

Capitolo 2

TECNICHE DI SISTEMAZIONE DI INGEGNERIA NATURALISTICA

2.1 ASPETTI GENERALI

In tempi relativamente recenti il tema ambiente ha assunto un'importanza via via crescente: principalmente per la necessità di conciliare i problemi propri dello sviluppo con quelli della conservazione e del miglioramento del patrimonio ambientale. In tale contesto si sono aperte nuove prospettive d'intervento che hanno portato, in qualche caso, ad approfondire l'opportunità di certi interventi, il recupero di aree fluviali ad esempio, in altri, all'impiego di tecniche e di materiali più rispettosi delle condizioni naturali. In particolare la gestione del territorio montano non può essere disgiunta dalle problematiche di carattere ambientale; la difesa del suolo, attraverso i lavori di consolidamento degli alvei e dei versanti in frana, così come il ripristino degli ambienti degradati devono attenersi a criteri tecnici di efficacia ma con particolare attenzione all'inserimento nell'ambiente.

Hanno acquistato così sempre maggiore importanza progetti che affiancano agli interventi tradizionali di ingegneria idraulico-forestale altri di tipo bioingegneristico, in modo che dalla loro integrazione si possano avere garanzie maggiori nei riguardi della difesa idrogeologica del territorio, ma anche che si assicuri il soddisfacente inserimento delle opere nel paesaggio e nell'ambiente.

In tale impostazione rientra l'uso delle cosiddette Tecniche di ingegneria naturalistica che utilizzano come materiale da costruzione piante viventi (o loro parti), spesso in unione con altri materiali, quali legname, pietrame,

acciaio, ecc. Si tratta per lo più di riedizioni di modi di costruire antichi, allora adottati in quanto i soli praticabili e successivamente abbandonati per far posto alle nuove tecniche ed ai nuovi materiali.

Una definizione abbastanza completa del termine ingegneria naturalistica potrebbe essere di “disciplina tecnico-naturalistica che si occupa dell’uso delle piante superiori nelle costruzioni, e del comportamento di queste piante in relazione a tali costruzioni” (Alberto Luchetta, *Andrich A., Dorigo G.* (A cura di): “CORSO DI FORMAZIONE PROFESSIONALE IN INGEGNERIA NATURALISTICA” Atti delle giornata di studi 14-29 aprile 1994, Tipografia PIAVE , Belluno, 1994), in sintesi si può ritenere l’ingegneria naturalistica quella disciplina che studia l’utilizzo di materiali viventi, naturali ed industriali, anche combinati tra loro, nei lavori.

In realtà l’ingegneria naturalistica come scienza applicata è un campo stimolante ma assai complesso, per l’interazione continua di elementi provenienti da molteplici discipline: la fisiologia vegetale, la botanica, l’ecologia, la fitosociologia, la chimica dei suoli, la pedologia, l’ingegneria forestale e idraulica ecc.

Le prime esperienze che hanno trovato spazio mediante relazioni, rapporti e pubblicazioni sono ascrivibili in particolare all’area alpina di lingua tedesca (Austria, Svizzera), mentre la successiva divulgazione di questi temi ha ricevuto impulso da alcune pubblicazioni specifiche sia a carattere generale che legate da esempi operativi puntuali (*Kruedener*, 1951; *Schiechtel*, 1973). In Italia le tecniche di ingegneria naturalistica sono adottate da circa un ventennio nella provincia di Bolzano ed ora sono diffuse anche in altre regioni.

Per quanto riguarda la protezione dei corsi d’acqua un cambiamento di rotta in tal senso si è verificato verso la metà degli anni ottanta, allorquando è stata messa in discussione, dallo spirito ambientalista, la filosofia di intervento che

si basava su criteri eminentemente ingegneristici e sulle tecnologie del cemento armato. Si iniziò a parlare di inutile cementificazione degli alvei e di regimazione troppo spinta con una visione del corso d'acqua diversa, visto non più come soggetto dal quale trarre materiale litoide, energia elettrica o nuovi spazi per l'agricoltura e l'urbanizzazione, ma come ecosistema complesso all'interno del quale ogni modifica di una delle componenti biotiche o abiotiche del sistema può provocare conseguenze anche rilevanti.

In passato, gli interventi sul territorio mediante l'impiego di piante vive, riguardava esclusivamente la difesa dall'erosione nell'ambito delle sistemazioni montane. Nel tempo il campo di impiego delle tecniche bioingegneristiche si è allargato e, attraverso le ricerche scientifiche e l'utilizzo di nuovi materiali, l'evoluzione dei criteri e delle potenzialità tecniche ha portato al consolidamento scientifico di questa disciplina che, sulla base di diversificate e nuove esigenze sociali e culturali (Figura 2.1), è diventata uno strumento operativo non più circoscritto alla lotta all'erosione, ma essenziale per la protezione dell'ambiente naturale.

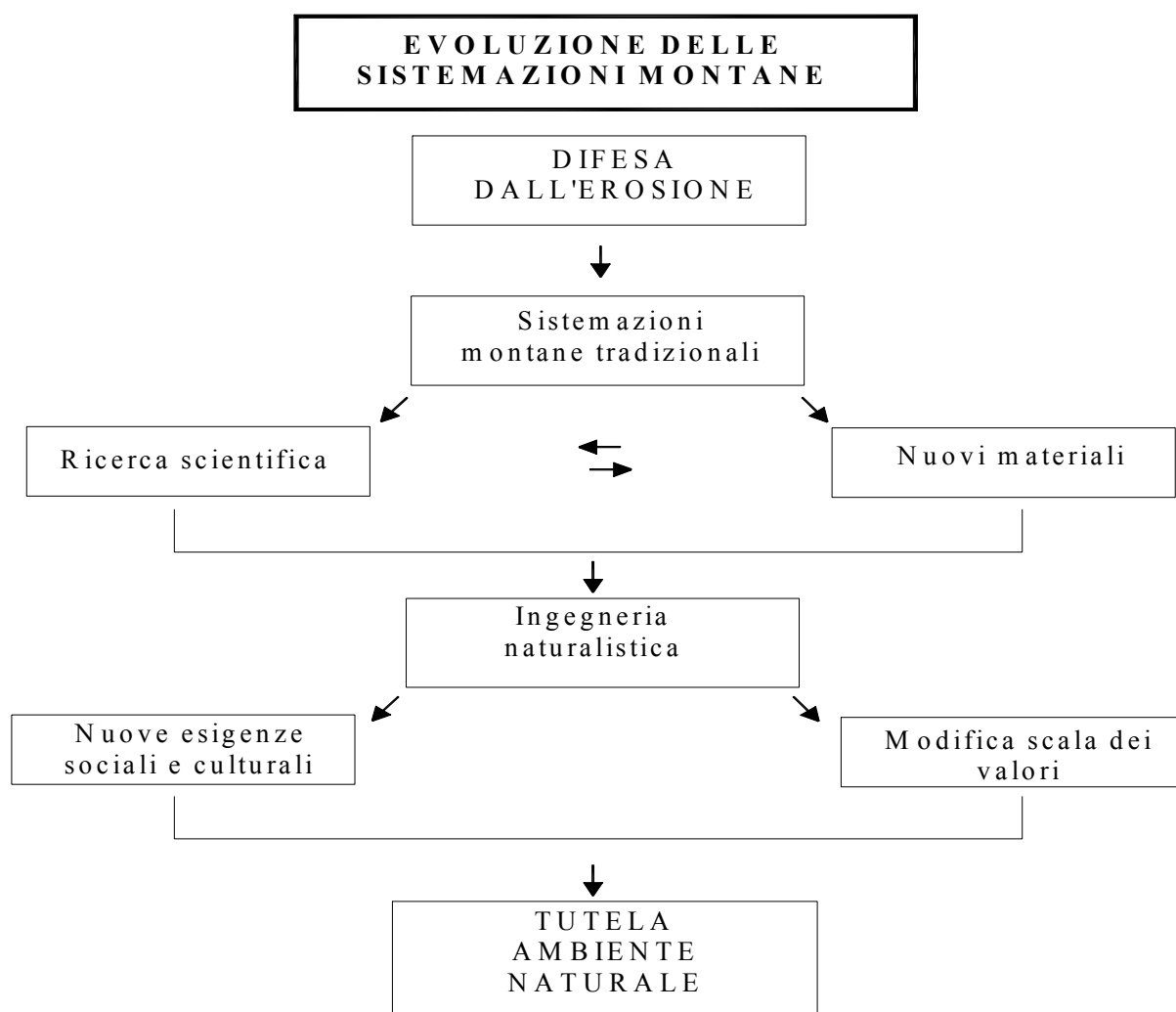


Figura 2.1 - Alberto Luchetta (Andrich A., Dorigo G. (A cura di): "CORSO DI FORMAZIONE PROFESSIONALE IN INGEGNERIA NATURALISTICA" Atti delle giornata di studi 14-29 aprile 1994, Tipografia PIAVE , Belluno, 1994).

Attraverso l'impiego di tecniche di intervento su base biologica possono essere perseguite, schematicamente, finalità assai diverse e, benché nel momento operativo tali finalità si concretizzino in modo spesso congiunto e sinergico, Schiechl le schematizza nel modo seguente:

– **finalità tecniche:** tali finalità riassumono principalmente le azioni fisiche che le piante inducono nel suolo nel processo di consolidamento dei terreni.

- la copertura del suolo nudo con piante aventi funzione protettiva;
- il consolidamento del terreno, anche in profondità, mediante l'azione legante del reticolo radicale;
- l'incremento della macroporosità del suolo operata dallo sviluppo dei reticoli radicali che si traduce in una maggiore capacità di assorbimento dell'acqua e di ritenzione idrica;
- la riduzione dell'erosione eolica attraverso un'azione di frangivento;
- l'arresto od il rallentamento del materiale nevoso attraverso la realizzazione di punti di resistenza allo scivolamento dello stesso;
- l'arresto od il rallentamento, nei terreni nudi, del movimento gravitativo del materiale incoerente.

– **finalità ecologiche:** quando gli effetti prevalenti di ingegneria naturalistica vanno a modificare, in termini favorevoli all'insediamento della vegetazione, le caratteristiche ecologiche della stazione.

- miglioramento delle condizioni microclimatiche mediante la copertura del terreno nudo e l'azione di protezione del vento. Tale finalità ha come obiettivo la modifica della temperatura locale (specialmente nei valori estremi), l'aumento dell'umidità

stazionale ed in qualche caso la variazione delle condizioni di luminosità;

- l'attivazione o meglio il potenziamento della microflora e della microfauna del terreno, l'attività delle quali è fondamentale per i processi evolutivi delle lettiere e dei suoli;
- lo sviluppo di associazioni vegetali più stabili nella migliore sintonia con le caratteristiche ecologiche della stazione;
- miglioramento della qualità delle acque.

– **finalità estetiche:** obiettivi che si possono perseguire di tutela del paesaggio, inteso in senso estetico.

- il ripristino del paesaggio attraverso la ricucitura e la rimarginazione di ferite create da degrado antropico o naturale;
- il mascheramento di infrastrutture;
- la riduzione, sotto il profilo paesaggistico, dell'impatto ambientale nella realizzazione di grandi opere;
- arricchimento del quadro paesistico con la creazione di nuove strutture, di nuove forme e colori della vegetazione;
- la creazione e l'inserimento, attraverso progettazioni integrate, di opere a basso tenore di impatto paesaggistico.

– **finalità economiche:** riguarda la scelta delle tipologie d'intervento basata su parametri prevalentemente economici nel confronto con sistemi di intervento ingegneristici o tradizionali.

- risparmio sui costi di difesa idrologica rispetto a quelli derivanti dalla utilizzazione di soli interventi tradizionali;
- risparmio sui costi di manutenzione e risanamento;

- creazione di superfici verdi utili e aree a bosco su terre abbandonate ed incolte.

Lo spettro d'impiego delle diverse tipologie d'intervento è ormai molto consistente ed è destinato ad ampliarsi, alcuni degli ambiti particolari di applicazione degli interventi con tecniche di ingegneria naturalistica sono i seguenti:

interventi di difesa dall'erosione:

- consolidamento di versanti instabili;
- riduzione dei processi erosivi superficiali dei suoli;
- drenaggio e regolazione delle acque selvagge dei versanti;
- sistemazione di piccoli fenomeni franosi;
- difese elastiche delle sponde dei corsi d'acqua.

Interventi di mitigazione dell'impatto paesaggistico:

- viabilità montana e generale;
- strade forestali;
- piste ed impianti per lo sci;
- opere di regimazione torrentizia e fluviale;
- infrastrutture varie;

Interventi di ripristino e rinaturalizzazione di ambiti territoriali degradati:

- cave;
- discariche;
- tratte di aste torrentizie e fluviali;
- casse d'espansione;
- bacini di deposito;
- ambienti umidi.

Naturalmente l'ingegneria naturalistica può sostituire l'ingegneria classica solo in parte e nelle condizioni fisiche ed ambientali adatte. D'altra parte è innegabile la necessità di difendere abitati e infrastrutture che potrebbero essere interessati dai fenomeni alluvionali, che in una regione montana sono assolutamente naturali e sicuramente destinati a ripetersi. E' necessario pertanto ricercare un punto di equilibrio, che sarà necessariamente diverso in ogni situazione, stante la variabilità delle componenti del sistema, e che dovrà mediare le esigenze di difesa del suolo con le problematiche ambientali legate alla costruzione e alla presenza delle opere di sistemazione.

Non si tratta quindi di rinnegare completamente la validità e l'opportunità di alcuni interventi di difesa del territorio, anche ad elevato impatto, ma di studiare la possibilità di mitigarne gli effetti negativi e/o di valutare l'eventualità di applicare le tecniche di ingegneria naturalistica che sempre più vanno diffondendosi in Europa. Lo scopo dell'ingegneria naturalistica secondo 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, mitigando così il loro impatto sia a livello estetico-paesaggistico che naturalistico”*.

Al di là delle scelte progettuali, che dovranno basarsi su un'attenta analisi puntuale, è importante conoscere le caratteristiche vincolanti degli interventi su base biologica.

Alcuni limiti e problemi operativi sono i seguenti:

- nella media le maestranze che operano sui cantieri hanno spesso scarsa dimestichezza e manualità con interventi a spiccata connotazione biologica ed agricolo-forestale;
- la stagionalità che in genere caratterizza gli interventi su base biologica. I lavori devono essere effettuati nelle stagioni in cui il materiale vegetale è allo stadio vegetativo adatto e/o nelle stagioni in cui le caratteristiche climatiche locali sono favorevoli all'attecchimento della vegetazione;

- gli interventi di ingegneria naturalistica, non essendo in genere di effetto immediato, richiedono momenti di controllo, di verifica e manutenzione, per un periodo di tempo dopo la loro realizzazione;
- la reperibilità dei materiali vegetali viventi, che devono riguardare specie e varietà più adatte alle particolari stazioni montane.

2.2 I MATERIALI UTILIZZATI

Così come affermato in precedenza, le tecniche dell'ingegneria naturalistica ricorrono per lo più all'utilizzo di materiali naturali, vivi o morti, spesso in combinazione con altri materiali artificiali o inerti.

I materiali a disposizione per la realizzazione di opere mediante le tecniche dell'ingegneria naturalistica possono essere schematizzati nel seguente modo:

- *materiali organici*
 - materiali vegetali viventi
 - materiali vegetali morti
- *materiali artificiali*
 - materiali a base naturale
 - materiali completamente sintetici (geotessili)
- *materiali inerti*

La combinazione di diversi materiali rende ampia la gamma di possibilità offerte dalle tecniche dell'ingegneria naturalistica. A tal proposito le schede riportate alla fine del paragrafo 2.3., che riguardano le principali caratteristiche di alcune opere di ingegneria naturalistica, mettono in evidenza un ventaglio di interventi che spazia da opere con solo impiego di materiali vegetali viventi e/o morti come le schede I-XVI, XXIII-XXXI, XLII-XLVIII e LII-LIV oppure opere con utilizzo di combinazioni di materiali quali i geotessili con materiali naturali, schede XX e XXII, o ancora combinazioni di materiali inerti con parti vegetali, schede XVII-XIX, XXI, XXXII-XLI e XLIX-LI.

2.2.1 Materiali vegetali viventi

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

- a) *sementi*: insieme di semi della stessa specie destinati alla semina;
- b) *semenziali*: piantine appena nate dal seme;

- c) *trapianti di specie arbustive od arboree*;
- d) *talee di specie arbustive od 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 in breve tempo; questa capacità è insita in diverse specie quali: salici, pioppi, noccioli ecc. Le talee possono presentarsi sotto varie forme:
- Piantoni: talee giovani (da rametti, getti, bastoni secondo lo spessore), non ramificate, di uno o più anni, con spessore da 1 a 5 cm e lunghezza da 25 a 40 cm;
 - astoni: talee con getti apicali forniti di gemme terminali, lunghe da 1,5 a 2,5 m, con spessore qualsiasi, diritte e poco ramificate (per salici arborei e pioppi);
 - arbustame: rami interi con tutte le diramazioni, lunghi almeno 50 cm;
 - picchetti: parti di astoni diritti, con diametro di almeno 3 cm e lunghezza di almeno 50 cm.
- e) *radici e rizomi*: i rizomi sono fusti sotterranei ispessiti che si distinguono nettamente dalle radici per la struttura e le foglie inferiori squamiformi;
- f) *piante erbose (zolle)*.

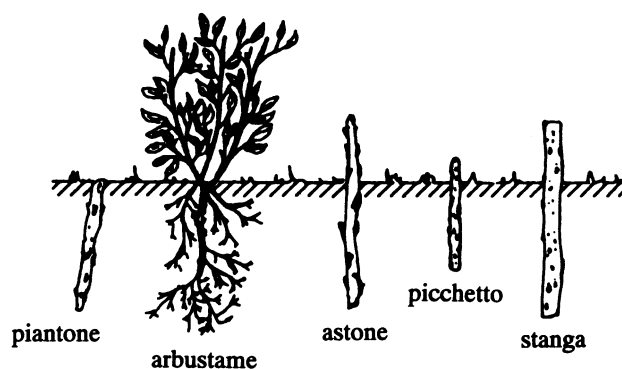


Figura 2.2 - Tipi di talee (Di Fidio M., I corsi d'acqua, Sistemazioni naturalistiche e difesa del territorio - Pirola, 1995).

La scelta del materiale vegetale vivente va fatta tenendo in considerazione gli obiettivi e la localizzazione degli interventi, ovvero in linea di massima è opportuno utilizzare specie vegetali o sementi che si trovano in stazioni analoghe a quelle dove si interviene.

