für Wasserwirtschaft und Bodenschutz - Offenburg - Deutschland)

TESTO TRATTO DA:

- *"Handbuch Wasserbau - Naturgemässe Gestaltung von Fliessgewässern"*. Ministerium für Umwelt Baden-Württemberg - Karlsruhe (1990).

Rolf-Jürgen Gebler

(Ingenierbüro - Walzbachtal - Deutschland)

TESTO TRATTO DA:

- *"Sohlrampen und Fischaufstiege"*. Walzbachtal (1991).

- *"Handbuch Wasserbau - Naturgemässe Gestaltung von Fliessgewässern"*. Ministerium für Umwelt Baden-Württemberg - Karlsruhe (1990).

Wolfgang Hauck

(W.B.W. - Gemeinnützige Fortbildungsgesellschaft für die Gewässerpflege mbH - Heidelberg - Deutschland)

TESTO TRATTO DA:

- *"Handbuch Wasserbau - Naturgemässe Gestaltung von Fliessgewässern"*. Ministerium für Umwelt Baden-Württemberg - Karlsruhe (1990).

Bernard Lachat

(Biotec - Bureau technique et d'études en génie de l'environnement - Viques - Suisse)

TESTO TRATTO DA:

- *"Le cours d'eau - Conservation, entretien et aménagement"*. Consiglio d'Europa - Strasburgo (1991).

Peter Larsen

(Universität Fridericiana zu Karlsruhe - Institut für Wasserbau und Kulturtechnik - Karlsruhe - Deutschland)

TESTO TRATTO DA:

- *"Mitteilungen - Heft 174/1986 - Naturnahe Umgestaltung ausgebauter Fliessgewässer - Projektstudie"*. Universität Fridericiana zu Karlsruhe (1986).

- *"Mitteilungen - Heft 175/1986 - Naturnahe Umgestaltung ausgebauter Fliessgewässer - Beiträge zum Wasserbaulichen Kolloquium"*. Universität Fridericiana zu Karlsruhe (1986).

Regione Emilia-Romagna - Assessorato all'Ambiente: Fausto Ambrosini e Francesco Besio

Regione del Veneto - Centro Sperimentale Valanghe e Difesa Idrogeologica: Antonio Andrich, Germano Dorigo e Alberto Luchetta

**Traduzione testi:**

Rosina Widmann

- AA.VV. (1990). *"Handbuch Wasserbau - Naturgemässe Gestaltung von Fliesswässern"*. Ministerium für Umwelt Baden-Württemberg - Karlsruhe;
- Gebler R.J. (1991). *"Sohlrampen und Fischaufstiege"*. Walzbachtal;
- Larsen P. (1986). *"Mitteilungen - Heft 174/1986 - Naturnahe Umgestaltung ausgebauter Fliessgewässer - Projektstudie"*. Universität Fridericiana zu Karlsruhe;
- Larsen P. (1986). *"Mitteilungen - Heft 175/1986 - Naturnahe Umgestaltung ausgebauter Fliessgewässer - Beiträge zum Wasserbaulichen Kolloquium"*. Universität Fridericiana zu Karlsruhe.

Sergio Tralongo

- Lachat B. (1991). *"Le cours d'eau - Conservation, entretien et aménagement"*. Consiglio d'Europa - Strasburgo.

**Figure (disegni e tabelle):**

M.H. Beach: Parte generale: n. 45-46

R. Caroli (Regione Emilia-Romagna): Parte generale: n. 2-3-7-9-10-11-19-20-21-22-23-24-29-31-33-34-35-40,  
Parte speciale: tipologie n. 16-17-21-23

T. De Col, M. Toldo e A. Viel (Regione del Veneto): Parte generale: n. 14-15-16-17-18,  
Parte speciale: tipologie n. 2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15-18-20-22-24-25

P.H. Elson: Parte generale: n. 47

F. Florineth: Parte speciale: tipologia n. 1

R.J. Gebler: Parte generale: n. 41-42-43, Parte speciale: tipologia n. 26

P.F. Ghetti: Parte generale: n. 13

W. Hauck: Parte generale: n. 27

B. Lachat: Parte generale: n. 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-25-26-28-30-32-39-49-51

B.L. Madsen: Parte generale: n. 50

T.A. Stuart: Parte generale: n. 48

J. Whittaker e M. Jäggi: Parte generale: n. 44

**Fotografie e Tavole:**

A. Andrich (Centro Sperimentale Valanghe e Difesa Idrogeologica - Regione del Veneto): Tavole n. 1-12-24-25-26-27-28-29

F. Besio (Assessorato all'Ambiente - Regione Emilia-Romagna): Fotografie n. 2-9-10

F. Florineth (Azienda Speciale per la Regolazione dei Corsi d'Acqua e la Difesa del Suolo - Provincia Autonoma di Bolzano): Fotografie n. 1-5; Tavole n. 4-5-6-7-8-9-10-14-15-16-17-18-19-20-21-22-23-30-31-32