Le specie scelte devono essere necessariamente pioniere, con larga amplitudine ecologica e, contrariamente alle piantagioni di interesse ed uso esclusivamente ornamentale, per i quali l'effetto estetico rappresenta il requisito primario, è condizione essenziale che il materiale vegetale da adoperare abbia attitudine biotecnica, in particolare le piante devono:

poter crescere su terreno inerte;

esser resistenti alle sollecitazioni meccaniche;

produrre un effetto di consolidamento del terreno, cioè formare una massa quanto più estesa possibile di radici resistenti allo strappo;

avere un'alta velocità di radicazione, devono cioè svilupparsi velocemente, disgregando e migliorando il terreno durante la crescita.

L'uso di parti legnose presuppone la scelta ad elevata capacità di propagazione vegetativa: quindi radicazione immediata e ricaccio della parte aerea della pianta, dove con il termine tecnico "ricaccio" si intende la capacità di rimettere germogli, in questo caso, capacità di emettere, tramite gemme, getti aerei cioè i rami.

2.2.1.1. Le caratteristiche degli apparati vegetali

Le piante coprono superfici di terreno denudato, intercettano l'azione battente della pioggia, trattengono e immagazzinano l'acqua meteorica, riducono il deflusso dell'acqua e impediscono l'erosione superficiale.

Misurazioni su ripide zone in erosione (*Florin Florineth; Andrich A., Dorigo G.* (A cura di): "CORSO DI FORMAZIONE PROFESSIONALE IN

INGEGNERIA NATURALISTICA” Atti delle giornata di studi 14-29 aprile 1994, Tipografia PIAVE , Belluno, 1994) hanno dimostrato, che durante il periodo vegetativo vengono asportati in media 300-1300 g di terreno per m², in una giornata durante un temporale violento (60 mm con grandine) è stato misurato un asporto di terreno di 5000 g/m², mentre aree inerbite di un’età di almeno tre anni dimostrano un asporto di terreno di 25-140 g/m² durante il periodo vegetativo, tappeti erbosi di origine naturale non sono soggetti ad un’attività erosiva misurabile.

Le popolazioni vegetali drenano il terreno consumando, attraverso l’evapotraspirazione (tabella 2.1), grandi quantità di acqua.

Vegetazione steppica	120-300 mm/anno
prati intensivamente coltivati	600-800 mm/anno
prati umidi	1200-1500 mm/anno
prati paludosi	2000-2500 mm/anno
popolamenti di pino silvestre	120-690 mm/anno
popolamenti di abete rosso	380-570 mm/anno
popolamenti di larice	460-590 mm/anno
popolamenti di faggio	500-550 mm/anno
popolamenti di querce	550-650 mm/anno

Tabella 2.1- Evapotraspirazione di popolamenti vegetali (*Florin Florineth; Andrich A., Dorigo G.* (A cura di): “CORSO DI FORMAZIONE PROFESSIONALE IN INGEGNERIA NATURALISTICA” Atti delle giornate di studi 14-29 aprile 1994, Tipografia PIAVE , Belluno, 1994).

Le piante fissano e sostengono il terreno attraverso le loro radici è, quindi, importante ottenere un terreno omogeneamente attraversato da radici e perciò cercare di creare un’alternanza di piante che radicano in profondità e in superficie.

Dal rapporto radice-parte aerea della pianta (tabella 2.2), calcolato col volume o peso delle rispettive parti vegetali, è possibile constatare che alcune piante hanno molte più radici che non germogli o foglie. Anche la resistenza all’estirpamento (tabella 2.3) delle piante è molto diversa, le specie che formano stoloni hanno una scarsa resistenza a trazione, mentre nelle altre graminacee e nelle erbe con apparato radicale profondo questa è molto superiore, arbusti ed alberi offrono una resistenza alla trazione fino a 5500 N. Un’idea più precisa circa le capacità delle piante di ancorare e consolidare il terreno è data dalla resistenza al taglio dei terreni attraversati da radici (misurata come massima sollecitazione laterale).

<i>arbusti e alberi</i>		<i>Piante erbacee</i>	
Salice glabro (<i>Salix glabra</i>)	2,4	Stipa species (<i>Stipa species</i>)	5-15
Lantana (<i>Viburnum Lantana</i>)	2,3	Equiseto arvense (<i>Equisetum arvense</i>)	5,5
Erica carnea (<i>Erica carnea</i>)	2,0	Rumes scutatus	5,5
Salice ripariolo (<i>Salix eleagnos</i>)	1,8	Nebbia (<i>Deschampsia caespitosa</i>)	1,6
Salice di monte (<i>Salix nigricans</i>)	1,8	Setaiola (<i>Festuca ovina</i>)	1,1
Ontano verde (<i>Alnus viridis</i>)	1,6	Antillide (<i>Anthyllis vulneraria</i>)	0,8
Salice rosso (<i>Salix purpurea</i>)	1,5	Millefolio (<i>Achillea millefolium</i>)	0,7
Frassino maggiore (<i>Fraxinus excelsior</i>)	1,5	Ginestrino (<i>Lotus corniculatus</i>)	0,7
Ligustro (<i>Ligustrum vulgare</i>)	1,2		
Acer montano (<i>Acer pseudoplatanus</i>)	1,1		
Olivello spinoso (<i>Hippophae rhamnoides</i>)	1,0		
Crespino (<i>Berberis vulgaris</i>)	0,6		
Salice comune (<i>Salix alba</i>)	0,5		

Tabella 2.2 - Rapporto tra il volume dell'apparato radicale e la parte aerea di diverse piante (*Florin Florineth; Andrich A., Dorigo G.* (A cura di): "CORSO DI FORMAZIONE PROFESSIONALE IN INGEGNERIA NATURALISTICA" Atti delle giornata di studi 14-29 aprile 1994, Tipografia PIAVE , Belluno, 1994).

La resistenza al taglio di un terreno dipende tuttavia molto dal suo contenuto di acqua: l'essiccazione del terreno tramite l'evapotraspirazione delle piante può aumentare molto di più la resistenza al taglio, che non l'armatura da parte delle radici.

In definitiva è possibile affermare che le proprietà stabilizzanti del terreno sono la risultante della forma dell'apparato radicale, dell'intensità di radicamento, della massa degli apparati radicali, della resistenza alla trazione delle radici e dell'attività della pedofauna e pedoflora (tabella 2.4).

<i>Specie</i>	<i>Forza di trazione (N)</i>	<i>Diametro della radice (mm)</i>	<i>Tensione di trazione (N/cm²)</i>
Gramigne delle vie (<i>Poa annua</i>)	1,04		
Agrostide bianca (<i>Agrostis stolonifera</i>)	1,24		
Festruca longifolia (<i>Festuca duriuscula</i>)	2,04		
Nebbia (<i>Deschampsia caespitosa</i>)	2,90		
Loglio perenne (<i>Lolium perenne</i>)	5,00		
Nardo Cervino (<i>Nardus stricta</i>)	7,60		
Bromo ungherese (<i>Bromus inernis</i>)	9,90		
Trifoglio ladino (<i>Trifolium repens</i>)	3,50	0,90	547,00
Antillide (<i>Anthyllis vulneraria</i>)	86,00	3,50	901,00
Trifoglio ibrido (<i>Trifolium hybridum</i>)	125,00	3,10	1658,00
Ginestrino (<i>Lotus corniculatus</i>)	142,00	3,60	1404,00
Bolognino (<i>Trifolium pratense</i>)	154,00	3,70	1438,00
Onobrychis sativa	350,00	10,00	443,00
Erba medica (<i>Medicago sativa</i>)	3250,00	30,00	460,00
Salicone (<i>Salix caprea</i>)	5500,00	85,00	97,00
Betulla verrucosa (<i>Betula pendula</i>)	3000,00	53,00	136,00
Carpino bianco (<i>Carpinus betulus</i>)	4000,00	78,00	83,00

Tabella 2.3 - Resistenza all'estirpamento di piante erbacee e latifoglie (*Florin Florineth; Andrich A., Dorigo G.* (A cura di): "CORSO DI FORMAZIONE PROFESSIONALE IN INGEGNERIA NATURALISTICA" Atti delle giornata di studi 14-29 aprile 1994, Tipografia PIAVE , Belluno, 1994).

Prova n°	Popolamenti di graminacee e leguminose	Sr (%)	τ (20) (kN/m ²)	$\Delta\tau$ (20) (kN/m ²)
1	Alopecurus geniculatus (Alopecurus geniculatus)	63	48,7	9 (23%)
2	Erba fienarola (Poa pratensis)	63	43,7	
3	Agrostide bianca (Agrostis stolonifera)	61	38,5	5,2 (16%)
4	Festuca dei prati (Festuca pratensis) Fusaiola (Festuca rubra) Erba fienarola (Poa pratensis) Bolognino (Trifolium pratense)	84	37,8	13,4 (55%)
5	Erba fienarola (Poa pratensis)	74	37,0	7,5 (25%)
6	Agrostide bianca (Agrostis stolonifera)	100	35,7	4,8 (16%)
7	Loietto italiano (Lolium multiflorum) Agrostide bianca (Agrostis stolonifera) Gramigne delle vie (Poa annua) Trifoglio ladino (Trifolium repens)	39	30,7	2,9 (9%)
8	Loietto italiano (Lolium multiflorum) Agrostide bianca (Agrostis stolonifera) Gramigne delle vie (Poa annua) Trifoglio ladino (Trifolium repens)	65	30,4	-0,6 (-2%)
9	Alopecurus geniculatus (Alopecurus geniculatus)	100	30,1	

Resistenza al taglio misurata come pressione laterale massima con un sovraccarico di 20 kN/m² τ (20) su semine pure di graminacee o su popolamenti misti di graminacee e leguminose elencate in ordine decrescente. (Tobias 1991)

Sr grado di saturazione di acqua del terreno

τ (20) resistenza al taglio calcolata con una tensione normale di 2020 kN/m²

$\Delta\tau$ (20) aumento della resistenza al taglio del terreno attraversato da radici in confronto ad uno privo di radici.

Tabella 2.4 - Resistenza al taglio (Florin Florineth; Andrich A., Dorigo G. (A cura di): "CORSO DI FORMAZIONE PROFESSIONALE IN INGEGNERIA NATURALISTICA" Atti delle giornate di studi 14-29 aprile 1994, Tipografia PIAVE, Belluno, 1994).

2.2.2 Materiali vegetali morti

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) *paglia o fieno*: fissati al suolo mediante picchetti e reti di materiale biodegradabile consentono una buona protezione dall’erosione superficiale;
- c) *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;
- d) *concimi organici*: da impiegarsi qualora il substrato sia povero di sostanze nutritive.

2.2.3 Materiali artificiali di derivazione naturale

2.2.3.1. Biostuoie

Svolgono funzione di protezione meccanica dall’azione delle gocce di pioggia, del ruscellamento e del dilavamento superficiale.

Sono indispensabili su terreni molto erodibili o per natura del versante o per ripidità, hanno lo scopo di impedire il degrado della superficie su cui si seminano specie erbacee.

Questo materiale svolge, inoltre, un ruolo fondamentale nel mantenere un tasso di umidità ed un valore delle temperature ideali e nel fornire sostanza organica nutritiva per la vegetazione. Quando la copertura vegetale si sviluppa, la biostuoia scompare biodegradandosi nel giro di qualche anno.

Ne esistono di vari tipi a seconda del tipo di materiale che le costituisce:

- filamenti di legno;
- trucioli di legno;
- paglia;
- paglia e fibre di cocco;
- cocco.

Generalmente il materiale di base è contenuto all'interno di retine di materiale plastico, fotodegradabile o meno, che aumenta la resistenza meccanica del materiale e ne impedisce la dispersione.

2.2.3.2. Geojuta

Si tratta di una rete costituita da corde di fibra di juta intrecciata e svolge la medesima funzione della biostuoia con minor efficienza rispetto all'azione delle gocce di pioggia e rispetto al mantenimento dell'equilibrio termico e all'apporto di materia organica. Sono indicate in situazioni di media o bassa difficoltà, sia dal punto di vista della posa in opera che delle caratteristiche chimico-fisiche del terreno, sono biodegradabili mediamente nell'arco di 8-10 anni. Sono vendute in balle.

2.2.4 Materiali completamente sintetici (Geotessili)

Tra i materiali artificiali che possono essere utilizzati con efficacia nell'ambito dell'ingegneria naturalistica, vi sono i geotessili che sono costituiti, di solito, da polimeri sintetici come polipropilene, poliesteri, polietilene, poliammidi, in casi particolari si usano fibre di vetro e fibre naturali: queste ultime quando sia necessaria la biodegradazione della struttura.

Il processo manifatturiero per produrre un geotessile si compone di due passaggi: il primo consiste nel produrre elementi lineari quali filamenti, fibre, materiali sottili e filati; il secondo consiste nel combinare gli elementi sopra elencati per realizzare una struttura planare detta manufatto. I manufatti possono essere di tre tipi: tessuti, lavorati a maglia e non tessuti.

I geotessili tessuti sono costituiti da due ordini di filamenti o filati paralleli, sistematicamente intrecciati in modo da formare una struttura piana. I geotessili tessuti a maglia sono formati tessendo a maglia uno o più filamenti o filati per formare una struttura planare. I geotessili non tessuti sono formati da fibre corte o filamenti combinati in modo ordinato o casuale, legati insieme in una struttura planare. Le fibre corte o i filamenti sono dapprima disposti a trama libera e poi legati insieme per conferire loro coesione, con uno, od una combinazione, dei seguenti trattamenti: chimico, termico, meccanico (agugliatura o agotrattamento, per esempio) (Da Deppo L., Datei C., Salandin P.: "Sistemazione dei corsi d'acqua". Edizioni Libreria Cortina, Padova, 1997).

I geotessili possono assolvere nel campo idraulico diverse funzioni: il controllo dei processi di filtrazione e drenaggio; la separazione di fasi terrose a diversa granulometria; il rinforzo delle terre.

Tra i principali vantaggi di natura tecnica, ma con rilevante incidenza economica, che hanno condotto ad un notevole sviluppo applicativo dei geotessili, si ricordano i seguenti:

- evitano l'impiego di materiali a granulometria differenziata quali si richiedono per la realizzazione dei filtri;
- evitano o riducono operazioni di drenaggi e bonifica del terreno di fondazione;
- riducono i costi di posa, manutenzione e ripristino.

2.2.4.1. Principali proprietà dei geotessili

Proprietà meccaniche

Per identificare un geotessile sono necessari, al minimo, i seguenti parametri: tipo di polimero, tipo di geotessile e massa per unità di area. Questi tre parametri caratterizzano le proprietà meccaniche dei geotessili quali il comportamento elastico, la resistenza ad uno sforzo concentrato e l'interazione meccanica con le terre.

In genere ad un geotessile si richiede un'elevata resistenza a trazione (tabella 2.5) ed un elevato modulo elastico. Anche il comportamento del geotessile sottoposto ad uno sforzo di trazione costante per un lungo tempo (creep) è un aspetto importante.

<i>Materiali</i>	<i>Funzione</i>	<i>Resistenza a trazione</i> [kN/m]
Griglie o reti in poliammide (nylon)	Antierosiva	1-3
Griglie o reti in polietilene	Sostegno (terre rinforzate)	30-110
Griglie o reti in polipropilene	Antierosiva	15-100
Griglie o reti in poliestere	Sostegno (terre rinforzate)	20-110
Reti a struttura alveolare (celle) in polietilene	Antierosiva	
Reti a struttura alveolare (celle) in poliestere	Antierosiva	
Tessuti in polipropilene	Sostegno (terre rinforzate)	20-80
Tessuti in poliestere	Sostegno (terre rinforzate)	150-1000
Sistemi misti	Antierosiva e di sostegno	

Tabella 2.5 - Resistenza a trazione di alcuni geotessili (AA.VV.: “Manuale tecnico di ingegneria naturalistica”. Centro di formazione professionale “O. Malaguti”, Regione Emilia-Romagna -Regione Veneto, 1993).

Proprietà fisiche

Importanti proprietà fisiche dei geotessili sono lo spessore e la dimensione dei pori. In base allo spessore i geotessili possono essere classificati nel seguente modo:

- sottili ed incomprimibili, come le geogriglie, la maggior parte dei tessuti e i non-tessuti termotrattati;
- spessi e più o meno comprimibili, quali i non-tessuti agotrattati e le reti.

Le dimensioni dei pori dei tessuti e dei non-tessuti possono variare da un micron a poche centinaia di micron, mentre le aperture delle reti, delle geogriglie e delle geocelle variano tra pochi millimetri e qualche centimetro. E' importante conoscere, per il progetto dei filtri, la porosità nel geotessile che può variare dal 50% al 90% nei geotessili spessi, mentre per quelli sottili ci si riferisce all'area di apertura percentuale, definita come il rapporto tra l'area aperta sull'area totale del campione.

Permeabilità verticale del geotessile

Tutti i geotessili sono permeabili ai liquidi e ai gas a meno di trattamenti particolari con resine e bitumi.

Il meccanismo di filtrazione verticale, attraverso un geotessile spesso, è simile a quello che avviene in una terra, è possibile quindi valutare la permeabilità dei geotessili facendo riferimento alla conduttività idraulica secondo la legge di Darcy. I valori tipici per i geotessili oscillano tra 10^{-3} cm/s e 1 cm/s.

Durabilità

La durata dei geotessili è funzione dell'azione esercitata dalle forze esterne, meccaniche e fisico-chimiche e dal tipo di polimero costituente il geotessile. La degradazione fisico-chimica può essere causata dalle condizioni atmosferiche e dal contatto con il terreno o con prodotti chimici.

I geotessili presentano un'elevata resistenza in terreni privi di inquinanti chimici, ma sono molto sensibili alle radiazioni ultraviolette, per tale motivo occorre evitare l'esposizione al sole per periodi superiori a poche settimane.

2.2.4.2. Tipologie di geotessili

Geotessili non tessuti

Sono materiali tessili costituiti generalmente da fibre di polipropilene o poliestere consolidate mediante agugliatura o termosaldatura (si consolidano anche chimicamente, ma è bene non utilizzare tali materiali in quanto, utilizzati in particolari terreni, possono dare reazioni chimiche non prevedibili).

Le proprietà che ne rendono interessante l'impiego sono :

- elevata resistenza a trazione, nei due sensi, dello strato di tessuto;
- notevole permeabilità e quindi funzione drenante sia in senso longitudinale che in senso trasversale;
- proprietà anticontaminante e quindi non inquinante;
- imputrescibilità e quindi lunga durata.

Questi materiali vengono utilizzati a contatto con terreni per svolgere svariate funzioni, quella più interessante ai fini dell'ingegneria naturalistica è senza dubbio la filtrazione della acque, infatti in virtù della struttura che i non tessuti possiedono, possono essere utilizzati come filtri che risultano permeabili all'acqua, ma non lasciano passare le particelle di terreno fini.

Geocompositi drenanti

Si tratta di combinazioni di uno o due geotessili fungenti da filtro, con una struttura aperta, come le reti tridimensionali, dotate di elevata permeabilità. Sono materiali in grado di sostituire i dreni tradizionali che sono costituiti da inerti puliti avvolti nel geotessile.

Questo materiale consente di realizzare trincee drenanti con i seguenti vantaggi:

- non sono richiesti inerti;

- si rimette in posto il terreno scavato per realizzare la trincea;
- sono leggeri, facili da trasportare, veloci da posare.

Geogriglie

Materiale geosintetico caratterizzato da elevate resistenze a trazione a fronte di basse deformazioni; tali caratteristiche possono durare per decine di anni.

Sono materiali impiegati nel rinforzo dei terreni perché consentono di rendere stabile un terreno anche su pendenze superiori al suo angolo di naturale declivio. Tecnologia che consente di rinverdire le scarpate mediante specie erbacee ed arbustive, può essere utilizzata per minimizzare l'impatto ambientale di: argini, parasassi, opere di contenimento al piede di frane, piste da sci strade, barriere antirumore, cave.

Le geogriglie possono essere realizzate con fibre polimeriche rivestite di PVC e PE o mediante la stiratura di lamiere forate di polietilene o polipropilene; sono caratterizzate dall'aver una struttura aperta a maglie di varie dimensioni. Il tipo di geogriglia deve essere scelto sulla base della resistenza a trazione necessaria, tenendo conto che le deformazioni della geogriglia devono essere compatibili con la stabilità dell'opera e che aumentano col tempo a carico costante (creep).

Altri fattori da considerare sono: il decremento di resistenza a trazione nominale dovuto al danneggiamento durante la posa in opera e l'effetto di aggressione chimica e biologica sul comportamento del materiale.

Geotessili tessuti

Sono materiali tessili caratterizzati, come affermato nel paragrafo 2.2.4., da trama e ordito, realizzati con fibre o nastri di polipropilene o poliestere. Vengono utilizzati con funzione di rinforzo come le geogriglie, con la differenza che possiedono struttura chiusa, che rende difficoltoso il

rinverdimento e che le fibre resistenti non sono mai protette e possono essere soggette ad un maggiore danneggiamento, specialmente durante la posa in opera.

Reti tridimensionali

Sono strutture tridimensionali di spessore variabile da 1 a 2 cm realizzate con filamenti aggrovigliati a polipropilene o poliammide, sono caratterizzate da un volume vuoto del 90%. Sono in grado di svolgere tre funzioni:

- trattenere strati sottili di terreno allo scivolamento;
- migliorare l'angolo della resistenza allo scivolamento lungo contatti tra terreno e superfici lisce (roccia, membrane sintetiche, cemento);
- rinforzare gli apparati radicali, aumentando la resistenza delle piante erbacee agli sforzi tangenziali delle correnti idriche.

Geocelle

Sono strutture costituite da strisce alte 5-10 cm, di plastica o non tessuto, disposte in modo da individuare spazi vuoti di forma a losanga o esagonali di dimensioni ed altezze diverse.

Consente di trattenere spessori di terreno più spessi rispetto alla rete tridimensionale, ma non realizza il rinforzo degli apparati radicali, permette di stabilizzare terreno vegetale anche su pendenze superiori a 45°, ma a causa della struttura molto aperta richiede l'abbinamento a biostuoie in caso di azioni intense di acque meteoriche.

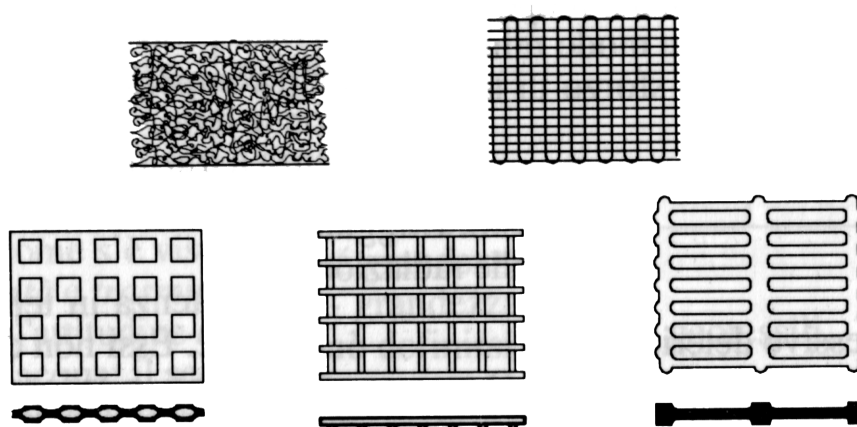


Figura 2.3 - Tipi di geotessile, da sinistra: geotessile non tessuto, tessuto, geocelle, rete, geogriglie (Da Deppo L., Datei C., Salandin P.: "Sistemazione dei corsi d'acqua". Edizioni Libreria Cortina, Padova, 1997).

2.2.5 Materiali inerti

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

- *pietrame*: viene impiegato spesso per opere di protezione, di consolidamento e, più raramente, di sostegno;
- *massi e rocce*: per realizzare le scogliere e le gettate di pietre naturali;
- *ferro e acciaio*: sono normalmente utilizzati quali elementi accessori di alcune tipologie di opere quali, ad esempio, le terre rinforzate.

Tra i materiali inerti utilizzati occorre inserire anche il calcestruzzo, il quale può essere impiegato, in taluni casi, in combinazione con materiali naturali, ma il suo utilizzo, nel campo ristretto dell'ingegneria naturalistica, è piuttosto limitato.

Se si spazia al di fuori del campo dell'ingegneria naturalistica, ma nel contesto della salvaguardia dei valori ambientali, risulta più diffuso l'impiego di rivestimenti particolari di opere in calcestruzzo con l'obiettivo di mitigare almeno l'impatto estetico che tali manufatti esercitano sull'ambiente circostante.

E' questo il caso di opere come quelle descritte nelle schede XXXVII, XXXVIII e XXXIX.

2.3 LE OPERE

E' possibile procedere ad una disamina delle principali opere di ingegneria naturalistica riprendendo la suddivisione molto sintetica effettuata circa le opere idraulico-forestali tradizionali:

- opere estensive;
- opere intensive.

Nelle pagine finali del paragrafo si riportano le caratteristiche delle più diffuse opere di ingegneria naturalistica, organizzate in schede sintetiche distinte per tipologie d'intervento.

La finalità delle schede consiste nel riassumere in modo conciso, ma pratico, le caratteristiche costruttive, le principali qualità e i limiti d'impiego delle opere.

Nella descrizione delle opere che segue, prendendo spunto dalla classificazione usata nel paragrafo 2.2., viene schematizzata la combinazione di materiali utilizzati nella realizzazione delle opere, i materiali impiegati sono indicati in grassetto e sottolineati. In tal modo si evidenziano le possibilità di utilizzo di tutti i materiali, di derivazione naturale o artificiale, nel campo delle singole tipologie d'intervento.

2.3.1 *Interventi estensivi*

Come già affermato nel capitolo 1, gli interventi intensivi si attuano sull'intera superficie dei versanti interessati da fenomeni erosivi e mirano a ricostituire la copertura vegetazionale e forestale, con funzioni protettive ed in subordine produttive. Essi consistono essenzialmente nel rivestimento vegetale, forestale o agrario del terreno e nella disciplina del deflusso idrico a mezzo delle cosiddette opere minori.

Gli interventi a carattere estensivo, in base alla sistematica introdotta da Schiechtl, si possono suddividere in:

- interventi di rivestimento;
- interventi stabilizzanti;
- interventi combinati;
- interventi complementari.

2.3.1.1. Interventi di rivestimento

Gli interventi di rivestimento sono quelli la cui funzione fondamentale consiste nell'azione coprente e protettiva e trovano largo impiego là dove è richiesta una protezione celere del suolo.

Essi consistono essenzialmente nel rivestimento vegetale, forestale o agrario del terreno tramite l'impiego di un gran numero di piante, di semi o di parti vegetali per unità di superficie, in particolare risulta fondamentale basarsi sull'utilizzazione di specie pioniere, autoctone, a rapido accrescimento.

Con questo tipo di interventi viene protetta la superficie del terreno dall'effetto dannoso delle forze meccaniche (pioggia battente, grandine, erosione idrica, eolica e da gelo) ed inoltre viene migliorato il bilancio dell'umidità e del calore favorendo così lo sviluppo della vita vegetale sia nel terreno che nello spazio aereo circostante.

Il cotico erboso crea, tra l'altro, un certo quantitativo di sostanza organica e, quindi, contribuisce in modo considerevole alla formazione di quello strato di humus idoneo per il successivo insediamento delle specie pioniere autoctone di tipo arbustivo od arboreo.

I rivestimenti vegetali hanno tanto più efficacia quanto più sono capaci di attenuare l'azione aggressiva della pioggia sul suolo, quanto maggiore è il volume di acqua che riescono a trattenere e disperdere nel sottosuolo sottraendolo in tal modo al deflusso superficiale, quanto più il loro apparato

radicale è denso, robusto e profondo, e quanto più rapidamente si sviluppano le piante insediate.

Il rivestimento predominante è quello erbaceo nel campo agrario ed il bosco in quello forestale.

Quest'ultimo, per esercitare un'efficace azione protettiva, deve trovarsi in equilibrio con l'ambiente, deve cioè essere sufficientemente sviluppato e integrato col suolo.

Gli effetti migliori si ottengono con boschi di latifoglie piuttosto che di essenze resinose oppure con boschi misti e con l'associazione di un consistente sottobosco e di "lettiera" spesso costituita da fogliame e ramaglie.

Le lettiere esplicano infatti una notevole azione di miglioramento della struttura fisica del terreno e un'efficace funzione protettiva del suolo ed inoltre migliorano la qualità delle acque di infiltrazione, di contro occorre ricordare che le lettiere, proprio a causa della loro costituzione in ramaglia e fogliame, alcune volte secchi, espongono più facilmente il bosco al rischio di incendi.

Tra i vari metodi di rinverdimento si possono ricordare i diversi tipi di semina e la messa a dimora di tappeti erbosi, talee o piantine di specie arbustive od 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 da una più rapida riuscita del rinverdimento.

In definitiva questo tipo di interventi tende all'ottenimento dei seguenti principali risultati:

- il contenimento dei processi erosivi;
- il ripristino di un ecosistema "paranaturale";

- il corretto inserimento degli interventi sotto il profilo estetico-paesaggistico, nonché naturalistico.

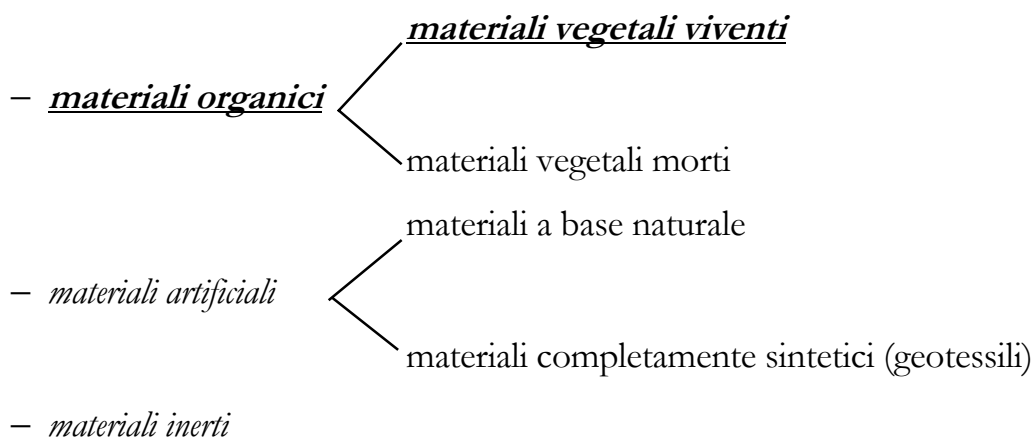
Semine di manti erbosi

Con singoli metodi di semina è possibile attivare biologicamente terreni sterili mediante una rapida formazione di associazioni edificatrici di erbe non graminoidi e di cotiche erbose. Il massimo delle possibilità tecniche le offre la semina contemporanea di cotiche erbose e di piante legnose.

Le schede riassuntive, inerenti le opere di rivestimento, riportate nelle pagine finali del paragrafo sono le seguenti:

- Scheda I) Inerbimenti;
- Scheda II) Semina con fiorume;
- Scheda III) Semina standard;
- Scheda IV) Idrosemina;
- Scheda V) Semina a mulch;
- Scheda VI) Semina a Mulch (Sistema “Schiechtl” o “Procedimento nero-verde”)
- Scheda VII) Semina di piante legnose;
- Scheda VIII) Copertura vegetale diffusa con ramaglia.

Interventi di rivestimento



2.3.1.2. Interventi stabilizzanti

Gli interventi stabilizzanti vengono utilizzati in pendici interessate da intensi fenomeni erosivi destabilizzanti causati da pendenze non compatibili con l'angolo di attrito del terreno, dove pertanto si rende necessario il consolidamento del terreno tramite la riduzione della pendenza della scarpata, drenaggi superficiali o poco profondi e strutture di sostegno per trattenere il materiale superficiale.

Con queste metodologie il consolidamento in una prima fase viene affidato ai soli materiali inerti, in un secondo momento gli effetti dell'intervento si esplicano soprattutto attraverso gli apparati radicali delle piante, grazie alla loro capacità di legare e consolidare in profondità il terreno, nonché di resistere alle sollecitazioni meccaniche esterne.

Con la formazione delle radici l'efficacia delle opere cresce sensibilmente e aumenta al crescere dell'età, ma la rapidità di risposta di tali opere dipende essenzialmente dalla densità delle opere a verde e dalle modalità con cui viene effettuata la messa a dimora.

Questi interventi sono sempre sistemi lineari o puntiformi, per cui essi devono essere completati normalmente per mezzo di interventi di rivestimento della superficie (inerbimenti).

Gradonate

Esistono tre tipi costruttivi di gradonate:

- le gradonate con impiego di piante radicate;
- le gradonate con impiego di ramaglia viva con capacità di propagazione vegetativa;
- le gradonate con impiego di latifoglie radicate e ramaglia viva.

Tutti e tre i tipi hanno in comune identici criteri relativi a lavori preparatori: vengono eseguiti dei terrazzamenti o gradoni con una profondità da 0,5 a 2,0 m, in terreni scoscesi si prendono i valori bassi.

Si parte dal piede delle scarpate con la costruzione dei gradoni, successivamente si predispongono dal punto di vista biologico i gradoni riempiendo con il materiale di sterro del gradone superiore quello inferiore.

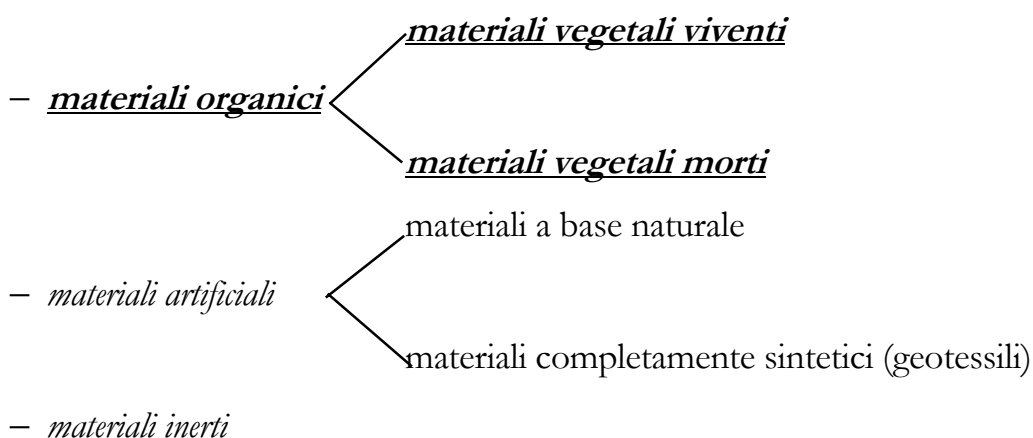
La costruzione delle gradonate avviene in orizzontale o inclinata, al più fino a 60 gradi, lungo le curve di livello, mentre il piano dei gradoni deve essere inclinato verso l'interno di 5-10°, la distanza tra i gradoni deve aggirarsi intorno a 1-3 m a seconda della pendenza del pendio e delle caratteristiche del terreno.

Di seguito si elencano le schede corrispondenti riportate successivamente:

- Scheda IX) Talee;
- Scheda X) Vimate e graticciate;
- Scheda XI) Fascinata viva;
- Scheda XII) Drenaggio con fascine;
- Scheda XIII) Cordonata (Praxl);

- Scheda XIV) Gradonata di latifoglie radicate;
- Scheda XV) Gradonata di ramaglia viva;
- Scheda XVI) Gradonata di latifoglie radicate e ramaglia viva.

Interventi stabilizzanti



2.3.1.3. Interventi combinati

Gli interventi combinati vengono utilizzati per la difesa del suolo dall'erosione, per il sostegno di scarpate e pendii instabili ed il consolidamento di fossi e piccoli alvei torrentizi, attraverso la integrazione di materiali da costruzione vivi (piante e parti di piante) con altri materiali inerti (sassi, calcestruzzo, legno, acciaio, materiale sintetico). La combinazione di elementi costruttivi inerti con materiali vivi rende immediato l'effetto che producono tali opere, praticamente subito dopo l'ultimazione dei lavori.

Mediante la radicazione e lo sviluppo delle piante e delle porzioni di piante vive impiegate, il grado di efficienza delle opere cresce continuamente al crescere dell'età.

Normalmente gli interventi combinati vengono eseguiti, in ordine di tempo, prima degli interventi stabilizzanti, di copertura e complementari, costruiti esclusivamente con materiali vivi.

Le schede riportate sono le seguenti:

- Scheda XVII) Muro a secco rinverdito;
- Scheda XVIII) Cuneo filtrante;
- Scheda XIX) Gabbionata rinverdita;
- Scheda XX) Materiali geotessili rinverditi;
- Scheda XXI) Elementi a reticolo spaziale rinverditi;
- Scheda XXII) Grata viva a camera.