R.J. Gebler (Ingenieurbüro - Walzbachtal): Fotografie n. 6-7-8; Tavole n. 33-34-35-36-37-38-39-40-41-42-43-44-45-46-47-48

R. Ghedini: Fotografie n. 3-4

W. Hauck (W.B.W. - Heidelberg): Fotografia n. 11; Tavola n. 3

A. Luchetta (Centro Sperimentale Valanghe e Difesa Idrogeologica - Regione del Veneto): Tavole n. 2-11-13

*Foto di copertina.* F. Besio: Copertura diffusa con astoni di salice (a 10 anni dall'intervento) (Luson - Bz)  
(Lavoro eseguito dall'Azienda Speciale per la Regolazione dei Corsi d'Acqua e la Difesa del Suolo - Provincia Autonoma di Bolzano)

**Elaborazione grafica:**

Luisa lo Muzio e Sergio Tralongo (Centro di Formazione Professionale O. Malaguti - S. Pietro in Casale - BO)



## Tavole





TAV. N. 1 *Messa a dimora di talee in una difesa spondale (fase di realizzazione) (Val d'Adige - Bz)*  
*Tipologia n. 3*



TAV. N. 2 *Messa a dimora di talee in una difesa spondale (Fiume Adige, Val Venosta - Bz)*  
*Tipologia n. 3*



TAV. N. 3 *Messa a dimora di specie arbustive o arboree lungo una sponda fluviale (fase di realizzazione)*  
*Tipologia n. 2*



TAV. N. 4 *Messa a dimora di specie arbustive o arboree lungo una sponda fluviale (situazione prima dell'intervento)* (Rio Ciamplo, Val Badia - Bz) *Tipologia n. 2*



TAV. N. 5 *Messa a dimora di specie arbustive o arboree lungo una sponda fluviale (dopo 7 anni)*  
(Rio Ciamplo, Val Badia - Bz) Tipologia n. 2



TAV. N. 6 *Messa a dimora di specie arbustive o arboree lungo una sponda fluviale (dopo 9 anni)*  
(Rio Ciamplo, Val Badia - Bz) Tipologia n. 2



TAV. N. 7 *Gradonata con talee (fase di realizzazione) (Frana Prünster - Bz) Tipologia n. 4*



TAV. N. 8 *Gradonata con talee (dopo 1 anno) (Frana Prünster - Bz) Tipologia n. 4*



TAV. N. 9 *Gradonata con talee (dopo 4 anni) (Frana Prünster - Bz) Tipologia n. 4*



TAV. N. 10 *Gradonata con talee (dopo 5 anni) (Frana Prünster - Bz) Tipologia n. 4*



TAV. N. 11 *Gradonata con talee (fase di realizzazione)*  
(Frana nel T. Rù Secco Val del Boite - Bl)



TAV. N. 12 *Gradonata con talee (a 3 anni dall'intervento)*  
(Val d'Ega - Bz) Tipologia n. 4



TAV. N. 13 *Gradonata con talee (Frana nel T. Rù Secco, Val del Boite - Bl) Tipologia n. 4*

TAV. N. 14 *Palificata in legname con messa a dimora di piantine (fase di realizzazione) (Frana Widmayr, San Genesio - Bz) Tipologia n. 14*



TAV. N. 15 *Palificata in legname con messa a dimora di piantine (dopo 5 mesi) (Frana Widmayr, San Genesio - Bz) Tipologia n. 14*

TAV. N. 16 *Palificata in legname con messa a dimora di piantine (dopo 2 anni) (Frana Widmayr, San Genesio - Bz) Tipologia n. 14*





TAV. N. 17 *Grata in legname con talee e piantine (fase di realizzazione) (Frana San Martino, Lasa - Bz)*  
*Tipologia n. 12*



TAV. N. 18 *Grata in legname con talee e piantine (dopo 1 anno) (Frana San Martino, Lasa - Bz)*  
*Tipologia n. 12*



TAV. N. 19 *Grata in legname con talee e piantine (dopo 6 anni) (Frana San Martino, Lasa - Bz)*  
*Tipologia n. 12*