Interventi combinati

- materiali organici
 - materiali vegetali viventi
 - materiali vegetali morti
- materiali artificiali
 - materiali a base naturale
 - materiali completamente sintetici (geotessili)
- materiali inerti

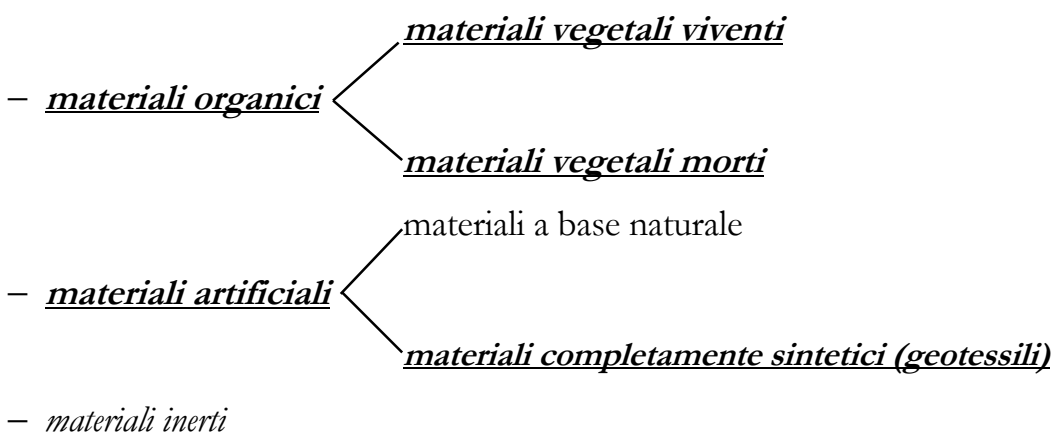
2.3.1.4. Interventi complementari

Gli interventi complementari hanno la funzione di arricchire e potenziare la vegetazione erbacea, arbustiva ed arborea in quei siti dove è necessario promuovere un adeguato sviluppo vegetazionale per la regimazione delle acque e per la protezione dall'erosione. Essi comprendono il rimboschimento e gli interventi silvo-colturali di miglioramento dei boschi e dei pascoli degradati.

Nella sezione apposita sono riportate le sotto elencate schede:

- Scheda XXIII) Trapianto di piante allevate con pane di terra, in vaso o in contenitori;
- Scheda XXIV) Traslazione di manti vegetali;
- Scheda XXV) Piantagione di rizomi e di cespi divisi;
- Scheda XXVI) Piantagione di rizomi sminuzzati.

Interventi complementari



2.3.2 *Interventi intensivi*

L'impiego di tecniche di ingegneria naturalistica nelle sistemazioni idrauliche dei bacini montani presenta alcune limitazioni che occorre evidenziare per poter adottare di volta in volta la soluzione tecnica migliore.

Efficacia, impatto ambientale e convenienza economico-sociale sono i principali parametri di confronto che occorre analizzare per valutare le diverse alternative, spaziando in tal modo dal non-intervento negli ambienti più naturali e delicati fino all'esclusiva considerazione delle esigenze di massima sicurezza negli ambienti antropizzati.

Nelle aree a più alta quota e negli stretti alvei incassati delle aste torrentizie conviene intervenire con briglie di ridotte dimensioni, sia a struttura piena che aperta, cercando di limitare al massimo l'utilizzo del calcestruzzo, in favore dei materiali naturali lapidei e legnosi reperibili in sito. Questi ultimi in molti bacini di montagna si dimostrano essere gli unici materiali utilizzabili con convenienza, sia a causa delle difficoltà di accesso ai cantieri con i mezzi di trasporto e d'opera, sia per esigenze ambientali, in particolare nelle zone a parco, dove l'uso di materiali locali oltre a contenere i costi di realizzazione consente inserimenti ambientali più appropriati.

Negli alvei di fondo valle risulta necessario invece intervenire spesso con strutture di notevoli dimensioni, per esempio con briglie di consolidamento, che comportano il ricorso inevitabile al calcestruzzo o a calcestruzzo misto a scogliera, come materiali da costruzione i cui effetti visivi poco gradevoli possono essere mitigati col rivestimento delle superfici piane con blocchetti di pietra tipica della zona.

Valutata l'opportunità di intervenire con tecniche più o meno biologiche occorre considerare una serie di fattori biotici, abiotici e antropici che intervengono nella scelta della sistemazione.

Per esempio tra i fattori abiotici l'orografia e, in particolare, la pendenza

costituiscono un limite molto netto per poter applicare alcune tecniche: una parte degli interventi a carattere naturalistico può trovare impiego solo per aste fluviali con pendenza massima del 3%, definendo condizioni che si verificano nei corsi d'acqua montani e collinari solo per brevi e limitati tratti. Sempre tra i fattori abiotici particolare importanza riveste il regime idraulico soprattutto in riferimento al trasporto solido: il rotolio di materiale lapideo di medie e grosse dimensioni può danneggiare in maniera anche molto grave le opere con materiale vegetale vivente.

Per quanto riguarda i fattori antropici un limite è costituito dalla possibilità di lavorare solamente per periodi relativamente ristretti a causa, per esempio, delle condizioni meteorologiche ed è quindi necessaria un'accurata organizzazione del lavoro.

Per una migliore descrizione delle opere intensive nel seguito verrà osservata la seguente classificazione:

- opere trasversali;
- opere longitudinali;
- cunettoni e canalizzazioni.

2.3.2.1. Opere trasversali

Le opere trasversali comprendono tutte quelle opere che interessano l'intera larghezza della sezione trasversale del corso d'acqua che esplicano principalmente una funzione di correzione della pendenza del torrente e, quindi, la stabilizzazione del fondo alveo.

A tal scopo si ricorre a briglie e soglie di fondo che, seppur realizzate con materiali "naturali", non presentano sostanziali diversità rispetto a quelle tradizionali, per quanto riguarda gli aspetti idraulici.

Differenze si manifestano piuttosto nelle modalità di manutenzione di dette opere, in quanto la durabilità del legname, per esempio, e quindi la sua resistenza, è dipendente dalla frequenza e dall'entità dei cicli di sommersione e di successiva esposizione all'aria (*Valentini, 1893; Hofmann, 1936; Dubm, 1951*) (*Maione U., Brath A. (A cura di): "Moderni criteri di sistemazione degli alvei fluviali". Atti del corso di aggiornamento, Politecnico di Milano, Editoriale BIOS, Cosenza, 1994*).

Molto interesse rivestono, da un punto di vista idraulico, le opere di recupero di briglie, e/o soglie preesistenti, volte a ripristinare quella continuità dell'ecosistema che le strutture tradizionali avevano interrotto. In particolare si fa riferimento alle cosiddette "rampe" destinate a garantire da un lato la possibilità di risalita dell'ittiofauna lungo l'asta fluviale e nel contempo a non compromettere la funzionalità idraulica della struttura di sistemazione. A proposito delle rampe di risalita si rimanda all'apposito paragrafo 2.6.

Nel prosieguo, la descrizione delle opere trasversali si baserà sulla distinzione tra opere trasversali con utilizzo di materiale vivo e opere con utilizzo di soli materiali inerti.

Opere trasversali con utilizzo di materiale vivo

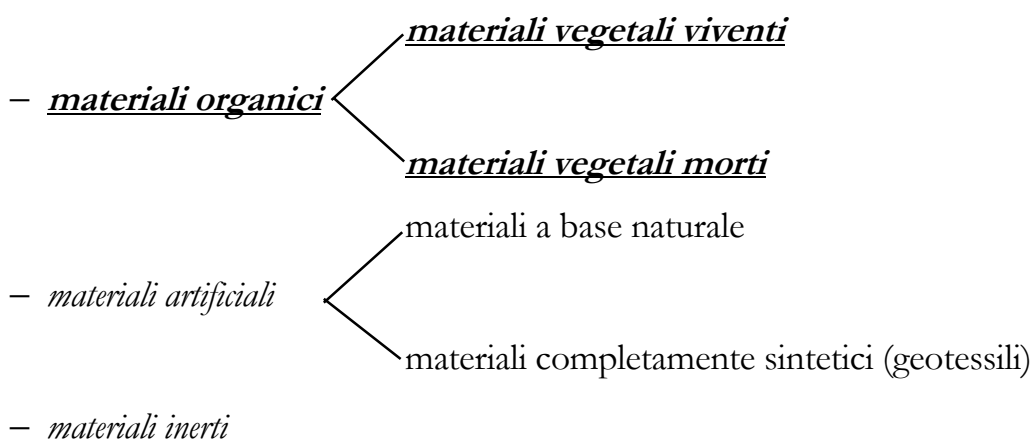
L'impiego di tali opere trasversali è limitato molte volte ai canali e fossi stretti, con portata di acqua modesta o intermittente. Esse servono soprattutto per evitare un ulteriore approfondimento del fondo del letto e per favorire l'interrimento o la ritenuta del materiale solido.

Le schede riguardanti questa tipologia di opere sono le seguenti:

- Scheda XXVII) Consolidamento di erosione lineare con ramaglia;
- Scheda XXVIII) Palizzate;
- Scheda XXIX) Soglia a cespuglio vivo interrata;
- Scheda XXX) Soglia di fascine;

- Scheda XXXI) Soglia di graticciate;
- Scheda XXXII) Soglia in gabbioni metallici;
- Scheda XXXIII) Soglia in legname;
- Scheda XXXIV) Palificata di sostegno viva;
- Scheda XXXV) Briglia di gabbioni;
- Scheda XXXVI) Briglia in blocchi.

Opere trasversali con utilizzo di materiale vivo



Opere trasversali con soli materiali inerti

Spesso negli ambiti montani le caratteristiche geo-morfologiche dell'asta, la ristrettezza degli spazi disponibili, la necessità di adottare elevati coefficienti di sicurezza in corrispondenza di centri abitati o di infrastrutture, fanno ancora propendere la progettazione verso tipi di opere classiche, intendendo in tal modo opere realizzate in calcestruzzo o muratura di pietrame: anche in questi casi, tuttavia, una maggiore sensibilità nella progettazione e nella realizzazione dei lavori permette di attenuare l'impatto ambientale degli interventi.

E' possibile, infatti, mitigare l'impatto sull'ambiente e sul paesaggio che queste strutture possono esercitare, mediante l'utilizzo di rivestimenti particolari in sintonia con lo spazio circostante oppure l'utilizzo di materiali da costruzione

propri del sito (legname, materiale lapideo, pietre da taglio per rivestimento ecc.).

Per questa categoria di opere le schede riportate sono:

- Scheda XXXVII) Briglia a fessura in calcestruzzo con rivestimento in pietre e legname;
- Scheda XXXVIII) Briglia in scogliera e calcestruzzo;
- Scheda XXXIX) Briglia in calcestruzzo con rivestimento in legname e pietrame;
- Scheda XL) Briglia in pietrame e malta;
- Scheda XLI) Briglia in legname e pietrame.

Opere trasversali con soli materiali inerti

- materiali organici
 - materiali vegetali viventi
 - materiali vegetali morti
- *materiali artificiali*
 - materiali a base naturale
 - materiali completamente sintetici (geotessili)
- **materiali inerti**

2.3.2.2. Opere longitudinali

Per opere longitudinali si indicano manufatti diversi con sviluppo prevalente nella direzione della corrente fluviale, quali muri di sponda, scogliere, paratie in calcestruzzo, palancole metalliche, rivestimenti spondali, consolidamenti a verde, pennelli, repellenti.

Per una corretta progettazione delle opere “naturalistiche” di sistemazione dei corsi d’acqua nel senso longitudinale, occorre considerare, in particolare modo, la necessità di valutare la resistenza che i materiali, vegetali e non, sono in grado di offrire all’azione di trascinamento della corrente, soprattutto durante gli eventi di piena.

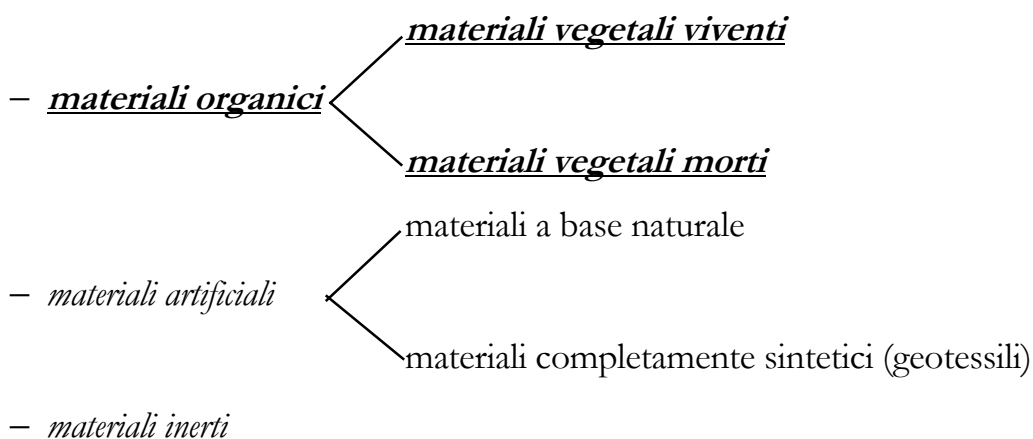
Per la trattazione di questo argomento si rimanda al paragrafo 2.4.

Le schede riportate alla fine del paragrafo riguardano le principali opere longitudinali di ingegneria naturalistica e fanno riferimento all’utilizzo di materiali vivi, tralasciando il caso di opere tradizionali il cui impatto sull’ambiente viene mitigato con particolari accorgimenti costruttivi, così come fatto per le opere trasversali.

Le schede sono le seguenti:

- Scheda XLII) piantagione di culmi di canna;
- Scheda XLIII) trapianto di canneto con pane di terra;
- Scheda XLIV) rullo con pani di terra;
- Scheda XLV) impianto di talee nei selciati eseguiti con pietre naturali;
- Scheda XLVI) posa in opera di ramaglia su rivestimenti di pietrame;
- Scheda XLVII) fascinata viva;
- Scheda XLVIII) fastelli di rami e rametti;
- Scheda XLIX) opere longitudinali in ramaglia;
- Scheda L) sistemazione spondale elastica;
- Scheda LI) Repellenti in legname e pietrame o massi;
- Scheda LII) Repellente a cespuglio;
- Scheda LIII) Pettini vivi;
- Scheda LIV) Graticciata con ramaglia.

Opere longitudinali



Altre strutture longitudinali

La difesa con muri di sponda (in pietrame, in calcestruzzo o in cemento armato, in gabbioni metallici) è largamente diffusa nei tronchi fluviali che attraversano centri abitati, anche in tali casi emerge l'esigenza di mitigare

l'impatto ambientale di tali opere rivestendo le difese spondali in calcestruzzo o in c.a. con pietrame a vista e, nelle opere in pietrame a secco o in gabbioni metallici, favorire l'impianto di vegetazione negli spazi lasciati liberi tra i massi o i gabbioni.

Un altro tipo di struttura longitudinale di stampo prettamente naturalistico è la palificata di sostegno viva descritta nel paragrafo delle opere trasversali, l'esecuzione tecnica risulta essere identica, le palificate possono essere semplici o doppie.

L'ottimo effetto immediato che viene rapidamente e notevolmente potenziato con l'accrescimento delle piante, la tecnica di costruzione facile e rapida da eseguire rappresentano i vantaggi di questa struttura che però può essere costruita solo nel periodo di riposo vegetativo. Tipologia molto economica quando si ricava il legname nelle zone vicine, adatta per torrenti e fiumi con portata e trasporto solido molto oscillanti.

Le opere in gabbioni vengono favorevolmente utilizzate come opere longitudinali vive, i criteri di esecuzione della messa a dimora del materiale biologico sono identici a quelli precedentemente descritti per le opere trasversali, mentre per le caratteristiche dei gabbioni si rimanda al paragrafo 2.5.

Infine occorre ricordare che anche i materiali geotessili sono impiegati nella costruzione di opere longitudinali con modalità tecniche simili a quelle descritte nel paragrafo degli interventi combinati.

2.3.2.3. Cunettoni e canalizzazioni

In alcuni casi si rende necessario il ricorso al rivestimento completo dell'intera sezione del torrente, che viene reso inderodibile ed in qualche caso completamente impermeabile, costruendo così i cunettoni.

Quando le velocità non siano molto elevate ed il trasporto solido limitato i cunettoni diventano strutturalmente meno impegnativi e sono denominati canalette.

I cunettoni possono essere costruiti con conglomerato cementizio, spesso rivestiti con bolognini di pietra da taglio, che oltre a presentare requisiti estetici e biologici pregevoli, assicura una maggior resistenza all'erosione.

Nella sommità delle sponde possono essere inserite talee di salice; il loro sviluppo lungo il tratto rivestito dalle sponde deve tuttavia essere impedito per non aumentarne la scabrezza. Le figure 2.4, 2.5, 2.6 illustrano alcuni esempi di canalette in legname e pietrame.

La canaletta di figura 2.4 viene realizzata infiggendo, dopo lo scavo, i pali laterali inclinati ad un interasse di 1,50-2,00 m. Ogni 3 o 4 pali laterali inclinati vengono infissi anche dei pali verticali collegati alla struttura con tondame a funzione irrigidente.

Rivestite le sponde con pietrame posato a mano, vengono collocati al piede ed in sommità della parete due elementi di tondame che fissano il pietrame, specialmente quello di base. L'elemento di sommità deve iniziare e finire in corrispondenza dei pali verticali. La canaletta di figura 2.5 ha il fondo rivestito in pietrame, diviso, in senso longitudinale con tondame opportunamente ancorato in modo da formare campi lunghi 2-3 m. Le sponde sono realizzate con elementi di tondame ancorati tra loro: l'elemento di sommità è collegato a pali verticali che si infiggono alquanto sotto il fondo canaletta.

La canaletta rappresentata a destra della figura 2.5 si differenzia da quella rappresentata a sinistra solo per l'ancoraggio delle sponde. Nella fascia della sponda in corrispondenza degli ancoraggi inclinati vengono piantate talee di salice.

Le canalette realizzate negli alvei con forte pendenza sono spesso costruite con una successione di tronchi seguiti ciascuno da un salto di fondo. I salti di

fondo, limitando la pendenza, rendono più stabile il manufatto; l'influenza sulla dissipazione d'energia è modesta.