TAV. N. 20 *Grata in legname con talee e piantine (dopo 7 anni) (Frana San Martino, Lasa - Bz)*  
*Tipologia n. 12*



TAV. N. 21 *Palizzata in legname ed inerbimento con coltre protettiva di paglia e bitume (fase di realizzazione)*  
(Val d'Ultimo - Bz) Tipologie n. 1 e 13



TAV. N. 22 *Palizzata in legname ed inerbimento con coltre protettiva di paglia e bitume (fase di realizzazione)*  
(Val d'Ultimo - Bz) Tipologie n. 1 e 13



TAV. N. 23 *Palizzata in legname ed inerbimento con coltre protettiva di paglia e bitume (dopo 8 anni)  
(Val d'Ultimo - Bz) Tipologie n. 1 e 13*



TAV. N. 24 *Muro di sostegno con armatura metallica (terra rinforzata) (Tratto autostradale Vittorio Veneto  
- Pian di Vedoia) Tipologia n. 17*



TAV. N. 25 Sistemazione con reti o stuoie in fibra naturale ed inerbimento (Frana Masarè, Agordino - Bl)  
Tipologia n. 18



TAV. N. 26 Sistemazione con reti o stuoie in fibra naturale ed inerbimento (Frana Cima Gogna, Cadore - Bl)  
Tipologia n. 18



TAV. N. 27 *Briglia in legname e pietrame (con rinverdimento delle sponde attraverso la messa a dimora di talee) (Rio Parabelun, Val del Boite - Bl) Tipologia n. 24*



TAV. N. 28 *Briglia in legname e pietrame (Frana Malga Foca, Agordino - Bl) Tipologia n. 24*



TAV. N. 29 *Copertura diffusa con astoni di salice (fase di realizzazione) (Torrente Biois, Agordino - Bl)*  
*Tipologia n. 20*



TAV. N. 30 *Copertura diffusa con astoni di salice (fase di realizzazione) (Rio Aurino, Val Pusteria - Bz)*  
*Tipologia n. 20*



TAV. N. 31 *Copertura diffusa con astoni di salice (dopo 3 anni) (Rio Aurino, Val Pusteria - Bz)*  
*Tipologia n. 20*



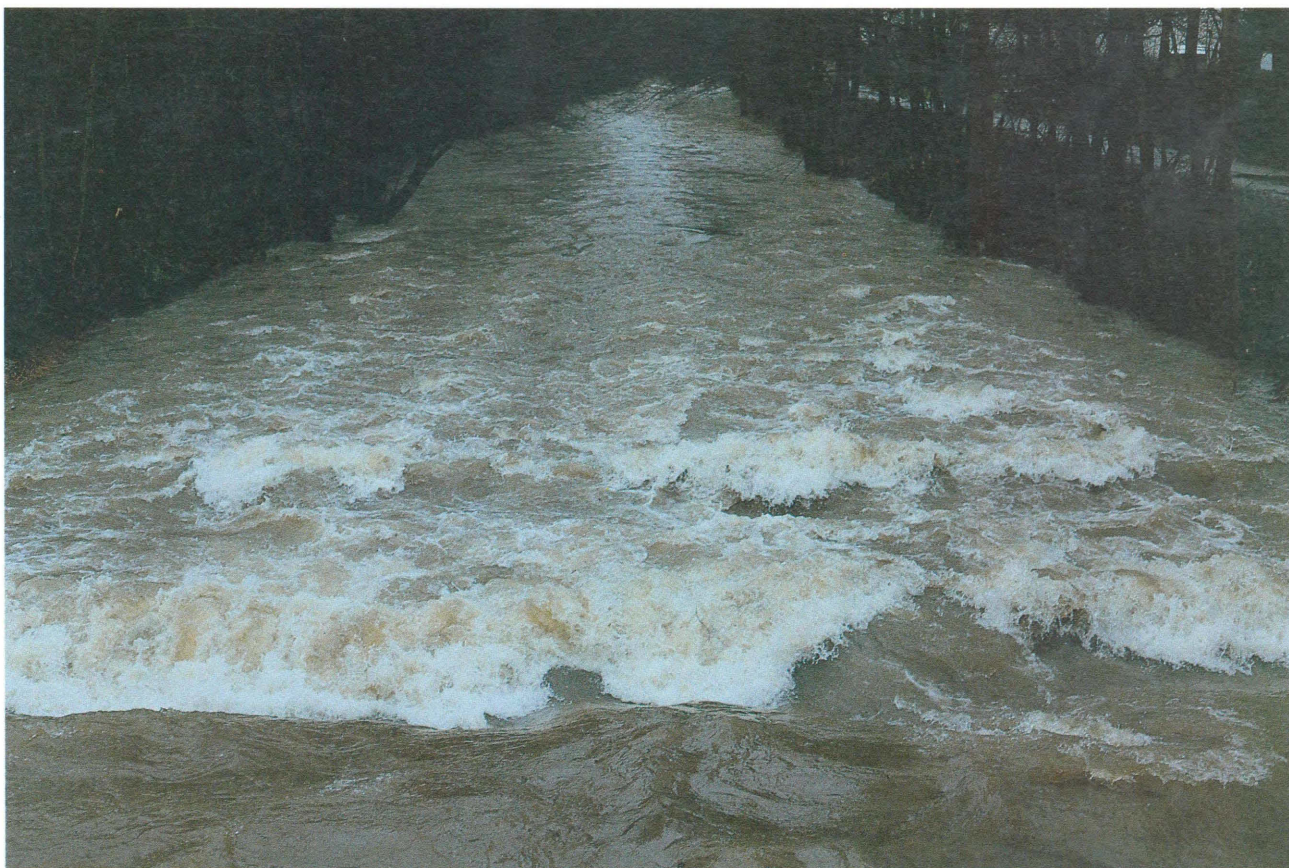
TAV. N. 32 *Copertura diffusa con astoni di salice (dopo 5 anni) (Rio Aurino, Val Pusteria - Bz)*  
*Tipologia n. 20*