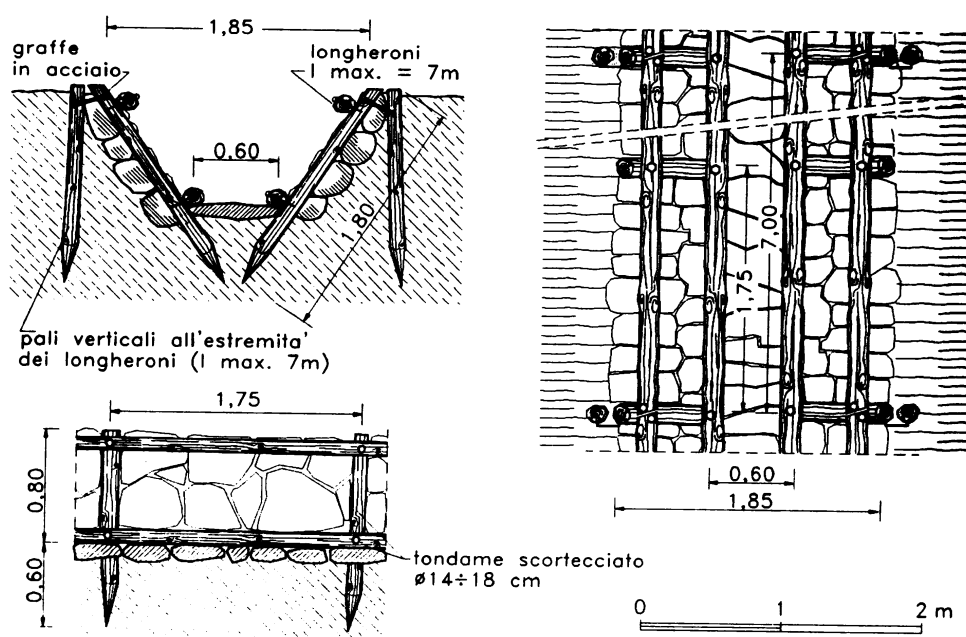


Figura 2.4 - Canaletta rivestita di pietrame con intelaiatura in legname (Da Deppo L., Datei C., Salandin P., *Sistemazione dei corsi d'acqua*, - Istituto di Idraulica "G. Poleni"- Università di Padova - Edizioni Libreria Cortina, 1997).

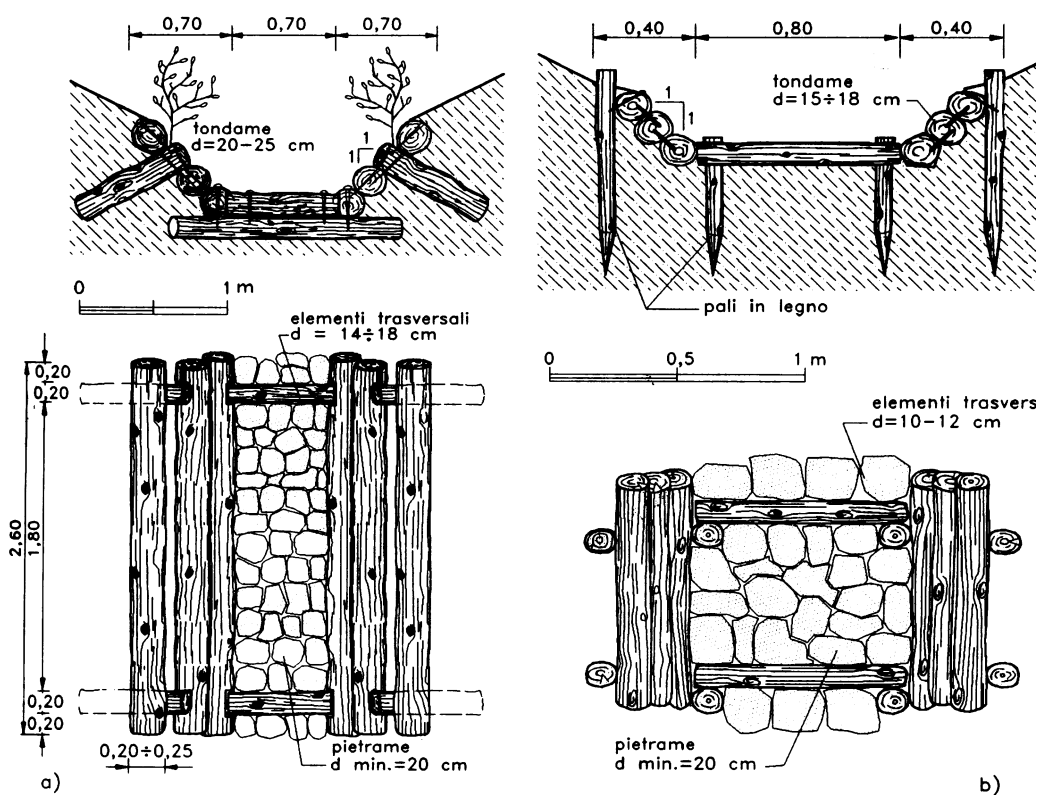


Figura 2.5 - Canalette con fondo in pietrame e sponde in legname (Da Deppo L., Datei C., Salandin P., Sistemazione dei corsi d'acqua, - Istituto di Idraulica "G. Poleni"- Università di Padova - Edizioni Libreria Cortina, 1997).

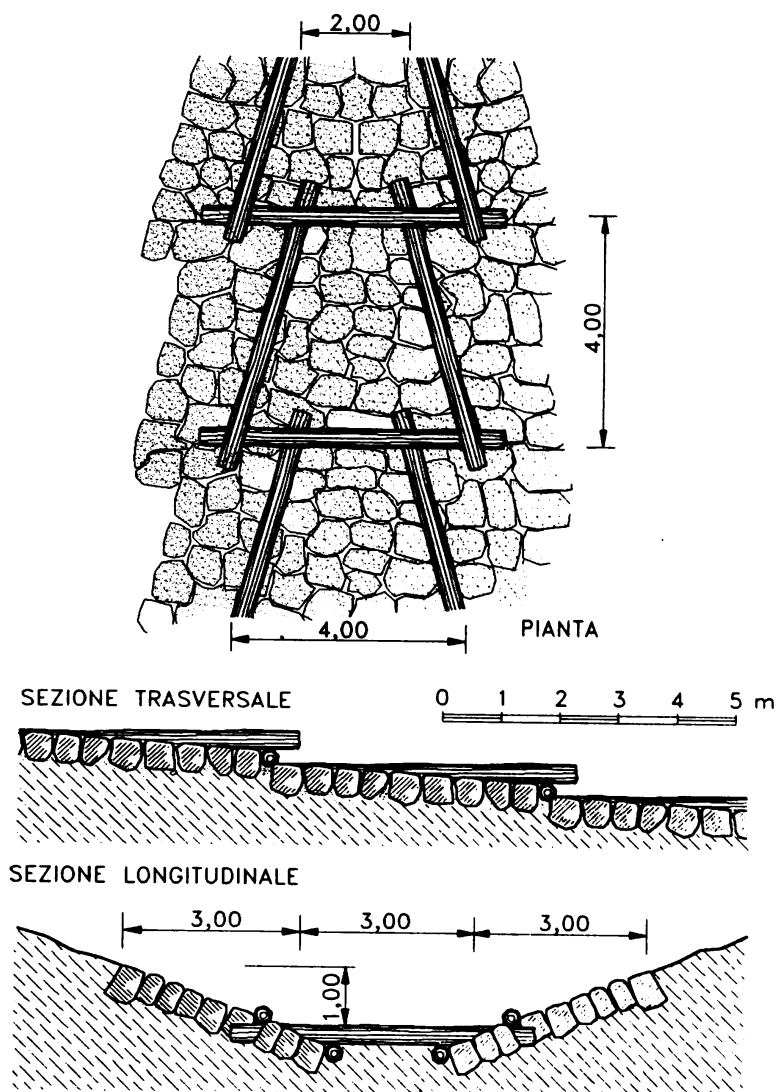


Figura 2.6 - Canaletta in legname e pietrame con salti di fondo (Da Deppo L., Datei C., Salandin P., *Sistemazione dei corsi d'acqua*, - Istituto di Idraulica "G. Poleni"- Università di Padova - Edizioni Libreria Cortina, 1997).

Interventi di rivestimento

SCHEDA I

Inerbimenti***Materiale da costruzione***

Per gli inerbimenti si utilizzano porzioni di vegetazione (zolle erbose) che si preparano in cantiere oppure manti erbosi coltivati artificialmente, reperibili in commercio come manti erbosi pronti, provvisti eventualmente anche di un rinforzo di rete metallica.

Le zolle erbose dovrebbero essere prelevate quanto più grosse possibili assieme al terreno compenetrato dalle radici, scavate a mano superano raramente le dimensioni di 40x40 cm, mentre nel prelievo meccanizzato in genere la dimensione è di circa 0,5 m².

I manti erbosi pronti vengono prodotti, o mediante semina su substrato artificiale riportato su pellicole in aiuole formatizzate, oppure mediante coltivazione di grandi aree su terreno profondo e privo di sassi. Le cotiche erbose ottenute sono disponibili in commercio della larghezza di 0,3-0,4 m e della lunghezza di 1,5-2,0 m, per lo più dello spessore di 2,5 cm, al massimo 4,0 cm, pesano dai 25 ai 30 kg/m², a seconda del substrato, del contenuto idrico e dello spessore.

Posa in opera**ZOLLE ERBOSE**

Il terreno viene tutto o in parte rivestito dalle zolle, non è consigliabile una disposizione a strisce o a scacchiera in quanto risalterebbero nel contorno ambientale per decenni come una misura artificiale, qualora si dovesse procedere per una disposizione a strisce o a scacchiera occorre riempire di terreno vegetale e seminare subito i riquadri non coperti da zolle. Se la pendenza è accentuata le zolle vengono fissate, ogni quarta o quinta zolla, con chiodi di legno o tondini di ferro della lunghezza di 30-50 cm, in modo che i

cavicchi non sporgano oltre la superficie della zolla oppure con una rete di ferro o di materiale plastico.

COTICO ERBOSO PRONTO

Le fasce più lunghe si dispongono verticalmente sui pendii, srotolandole dall'alto verso il basso, è necessario un fissaggio delle cotiche erbose sui pendii ripidi, come nel caso delle zolle, però le distanze fra i paletti possono essere più grandi, le cotiche pronte di piccolo formato vengono disposte come zolle erbose. Dopo la posa in opera le cotiche devono essere pressate o rullate. In alcuni casi è possibile rivestire i fossi di drenaggio con zolle erbose o con cotiche pronte per un deflusso senza danno delle precipitazioni idriche lungo le scarpate.

Fonti bibliografiche:

- *Andrich A., Dorigo G.* (A cura di): "CORSO DI FORMAZIONE PROFESSIONALE IN INGEGNERIA NATURALISTICA" Atti delle giornate di studi 14-29 aprile 1994, Tipografia PIAVE, Belluno, 1994.
- *A.A.VV.*: "Manuale tecnico di ingegneria naturalistica". Centro di formazione professionale "O. Malaguti", Regione Emilia-Romagna - Regione Veneto, 1993.
- *Benini G.*: "Sistemazioni idraulico-forestali". UTET, Torino, 1990.
- *Di Fidio M.*: "I corsi d'acqua - Sistemazioni naturalistiche e difesa del territorio". Pirola, Milano, 1995.
- *Maione U.*: "La sistemazione dei corsi d'acqua montani". Editoriale Bios, Cosenza, 1998.
- *Marzolo F.*: "Costruzioni idrauliche". Cedam, Padova, 1963.
- *Schiechl H.*: "Bioingegneria Forestale - Biotecnica naturalistica". Edizioni Castaldi, Feltre (BL), 1991.
- *Schiechl H., Stern R.*: "Ingegneria naturalistica - Manuale delle opere in terra". Edizioni Castaldi, Feltre (BL), 1992.
- *Schiechl H., Stern R.*: "Ingegneria naturalistica - Manuale delle costruzioni idrauliche". Edizioni ARCA, Gardolo (TN), 1994.
- *Veltri M.* (A cura di): "Studi in onore di Vincenzo Marone". Atti della giornata di studi del 25 Giugno 1993, Editoriale Bios, Cosenza, 1993.

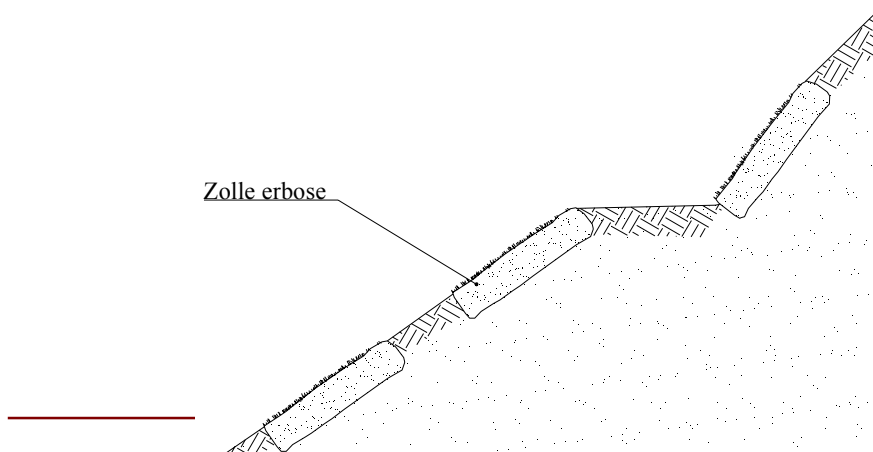


Figura 2.7 - Impiego di zolle erbose

Interventi di rivestimento

SCHEDA II

Semina con fiorume***Materiale da costruzione***

Il materiale da costruzione è costituito da 0,5-2,0 kg/m² di fiorume che si ottiene rastrellando i residui ricchi di seme sul pavimento dei fienili e da 40-70 g/ m² di concime complesso ternario minerale e granulare oppure concime animale a seconda della stazione. Se si impiega la semina con fiorume da sola, il fiorume deve contenere anche dei culmi.

Posa in opera

Si sparge il fiorume assieme ai culmi per uno spessore di qualche centimetro; per evitarne la dispersione, l'operazione deve avvenire su terreno umido oppure il fiorume deve essere bagnato prima di essere sparso. E' possibile seminare durante l'intero periodo vegetativo, meglio nel primo terzo.

Costi

La semina con fiorume da sola costa circa 0,3-0,5 ore lavorative/ m², in combinazione con altri metodi di semina aumenta del 10-30% circa.

Considerazioni

La semina con fiorume da sola viene presa in considerazione ancora solo nella regione alpina oltre il limite del bosco, dove non è più utilizzabile la semente in commercio.

Da raccomandare in combinazione con metodi moderni di semina per un miglior successo. Presenta lo svantaggio che il fiorume è difficilmente reperibile e solo in modica quantità.

Fonti bibliografiche:

- *Andrich A., Dorigo G.* (A cura di): "CORSO DI FORMAZIONE PROFESSIONALE IN INGEGNERIA NATURALISTICA" Atti delle giornate di studi 14-29 aprile 1994, Tipografia PIAVE, Belluno, 1994.
- *A.A.VV.*: "Manuale tecnico di ingegneria naturalistica". Centro di formazione professionale "O. Malaguti", Regione Emilia-Romagna -Regione Veneto, 1993.

- *Maione U.*: “La sistemazione dei corsi d’acqua montani”. Editoriale Bios, Cosenza, 1998.
- *Marzolo F.*: “Costruzioni idrauliche”. Cedam, Padova, 1963.
- *Schiechl H.*: “Bioingegneria Forestale - Biotecnica naturalistica”. Edizioni Castaldi, Feltre (BL), 1991.
- *Schiechl H., Stern R.*: “Ingegneria naturalistica - Manuale delle opere in terra”. Edizioni Castaldi, Feltre (BL), 1992.
- *Schiechl H., Stern R.*: “Ingegneria naturalistica - Manuale delle costruzioni idrauliche”. Edizioni ARCA, Gardolo (TN), 1994.

*Interventi di rivestimento**SCHEDA III***Semina standard*****Materiale da costruzione***

Per aree che dovranno essere occupate da bosco: leguminose singole o in miscuglio con specie di copertura annuali che sopportano i terreni grezzi. Per manti erbosi perenni: miscugli di sementi conformi alla stazione ed allo scopo.

Posa in opera

La semente viene sparsa sul terreno e leggermente interrata, la semina meccanica è possibile solo su scarpate pianeggianti, il periodo di lavoro migliore è quello d'inizio periodo vegetativo.

Costi

I costi dipendono dalla semente impiegata e dalla possibilità di meccanizzare il lavoro: da 0,01 a 0,04 ore lavorative/ m².

Considerazioni

Ha lo svantaggio di richiedere la presenza di terreno vegetale; è utilizzata come rinverdimento temporaneo o come semina intermedia nei rimboschimenti.

Fonti bibliografiche:

- *Andrich A., Dorigo G.* (A cura di): "CORSO DI FORMAZIONE PROFESSIONALE IN INGEGNERIA NATURALISTICA" Atti delle giornate di studi 14-29 aprile 1994, Tipografia PIAVE, Belluno, 1994.
- *AA.VV.*: "Manuale tecnico di ingegneria naturalistica". Centro di formazione professionale "O. Malaguti", Regione Emilia-Romagna - Regione Veneto, 1993.
- *Di Fidio M.*: "I corsi d'acqua - Sistemazioni naturalistiche e difesa del territorio". Pirola, Milano, 1995.
- *Maione U.*: "La sistemazione dei corsi d'acqua montani". Editoriale Bios, Cosenza, 1998.
- *Schiechl H.*: "Bioingegneria Forestale - Biotecnica naturalistica". Edizioni Castaldi, Feltre (BL), 1991.
- *Schiechl H., Stern R.*: "Ingegneria naturalistica - Manuale delle opere in terra". Edizioni Castaldi, Feltre (BL), 1992.
- *Schiechl H., Stern R.*: "Ingegneria naturalistica - Manuale delle costruzioni idrauliche". Edizioni ARCA, Gardolo (TN), 1994.
- *Veltri M.* (A cura di): "Studi in onore di Vincenzo Marone". Atti della giornata di studi del 25 Giugno 1993, Editoriale Bios, Cosenza, 1993.

*Interventi di rivestimento**SCHEDA IV***Idrosemina*****Materiale da costruzione***

Da 1 a 30 l/m² di prodotto in miscuglio pronto, composto da semente, concimi, sostanze di miglioramento del terreno (argille, limi, torba, compost ecc.), agglomeranti (bitumi, emulsioni sintetiche, colle organiche, cellulosa, ecc.) e acqua.

Posa in opera

Vengono mescolati in poltiglia semente, concime, sostanze di miglioramento del terreno, agglomeranti e acqua e si spruzza il prodotto in miscuglio sul suolo da rinverdire mediante una pompa incorporata per fluidi densi che genera la necessaria pressione. Si forma uno spessore di 0,5-2,0 cm che può essere anche più spesso in presenza di sassi sporgenti, in questo caso il materiale viene riportato con più passate.

Costi

Da 0,05 a 0,1 ore lavorative/m² a seconda della quantità di materiale impiegato.

Considerazioni

L'idrosemina si presta solo durante la stagione umida per luoghi ombreggiati, viene impiegata particolarmente per le scarpate ripide, rocciose e sassose, ma l'area deve essere accessibile con l'attrezzatura. Raggio d'azione con tubi flessibili, circa 150 m, senza tubi, circa 40 m al massimo; 25 m per la maggior parte delle macchine.

Fonti bibliografiche:

- *Andrich A., Dorigo G.* (A cura di): "CORSO DI FORMAZIONE PROFESSIONALE IN INGEGNERIA NATURALISTICA" Atti delle giornate di studi 14-29 aprile 1994, Tipografia PIAVE, Belluno, 1994.