TAV. N. 33 *Soglia in calcestruzzo (prima della realizzazione della rampa in pietrame) (Fiume Odenwälder Elz) Tipologia n. 26 a8*



TAV. N. 34 *Rampa in pietrame (realizzata eliminando la soglia in calcestruzzo e collocando il pietrame in modo da diversificare la morfologia dell'alveo) (Fiume Odenwälder Elz) Tipologia n. 26 a8*



TAV. N. 35 *Rampa in pietrame (portata di piena di 20 mc/sec) (Fiume Odenwulder Elz) Tipologia n. 26 a8*



TAV. N. 36 *Rampa in pietrame: consolidamento delle sponde con posa in opera di pietrame e piantagione di salici (il pietrame  stato collocato in modo irregolare per diversificare la morfologia dell'alveo) (Fiume Murr) Tipologia n. 26 a2*



TAV. N. 37 *Rampa in pietrame (realizzata eliminando la briglia in calcestruzzo al fine di diversificare la morfologia dell'alveo - vista da valle) (Fiume Leitzach) Tipologia n. 26 a9*



TAV. N. 38 *Rampa in pietrame (realizzata eliminando la briglia in calcestruzzo al fine di diversificare la morfologia dell'alveo - vista da monte) (Fiume Leitzach) Tipologia n. 26 a9*



TAV. N. 39 *Briglia in calcestruzzo (situazione prima della realizzazione della rampa in pietrame)*  
(Fiume Pfrimm) Tipologia n. 26 a10



TAV. N. 40 *Rampa in pietrame (realizzata collocando il pietrame a valle della briglia in calcestruzzo)*  
(Fiume Pfrimm) Tipologia n. 26 a10



TAV. N. 41 Rampa in pietrame (posa in opera dei massi con mezzo meccanico) (Fiume Argen)  
Tipologia n. 26 a3



TAV. N. 42 Rampa in pietrame (posa in opera di massi ciclopici) (Fiume Danubio) Tipologia n. 26 a5



TAV. N. 43 Rampa in pietrame (in periodo di magra il deflusso idrico avviene attraverso il passaggio per canoe realizzato al centro dell'opera) (Fiume Danubio) Tipologia n. 26 a5



TAV. N. 44 Rampa in pietrame (la presenza di zone a corrente rapida e a corrente lenta favorisce la risalita della fauna ittica) (Fiume Danubio) Tipologia n. 26 a5



TAV. N. 45 Rampa in pietrame (fase di realizzazione) (Fiume Sieg) Tipologia n. 26 a



TAV. N. 46 Rampa in pietrame (passaggio per pesci a bacini successivi) (Fiume Sieg) Tipologia n. 26 b



TAV. N. 47 *Rampa in pietrame (passaggio per pesci a bacini successivi - con deflusso idrico) (Fiume Fils)*  
Tipologia n. 26 b4



TAV. N. 48 *Rampa in pietrame (passaggio per pesci a bacini successivi - senza deflusso idrico) (Fiume Fils)*  
Tipologia n. 26 b4