- *AA.VV.*: “Manuale tecnico di ingegneria naturalistica”. Centro di formazione professionale “O. Malaguti”, Regione Emilia-Romagna -Regione Veneto, 1993.
- *Benini G.*: “Sistemazioni idraulico-forestali”. UTET, Torino, 1990.
- *Maione U.*: “La sistemazione dei corsi d’acqua montani”. Editoriale Bios, Cosenza, 1998.
- *Schiechl H.*: “Bioingegneria Forestale - Biotecnica naturalistica”. Edizioni Castaldi, Feltre (BL), 1991.
- *Schiechl H., Stern R.*: “Ingegneria naturalistica - Manuale delle opere in terra”. Edizioni Castaldi, Feltre (BL), 1992.
- *Schiechl H., Stern R.*: “Ingegneria naturalistica - Manuale delle costruzioni idrauliche”. Edizioni ARCA, Gardolo (TN), 1994.

Interventi di rivestimento

SCHEDA V

Semina a Mulch

Materiale da costruzione

Semente, concime, sostanze a mulch, cioè di ricoprimento come paglia triturrata, fieno, cellulosa o altri residui vegetali.

Posa in opera

Consiste nel cospargere sopra il terreno, sul quale precedentemente era stata effettuata una semplice semina o una idrosemina, uno strato di paglia trinciata contemporaneamente irrorata con una emulsione bituminosa che la lega sul terreno da ricoprire. E' possibile utilizzare apparecchi meccanici particolari come il Mulch-Spreader, il lavoro è da effettuarsi durante il periodo vegetativo.

Considerazioni

Lo strato di materiale di ricoprimento ha la funzione di proteggere la semina contro il dilavamento provocato dagli acquazzoni, l'inaridimento, l'asportazione da parte del vento e degli uccelli. Può essere impiegata solo in cantieri ben serviti da strade e per scarpate basse, estese in lunghezza; a causa delle costose macchine utilizzate possono essere trattate in modo economico solo aree superiori all'ettaro.

Fonti bibliografiche:

- *Andrich A., Dorigo G.* (A cura di): "CORSO DI FORMAZIONE PROFESSIONALE IN INGEGNERIA NATURALISTICA" Atti delle giornate di studi 14-29 aprile 1994, Tipografia PIAVE, Belluno, 1994.
- *A.A.VV.*: "Manuale tecnico di ingegneria naturalistica". Centro di formazione professionale "O. Malaguti", Regione Emilia-Romagna - Regione Veneto, 1993.
- *Benini G.*: "Sistemazioni idraulico-forestali". UTET, Torino, 1990.
- *Maione U.*: "La sistemazione dei corsi d'acqua montani". Editoriale Bios, Cosenza, 1998.
- *Schiechl H.*: "Bioingegneria Forestale - Biotecnica naturalistica". Edizioni Castaldi, Feltre (BL), 1991.
- *Schiechl H., Stern R.*: "Ingegneria naturalistica - Manuale delle opere in terra". Edizioni Castaldi, Feltre (BL), 1992.
- *Schiechl H., Stern R.*: "Ingegneria naturalistica - Manuale delle costruzioni idrauliche". Edizioni ARCA, Gardolo (TN), 1994.

Interventi di rivestimento

SCHEDA VI

Semina a Mulch con sistema Schiechtl (Procedimento nero-verde)***Materiale da costruzione***

A seconda della stazione e dello scopo da 10 a 50 g/m² di semente; da 300 a 700 g/m² di paglia a culmo lungo o fieno od altre fibre organiche o tecniche, affini alla struttura; da 40 a 60 g/m² di concime minerale o da 100 a 150 g/m² di concime organico; 0,25 l/m² di emulsione bituminosa stabile; 0,25 l/m² di acqua; differenti preparati tecnici e biologici a seconda della stazione.

Posa in opera

Il lavoro, che deve effettuarsi durante il periodo vegetativo, consiste inizialmente nel distendere sul terreno da rinverdire uno strato continuo di paglia a culmo lungo, che viene tenuta ferma mediante paletti, di legno o di ferro della lunghezza di 35 cm almeno, infissi nel terreno con una densità di almeno 1 pezzo/ m² collegati tra loro da filo di ferro. Successivamente a questa prima fase si procede alla semina, sopra il letto di paglia, di un miscuglio di semi di leguminose e graminacee e contemporaneamente alla fertilizzazione con il concime minerale e/o organico ed eventualmente si aggiungono sostanze atte a preparare e a stabilizzare il terreno o che stimolino la crescita. Infine sopra la paglia viene steso, mediante spruzzatori un sottile strato di emulsione bituminosa integrata con prodotti ormonici vegetali.

Costi

Dipendono dalla vastità dell'area e dallo scopo del rinverdimento e dai collegamenti viari, in linea di massima tra 0,06 e 0,2 ore lavorative/m².

Considerazioni

Il procedimento fu ideato da Schiechtl nel 1962 per sganciarsi dalla limitazione di dover avere strade vicine al cantiere che il sistema a Mulch

imponessa, perciò non occorre che il cantiere sia accessibile e tutte le fasi del lavoro possono essere compiute a mano o con mezzi meccanici. I sementi e i granuli di fertilizzante passano attraverso la paglia e si depositano sul terreno, mentre l'emulsione bituminosa fissa la paglia, impedisce così l'asportazione del seme da parte degli uccelli e degli agenti atmosferici, trattiene l'umidità del terreno e, per il colore scuro, aumenta l'assorbimento di calore.

La vegetazione erbacea spunta rapidamente, ingloba la paglia che rapidamente marcisce, le tracce di bitume scompaiono col tempo, tutto ciò contribuisce a rendere particolarmente efficace il metodo per difficili condizioni del terreno e stazioni avverse alla vegetazione. L'impiego di resine sintetiche in sostituzione del bitume ha portato ad una variante conosciuta col nome di *procedimento bianco-verde*.

Fonti bibliografiche:

- *Andrich A., Dorigo G.* (A cura di): "CORSO DI FORMAZIONE PROFESSIONALE IN INGEGNERIA NATURALISTICA" Atti delle giornate di studi 14-29 aprile 1994, Tipografia PIAVE, Belluno, 1994.
- *A.A.VV.*: "Manuale tecnico di ingegneria naturalistica". Centro di formazione professionale "O. Malaguti", Regione Emilia-Romagna - Regione Veneto, 1993.
- *Benini G.*: "Sistemazioni idraulico-forestali". UTET, Torino, 1990.
- *Schiechl H.*: "Bioingegneria Forestale - Biotecnica naturalistica". Edizioni Castaldi, Feltre (BL), 1991.
- *Schiechl H., Stern R.*: "Ingegneria naturalistica - Manuale delle opere in terra". Edizioni Castaldi, Feltre (BL), 1992.
- *Schiechl H., Stern R.*: "Ingegneria naturalistica - Manuale delle costruzioni idrauliche". Edizioni ARCA, Gardolo (TN), 1994.

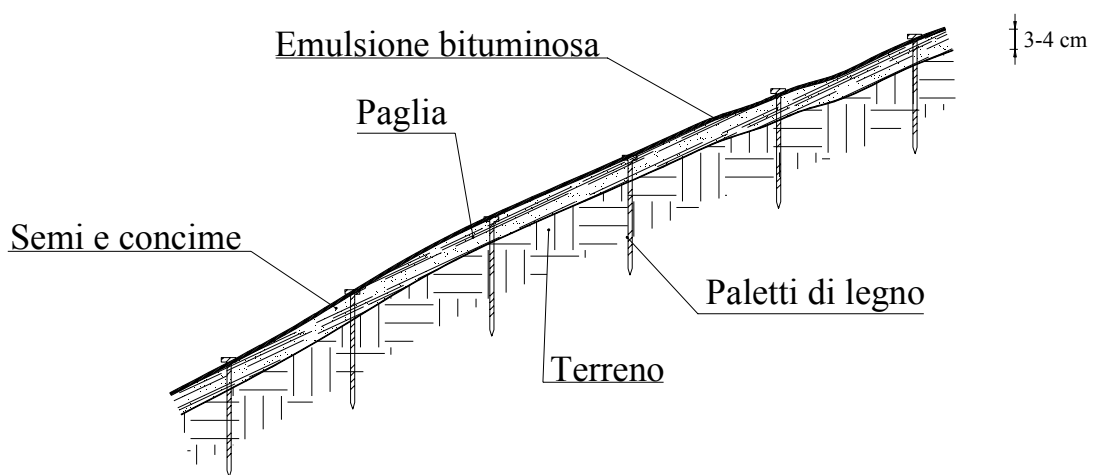


Figura 2.8 - Procedimento nero-verde

Interventi di rivestimento

SCHEDA VII

Semine di piante legnose***Materiale da costruzione***

Semi di latifoglie, di conifere e di arbusti.

Posa in opera

Il lavoro deve essere effettuato in primavera o in autunno facendo riferimento ad uno dei diversi metodi di semina che derivano dalla selvicoltura, si può impiegare anche l'idrosemina, qualche difficoltà può trovarsi nell'approvvigionamento di semente conforme alla stazione, ma l'economicità e i buoni risultati su pendii scoscesi, sassosi e rocciosi rendono ideale questo tipo di intervento per ambienti così difficilmente accessibili.

Considerazioni

Le semine di piante legnose sono utilizzate in particolare in aree dove l'accessibilità risulta difficoltosa o impossibile, come i terreni ripidi sassosi, frammisti a rocce o frastagliati, oppure come intervento complementare su aree che a sistemazione naturalistica eseguita presentano vuoti o aree di discontinuità completamente prive di vegetazione.

Fonti bibliografiche:

- *Andrich A., Dorigo G.* (A cura di): "CORSO DI FORMAZIONE PROFESSIONALE IN INGEGNERIA NATURALISTICA" Atti delle giornate di studi 14-29 aprile 1994, Tipografia PIAVE, Belluno, 1994.
- *AA.VV.*: "Manuale tecnico di ingegneria naturalistica". Centro di formazione professionale "O. Malaguti", Regione Emilia-Romagna - Regione Veneto, 1993.
- *Di Fidio M.*: "I corsi d'acqua - Sistemazioni naturalistiche e difesa del territorio". Pirola, Milano, 1995.
- *Maione U.*: "La sistemazione dei corsi d'acqua montani?". Editoriale Bios, Cosenza, 1998.
- *Schiechl H.*: "Bioingegneria Forestale - Biotecnica naturalistica". Edizioni Castaldi, Feltre (BL), 1991.
- *Schiechl H., Stern R.*: "Ingegneria naturalistica - Manuale delle opere in terra". Edizioni Castaldi, Feltre (BL), 1992.
- *Schiechl H., Stern R.*: "Ingegneria naturalistica - Manuale delle costruzioni idrauliche". Edizioni ARCA, Gardolo (TN), 1994.
- *Veltri M.* (A cura di): "Studi in onore di Vincenzo Marone". Atti della giornata di studi del 25 Giugno 1993, Editoriale Bios, Cosenza, 1993.

Interventi di rivestimento

SCHEDA VIII

Copertura vegetale diffusa con ramaglia

Materiale da costruzione

Ramaglia con capacità di propagazione vegetativa, prevalentemente di salici arbustivi, a crescita quanto più possibile diritta. Per uno strato vengono impiegati da 20 a 50 verghe e rami per ml, se la lunghezza dei rami è uguale a quella della scarpata, in ogni caso la ramaglia deve essere almeno di 1,50 m di lunghezza, altrimenti vengono costruiti più strati che si sovrappongono per almeno 30 cm.

Posa in opera

Il lavoro deve effettuarsi durante il periodo di riposo vegetativo, essenzialmente consiste nel disporre la ramaglia sulla superficie della scarpata in modo talmente fitto da realizzare una copertura vegetale del terreno la più completa possibile (80%). Le estremità inferiori e più grosse delle verghe e dei rami devono essere inserite nel terreno, affinché possano emettere radici e non venire scoperte, inoltre le parti estreme dello strato più vicino all'acqua vengono assicurate nel terreno con sassi, fascine o viminate. La copertura vegetale diffusa viene costruita dall'alto verso il basso, di modo che gli strati inferiori vengano di volta in volta a sovrapporsi per 30 cm sulle estremità dello strato superiore. Ad una distanza delle file di 0,80-1,00 m la copertura vegetale viene assicurata con filo di ferro, verghe, fascine o viminate, mentre nella fila vengono posti, alla distanza di 0,75 m dei sottili paletti provvisti di una tacca oppure di un gancio, collegati con filo di ferro e ribattuti nel terreno, affinché la copertura risulti sempre compressa al terreno.

Costi

In funzione della conformazione della scarpata e della spesa per il materiale da costruzione, da 1 a 5 ore lavorative per m².

Considerazioni

Questo tipo di opera assicura una notevole resistenza al trascinamento, secondo Florineth (1982) 200 N/m² immediatamente dopo l'esecuzione, 300 N/m² dopo 15 mesi e 400 N/m² già al terzo anno, tutto ciò la rende particolarmente adatta per scarpate spondali fortemente minacciate dall'erosione, che abbisognano quindi di una protezione immediata e duratura. Tra gli svantaggi di questo tipo di intervento il notevole fabbisogno di materiale da costruzione vivo e l'alta intensità lavorativa.

Fonti bibliografiche:

- *Andrich A., Dorigo G.* (A cura di): "CORSO DI FORMAZIONE PROFESSIONALE IN INGEGNERIA NATURALISTICA" Atti delle giornate di studi 14-29 aprile 1994, Tipografia PIAVE, Belluno, 1994.
- *AA.VV.*: "Manuale tecnico di ingegneria naturalistica". Centro di formazione professionale "O. Malaguti", Regione Emilia-Romagna - Regione Veneto, 1993.
- *Maione U.*: "La sistemazione dei corsi d'acqua montani". Editoriale Bios, Cosenza, 1998.
- *Schiechl H.*: "Bioingegneria Forestale - Biotecnica naturalistica". Edizioni Castaldi, Feltre (BL), 1991.
- *Schiechl H., Stern R.*: "Ingegneria naturalistica - Manuale delle opere in terra". Edizioni Castaldi, Feltre (BL), 1992.
- *Schiechl H., Stern R.*: "Ingegneria naturalistica - Manuale delle costruzioni idrauliche". Edizioni ARCA, Gardolo (TN), 1994.

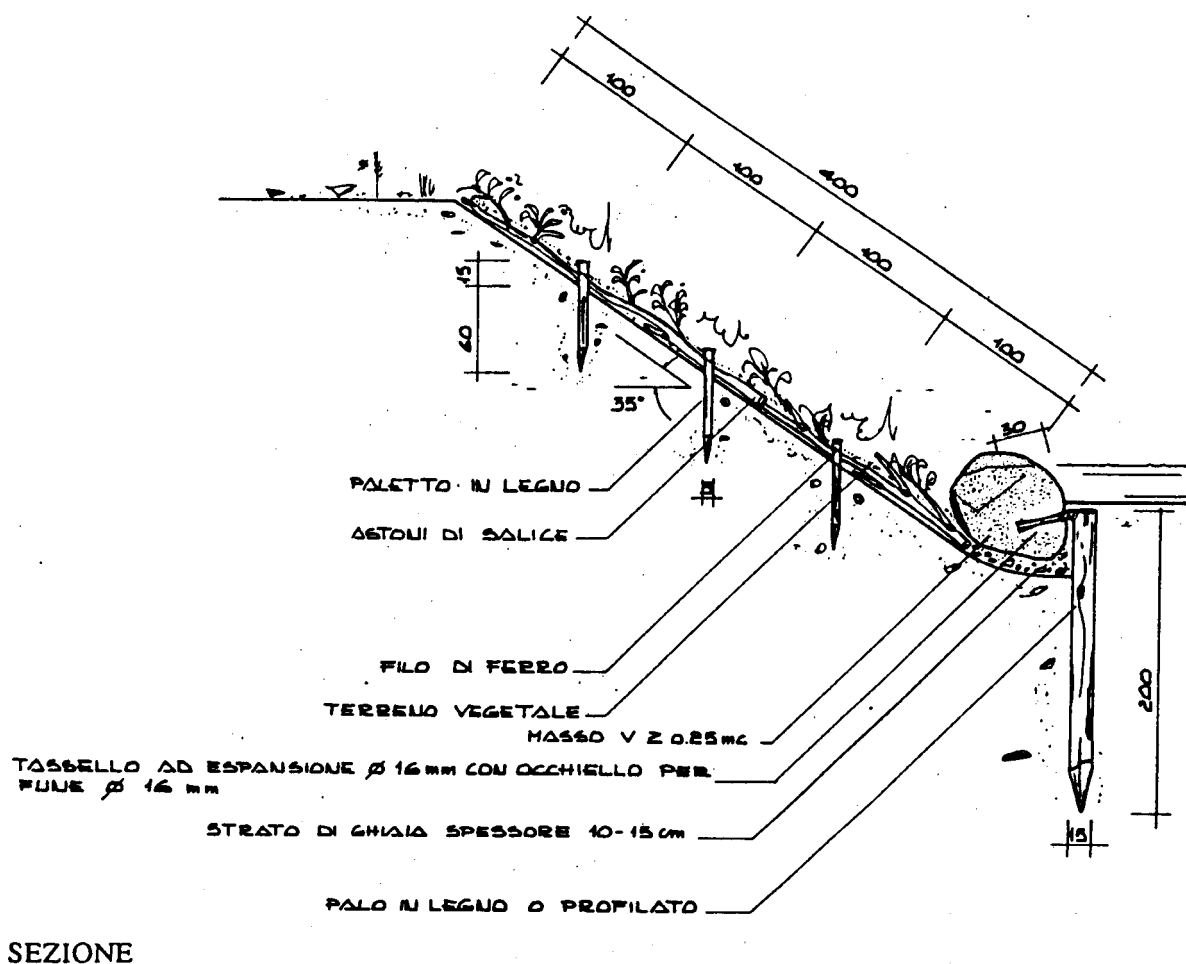


Figura 2.9 - Copertura diffusa con astoni (AA.VV.:Manuale tecnico di Ingegneria naturalistica, Centro di formazione Professionale "O. Malaguti", Regione Emilia-Romagna e Veneto, 1993).

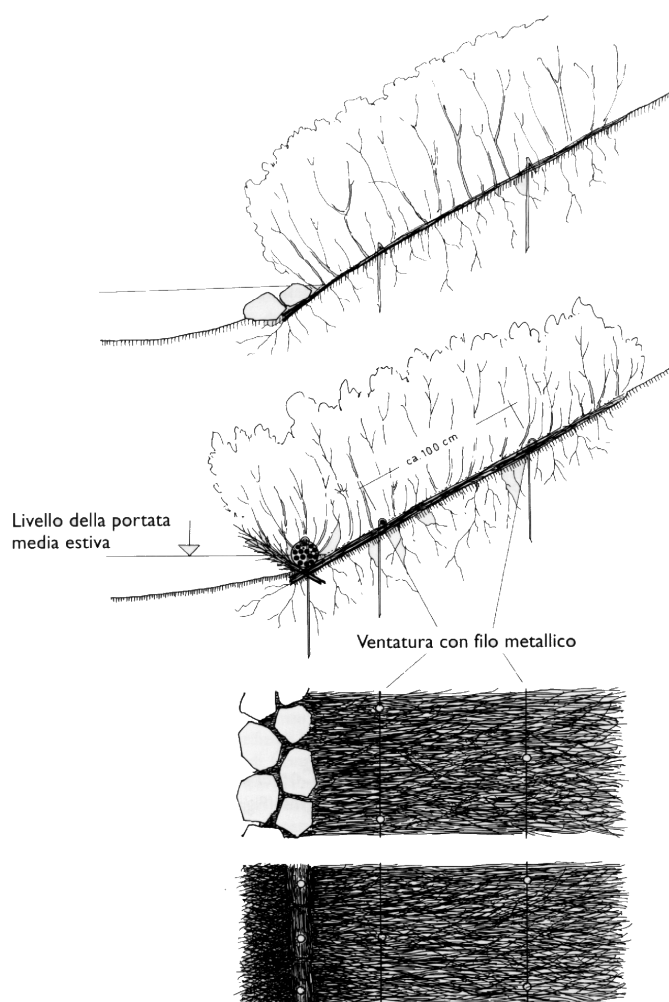


Figura 2.10 - Copertura vegetale diffusa. Consolidamento degli strati di ramaglia con pietre (sopra) o con fascine (sotto) (Schiechl H., Stern R.: "Ingegneria naturalistica - Manuale delle costruzioni idrauliche". Edizioni ARCA, Gardolo (TN), 1994).

SCHEDA IX

Talee***Materiale da costruzione***

Talee, cioè cacciate non ramificate, sane, di uno o più anni, di specie vegetali adatte, con un diametro da 1 a 5 cm e con lunghezza di almeno 40 cm.

Posa in opera

Le talee vengono assestate nel terreno con una mazza o a macchina mediante un martello pneumatico fornito di tubo adattatore, devono per questo presentare una superficie di taglio alla base inferiore obliqua per facilitare la posa in opera. Le talee possono sporgere solo poco dal terreno, fino ad un massimo di un quarto della loro lunghezza, per evitare che si dissecchino; esse vanno disposte in modo irregolare sulla superficie della scarpata, nei punti più adatti, con quantità dell'ordine di 2-5 pezzi/m². Il lavoro è da effettuarsi nel periodo del riposo vegetativo.

Costi

Molto conveniente si può far riferimento a 0,05-0,1 ore lavorative/talea oppure per talee nei pendii: da 5 a 7 m²/ora lavorativa, per la messa a dimora di talee nelle fessure: da 2 a 4 m²/ora lavorativa, compresi tutti i lavori collaterali e provvista delle talee.

Considerazioni

Tipologia molto impiegata in tutti i campi dell'ingegneria naturalistica, in particolare per una piantagione rapida di parti in pendio umide e anche per rapidi rinverdimenti di scogliere.

Fonti bibliografiche:

- *Andrich A., Dorigo G.* (A cura di): "CORSO DI FORMAZIONE PROFESSIONALE IN INGEGNERIA NATURALISTICA" Atti delle giornate di studi 14-29 aprile 1994, Tipografia PIAVE, Belluno, 1994.
- *AA.VV.*: "Manuale tecnico di ingegneria naturalistica". Centro di formazione professionale "O. Malaguti", Regione Emilia-Romagna - Regione Veneto, 1993.
- *Di Fidio M.*: "I corsi d'acqua - Sistemazioni naturalistiche e difesa del territorio". Pirola, Milano, 1995.
- *Maione U.*: "La sistemazione dei corsi d'acqua montani?". Editoriale Bios, Cosenza, 1998.

- *Marzolo F.*: “Costruzioni idrauliche”. Cedam, Padova, 1963.
- *Schiechl H.*: “Bioingegneria Forestale - Biotecnica naturalistica”. Edizioni Castaldi, Feltre (BL), 1991.
- *Schiechl H., Stern R.*: “Ingegneria naturalistica - Manuale delle opere in terra”. Edizioni Castaldi, Feltre (BL), 1992.
- *Schiechl H., Stern R.*: “Ingegneria naturalistica - Manuale delle costruzioni idrauliche”. Edizioni ARCA, Gardolo (TN), 1994.
- *Veltri M.* (A cura di): “Studi in onore di Vincenzo Marone”. Atti della giornata di studi del 25 Giugno 1993, Editoriale Bios, Cosenza, 1993.

Interventi stabilizzanti

SCHEDA X

Viminate e Graticciate

Materiale da costruzione

Verghe di piante legnose con capacità di propagazione vegetativa quanto più lunghe possibili, flessibili e che si possano intrecciare.

Posa in opera

Constano di paletti di legno, oppure aste di acciaio, di diametro da 3 a 10 cm e di lunghezza 1,00 m circa distanti tra loro 1,00 m e tra questi altri paletti o aste più corte ad intervalli di 50 cm oppure talee vive, tutti conficcati per almeno due terzi della loro lunghezza nel terreno, in posizione intermedia tra la verticale e la normale al terreno, collegati ed intrecciati con più ramate di salice che a contatto con il terreno attecchiscono e crescono rapidamente. E' necessario che il ramo più basso e le superfici di taglio dei rami superiori siano a contatto con il terreno e che il lavoro venga eseguito durante il periodo vegetativo affinché possano radicare. Anche i paletti possono essere di salice, pioppo, robinia capaci di rinverdire, più spesso si utilizza altro legname, che non rinverdisce ma più resistente.

Costi

Da 0,8 a 1,5 ore lavorative/ml.

Considerazioni

Queste opere rappresentano un tipo costruttivo di costo elevato, di notevole lavoro e di elevato consumo di materiale biologico, con effetto di radicazione relativamente modesto, vengono utilizzate per lo più in circostanze di pronto intervento nel caso di modeste frane di scivolamento, per trattenere terreno vegetale e in combinazione con altri tipi costruttivi come gli interventi di consolidamento spondali.

Fonti bibliografiche:

- *Andrich A., Dorigo G.* (A cura di): "CORSO DI FORMAZIONE PROFESSIONALE IN INGEGNERIA NATURALISTICA" Atti delle giornate di studi 14-29 aprile 1994, Tipografia PIAVE, Belluno, 1994.
- *AA.VV.*: "Manuale tecnico di ingegneria naturalistica". Centro di formazione professionale "O. Malaguti", Regione Emilia-Romagna - Regione Veneto, 1993.
- *Benini G.*: "Sistemazioni idraulico-forestali". UTET, Torino, 1990.
- *Da Deppo L., Datei C., Salandin P.*: "Sistemazione dei corsi d'acqua". Edizioni Libreria Cortina, Padova, 1997.
- *Di Fidio M.*: "I corsi d'acqua - Sistemazioni naturalistiche e difesa del territorio". Pirola, Milano, 1995.
- *Maione U.*: "La sistemazione dei corsi d'acqua montani". Editoriale Bios, Cosenza, 1998.
- *Marzolo F.*: "Costruzioni idrauliche". Cedam, Padova, 1963.
- *Schiechl H.*: "Bioingegneria Forestale - Biotecnica naturalistica". Edizioni Castaldi, Feltre (BI), 1991.
- *Schiechl H., Stern R.*: "Ingegneria naturalistica - Manuale delle opere in terra". Edizioni Castaldi, Feltre (BI), 1992.
- *Schiechl H., Stern R.*: "Ingegneria naturalistica - Manuale delle costruzioni idrauliche". Edizioni ARCA, Gardolo (TN), 1994.
- *Veltri M.* (A cura di): "Studi in onore di Vincenzo Marone". Atti della giornata di studi del 25 Giugno 1993, Editoriale Bios, Cosenza, 1993.

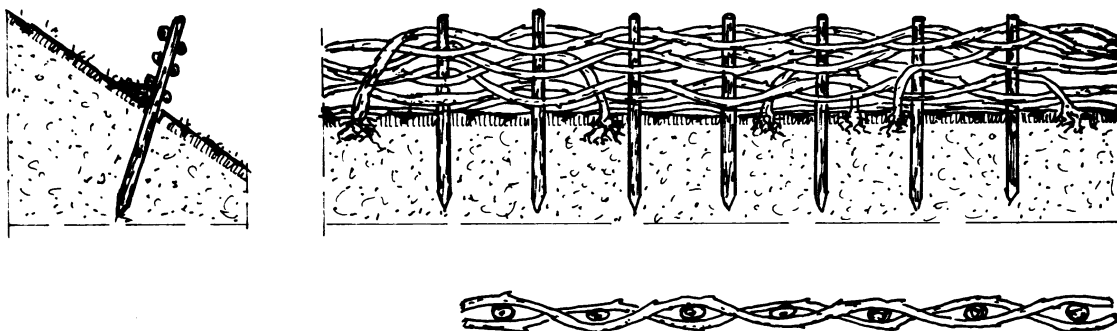


Figura 2.11 - Graticciate (*Benini G.*: "Sistemazioni idraulico-forestali". UTET, Torino, 1990).

Interventi stabilizzanti

SCHEDA XI

Fascinata viva***Materiale da costruzione***

Fascine (fasci di rami o bacchette) di 25-50 cm di diametro costituite da rami di piante legnose con capacità di diffusione vegetativa, quanto più lunghi possibile e diritti.

Posa in opera

In fossi profondi da 0,3 a 0,5 m ed altrettanto larghi, vengono sistemate delle fascine di specie legnose con capacità di propagazione vegetativa (salice, pioppo), è sufficiente che in ogni sezione trasversale della fascina siano presenti 5 verghe di almeno 1 cm di diametro. Le fascine vengono fissate al terreno con paletti in legno vivi o morti, lunghi almeno 60 cm, o con aste di ferro ad intervalli di circa 80 cm, i paletti o le aste devono essere conficcati in modo tale che l'estremità superiore sia al livello della fascina.

Immediatamente dopo la posa in opera i fossi vengono ricoperti, di modo che solo brevi sezioni delle verghe fuoriescano dal terreno. E' opportuno installare le fascine vive procedendo dal basso verso l'alto, orizzontalmente e nel periodo vegetativo.

Costi

In media da 0,5 a 1,0 ore lavorative/ml.

Considerazioni

E' un intervento stabilizzante molto rapido e semplice, adatto per scarpate in trincea, ma con modesto effetto in profondità e sensibile contro la caduta di massi e l'abrasione. Le fascine esercitano una buona funzione di immagazzinamento e di deflusso idrico a tal punto da essere utilizzate anche per drenaggi di pendii e di scarpate (vedi Scheda XII).

Fonti bibliografiche:

- *Andrich A., Dorigo G.* (A cura di): "CORSO DI FORMAZIONE PROFESSIONALE IN INGEGNERIA NATURALISTICA" Atti delle giornate di studi 14-29 aprile 1994, Tipografia PIAVE, Belluno, 1994.
- *AA.VV.*: "Manuale tecnico di ingegneria naturalistica". Centro di formazione professionale "O. Malaguti", Regione Emilia-Romagna - Regione Veneto, 1993.
- *Benini G.*: "Sistemazioni idraulico-forestali". UTET, Torino, 1990.
- *Di Fidjo M.*: "I corsi d'acqua - Sistemazioni naturalistiche e difesa del territorio". Pirola, Milano, 1995.
- *Maione U.*: "La sistemazione dei corsi d'acqua montani". Editoriale Bios, Cosenza, 1998.
- *Schiechl H.*: "Bioingegneria Forestale - Biotecnica naturalistica". Edizioni Castaldi, Feltre (BL), 1991.
- *Schiechl H., Stern R.*: "Ingegneria naturalistica - Manuale delle opere in terra". Edizioni Castaldi, Feltre (BL), 1992.
- *Schiechl H., Stern R.*: "Ingegneria naturalistica - Manuale delle costruzioni idrauliche". Edizioni ARCA, Gardolo (TN), 1994.
- *Veltri M.* (A cura di): "Studi in onore di Vincenzo Marone". Atti della giornata di studi del 25 Giugno 1993, Editoriale Bios, Cosenza, 1993.

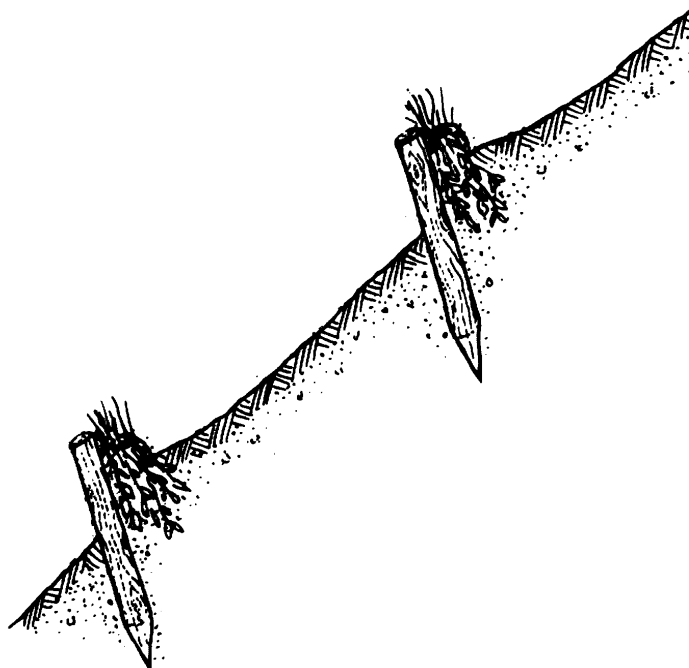
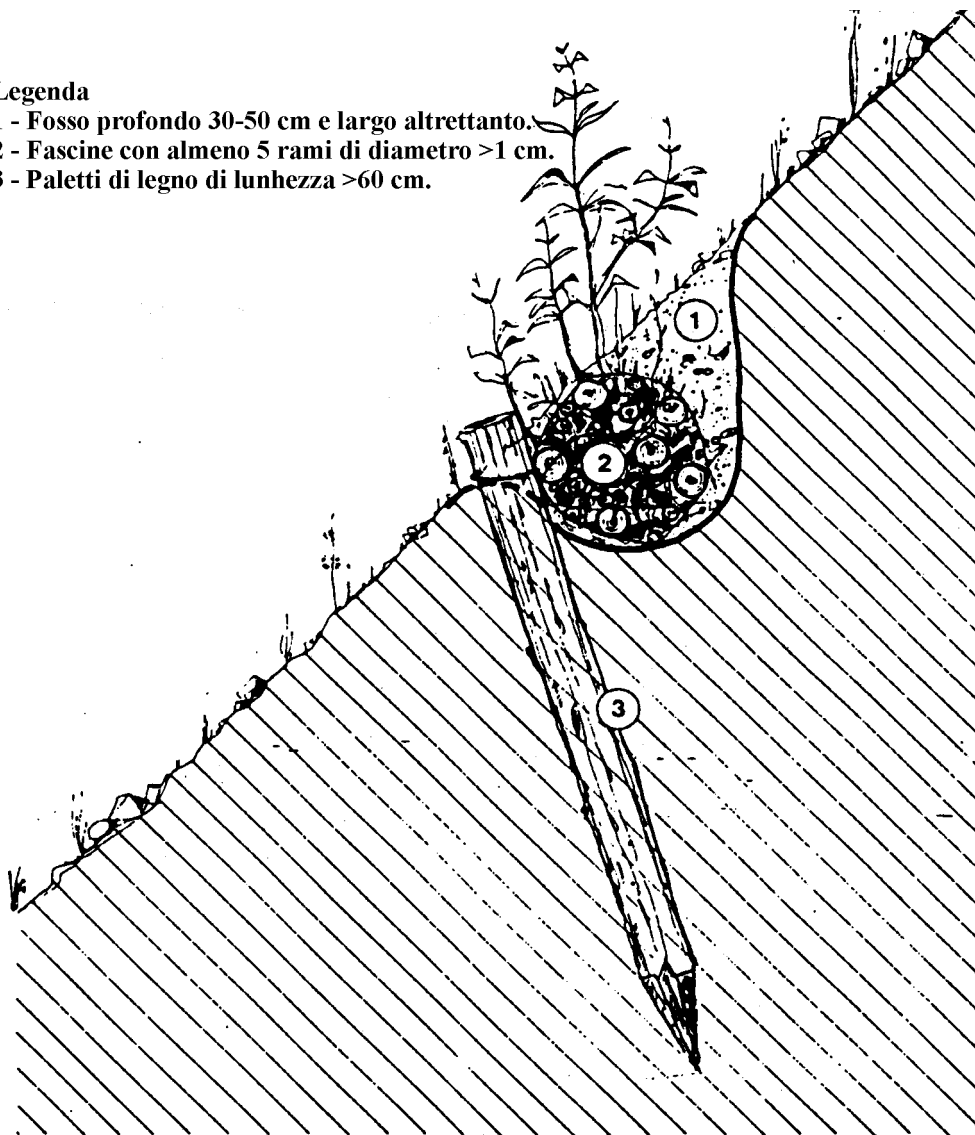


Figura 2.12 - Fascinate (*Benini G.*: "Sistemazioni idraulico-forestali". UTET, Torino, 1990).

Figura 2.13 - Schema di fascinate (*AA.VV.*: Manuale tecnico di Ingegneria naturalistica, Centro di formazione Professionale "O. Malaguti", Regione Emilia-Romagna e Veneto, 1993).

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 lunhezza >60 cm.



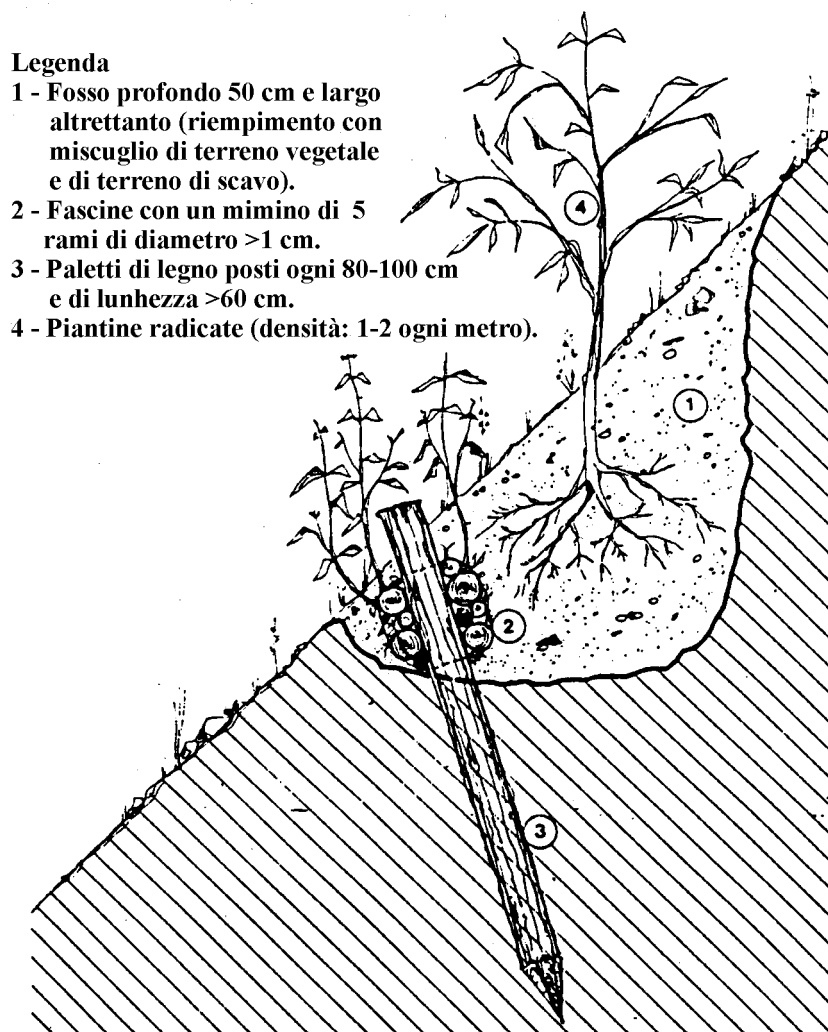


Figura 2.14 - Schema di fascinata con messa a dimora di piantine (AA.VV.:Manuale tecnico di Ingegneria naturalistica, Centro di formazione Professionale "O. Malaguti", Regione Emilia-Romagna e Veneto, 1993).

Legenda

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

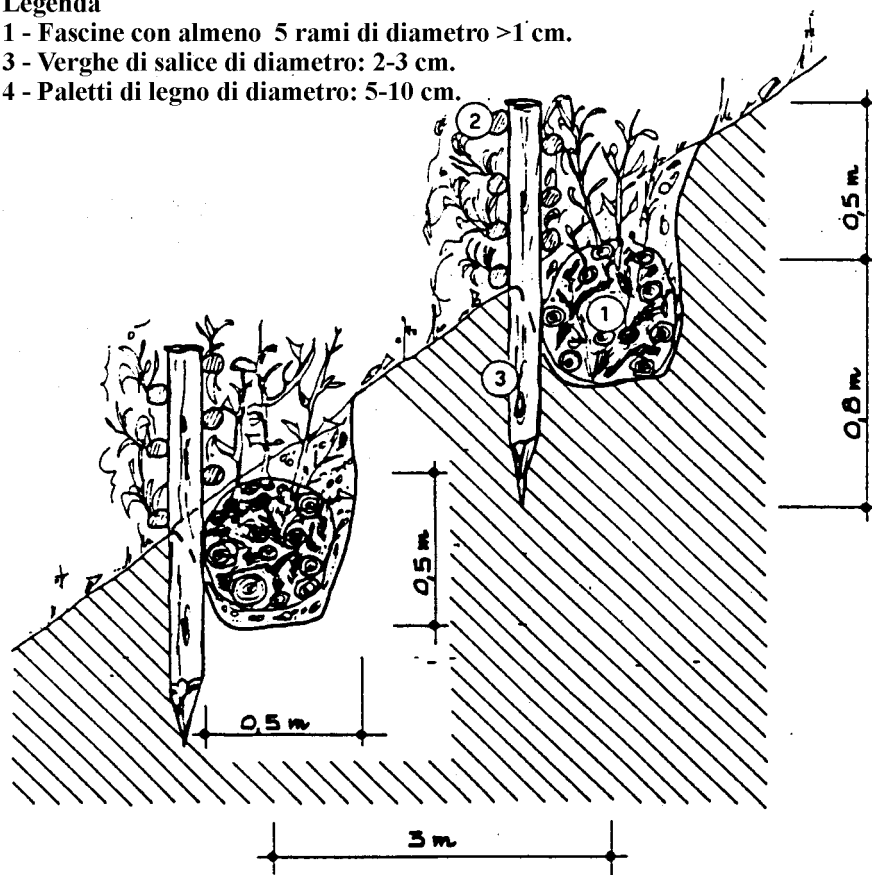


Figura 2.15 - Schema di fascinata con viminata (A.A.VV.:Manuale tecnico di Ingegneria naturalistica, Centro di formazione Professionale "O. Malaguti", Regione Emilia-Romagna e Veneto, 1993).

Interventi stabilizzanti

SCHEDA XII

Drenaggio con fascine***Materiale da costruzione***

Verghe e/o rami lunghi e dritti di piante legnose con capacità di propagazione vegetativa, anche in combinazione con parti di piante legnose che non hanno questa proprietà.

Posa in opera

Si realizzano fascine del diametro di 20-40 cm e si legano ad intervalli di 50 cm con filo di ferro, poi vengono collocate in fossi in modo tale che la fascina riempi totalmente il contorno del fosso, a questo scopo possono essere utilizzate anche più fascine. Se le acque da far defluire si trovano ad una profondità maggiore di 30-60 cm, il fosso sarà riempito con ciottolame per una altezza tale che a fine opera la fascina formi un piano con la superficie del terreno. A lavoro ultimato si ricoprono i fossi in modo tale che tutti i rami siano sottoterra e possano emettere radici e si fissano le fascine con paletti vivi o con aste in ferro, lunghi almeno 60 cm e del diametro di 5 cm, che vengono spinti obliquamente attraverso le fascine nel terreno, ad intervalli di 80 cm. Poiché i drenaggi vengono realizzati lungo le linee di massima pendenza è probabile che si possano rompere, per evitare ciò si inseriscono nelle fascine dei fili di ferro o delle funi metalliche alle quali si ancora l'intera fascina su robusti pali conficcati al di sopra del pendio.

Costi

Da 1 a 3 ore lavorative/ml.

Considerazioni

Drenaggio molto semplice e rapido da costruire e soprattutto esteticamente più bello, ma con lo svantaggio che richiede molto lavoro e si possono utilizzare solo verghe e rami molto lunghi.

Fonti bibliografiche:

- *Andrich A., Dorigo G.* (A cura di): "CORSO DI FORMAZIONE PROFESSIONALE IN INGEGNERIA NATURALISTICA" Atti delle giornate di studi 14-29 aprile 1994, Tipografia PIAVE, Belluno, 1994.
- *AA.VV.*: "Manuale tecnico di ingegneria naturalistica". Centro di formazione professionale "O. Malaguti", Regione Emilia-Romagna - Regione Veneto, 1993.
- *Benini G.*: "Sistemazioni idraulico-forestali". UTET, Torino, 1990.
- *Da Deppo L., Datei C., Salandin P.*: "Sistemazione dei corsi d'acqua". Edizioni Libreria Cortina, Padova, 1997.
- *Di Fidrio M.*: "I corsi d'acqua - Sistemazioni naturalistiche e difesa del territorio". Pirola, Milano, 1995.
- *Maione U.*: "La sistemazione dei corsi d'acqua montani". Editoriale Bios, Cosenza, 1998.
- *Marzolo F.*: "Costruzioni idrauliche". Cedam, Padova, 1963.
- *Schiechl H.*: "Bioingegneria Forestale - Biotecnica naturalistica". Edizioni Castaldi, Feltre (BL), 1991.
- *Schiechl H., Stern R.*: "Ingegneria naturalistica - Manuale delle opere in terra". Edizioni Castaldi, Feltre (BL), 1992.
- *Schiechl H., Stern R.*: "Ingegneria naturalistica - Manuale delle costruzioni idrauliche". Edizioni ARCA, Gardolo (TN), 1994.
- *Veltri M.* (A cura di): "Studi in onore di Vincenzo Marone". Atti della giornata di studi del 25 Giugno 1993, Editoriale Bios, Cosenza, 1993.

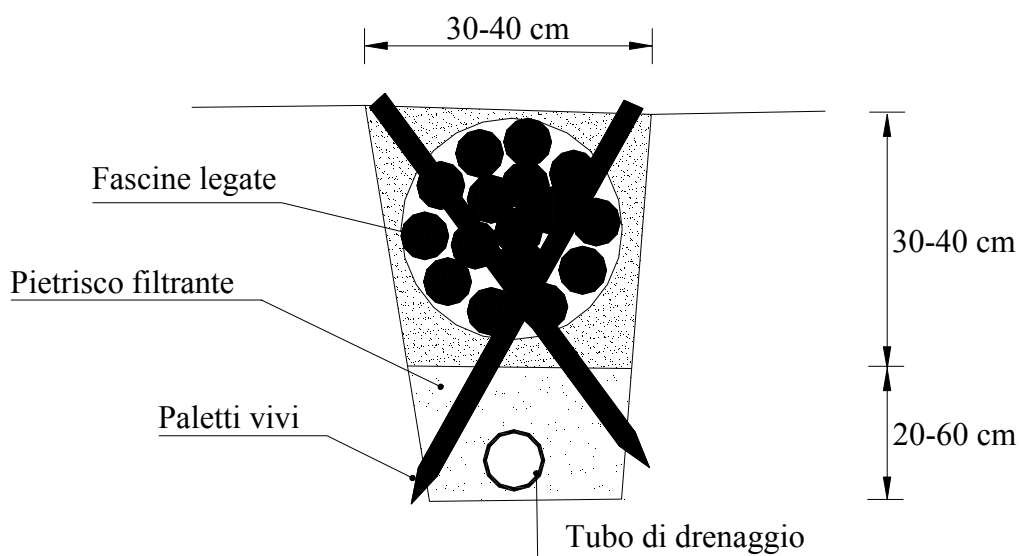


Figura 2.16 - Drenaggio con fascine.

Interventi stabilizzanti

SCHEDA XIII

Cordonata (Praxl)***Materiale da costruzione***

Talee, stanghe e ramaglia minuta di conifere.

Posa in opera

Durante lo stadio di riposo vegetativo si effettua un terrazzamento con scavi ad L nel terreno di circa mezzo metro e distanti tra loro circa 2 m e si dispone sul terrazzamento un letto di ramaglia minuta di rami di conifere. Sotto questo letto si prepara un sottofondo di materiale morto con stanghe disposte longitudinalmente. Il tutto si ricopre con 10 cm di spessore di terra sulla quale vengono disposte le talee ad intervallo di 2-3 cm e che vengono ricoperte; le talee lunghe circa 70 cm, vengono poste in modo tale che sporgano di circa 20 cm fuori dalla terra di ricoprimento. La disposizione delle costruzioni avviene lungo l'orizzontale ad una distanza l'una dall'altra di circa 3 m.

Costi

Evidentemente il più costoso intervento stabilizzante: da 3 a 4 ore lavorative/ml.

Considerazioni

Impiegata per scarpate ripide, richiede molto lavoro ed un elevato fabbisogno di ramaglia minuta di conifere, ma dove c'è sufficiente piovosità estiva si formano delle cordonate di verde che rimarginano celermente le forme erosive superficiali.

Fonti bibliografiche:

- *Andrich A., Dorigo G.* (A cura di): "CORSO DI FORMAZIONE PROFESSIONALE IN INGEGNERIA NATURALISTICA" Atti delle giornate di studi 14-29 aprile 1994, Tipografia PIAVE, Belluno, 1994.
- *A.A.VV.*: "Manuale tecnico di ingegneria naturalistica". Centro di formazione professionale "O. Malaguti", Regione Emilia-Romagna - Regione Veneto, 1993.
- *Benini G.*: "Sistemazioni idraulico-forestali". UTET, Torino, 1990.
- *Marzolo F.*: "Costruzioni idrauliche". Cedam, Padova, 1963.
- *Schiechl H.*: "Bioingegneria Forestale - Biotecnica naturalistica". Edizioni Castaldi, Feltre (BI), 1991.
- *Schiechl H., Stern R.*: "Ingegneria naturalistica - Manuale delle opere in terra". Edizioni Castaldi, Feltre (BI), 1992.
- *Schiechl H., Stern R.*: "Ingegneria naturalistica - Manuale delle costruzioni idrauliche". Edizioni ARCA, Gardolo (TN), 1994.

- *Veltri M.* (A cura di): "Studi in onore di Vincenzo Marone". Atti della giornata di studi del 25 Giugno 1993, Editoriale Bios, Cosenza, 1993.

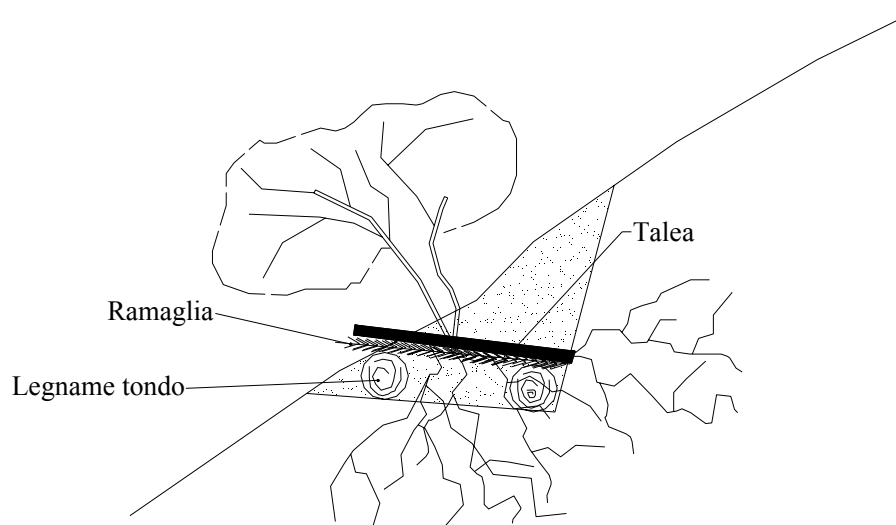


Figura 2.17- Cordonata Praxl.

Legenda

- 1 - Stangame longitudinale con corteccia (diametro:6-12 cm).
- 3 - Letto di ramaglia di conifere.
- 4 - Strato di terreno (spessore:10 cm).
- 5 - Terreno di riporto, proveniente dallo scavo della banchina superiore.

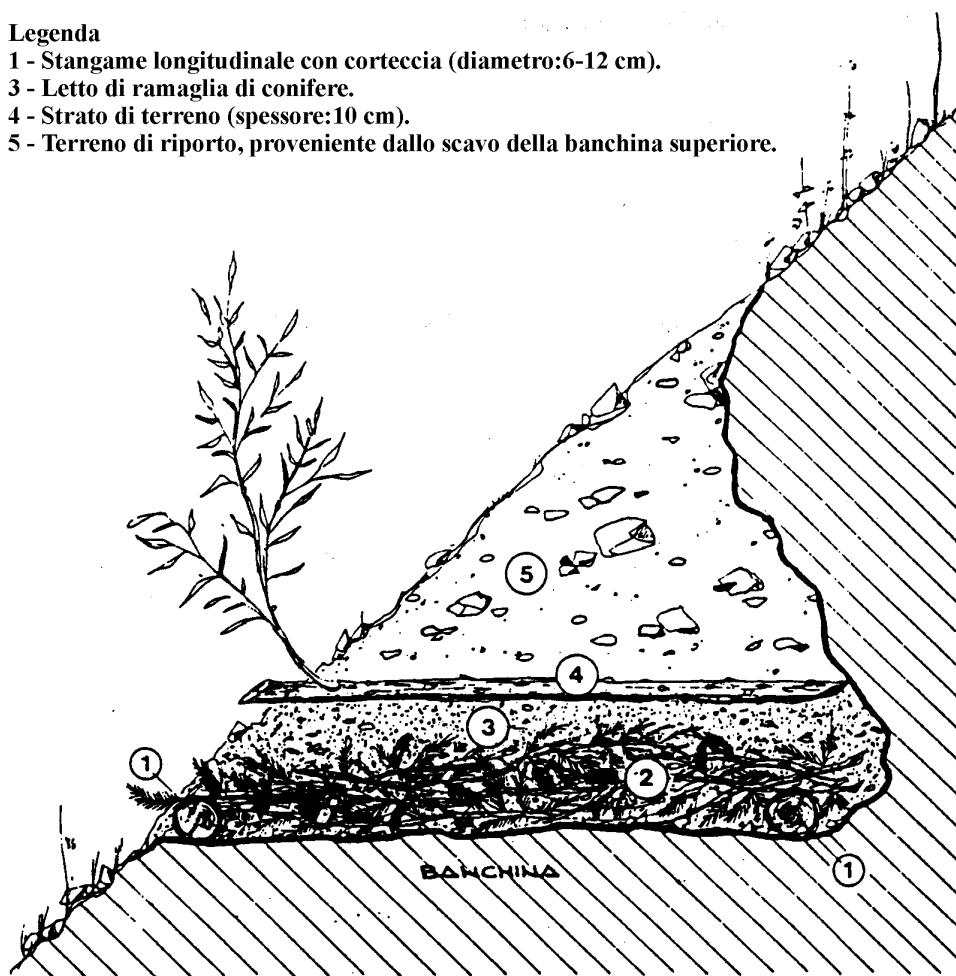


Figura 2..18 - Schema di cordonata (A.A.VV.:Manuale tecnico di Ingegneria naturalistica, Centro di formazione Professionale "O. Malaguti", Regione Emilia-Romagna e Veneto, 1993).

Interventi stabilizzanti

SCHEDA XIV

Gradonata di latifoglie radicate***Materiale da costruzione***

Piante radicate di latifoglie, resistenti all'inghiaimento, con forte formazione di radici avventizie, con preferenza per astoni robusti, di 2-4 anni, nel caso di specie a rapido accrescimento (ontani) vengono impiegati anche semenzali di 2 anni.

A seconda della specie occorrono da 5 a 20 piante/ml.

Posa in opera

Viene sparso sul piano del gradone un sottile strato di terreno superficiale umifero, paglia di cereali o compost di corteccia, le piantine radicate vengono messe a dimora una vicino all'altra in modo tale che sporgano sopra il profilo della scarpata per un terzo della loro lunghezza; il lavoro deve essere eseguito in primavera e autunno con piante a radice nuda e nel periodo vegetativo con piante allevate in contenitori.

Costi

Da 1 fino a 3 ore lavorative/ml.

Fonti bibliografiche:

- *Andrich A., Dorigo G.* (A cura di): "CORSO DI FORMAZIONE PROFESSIONALE IN INGEGNERIA NATURALISTICA" Atti delle giornate di studi 14-29 aprile 1994, Tipografia PIAVE, Belluno, 1994.
- *A.A.VV.*: "Manuale tecnico di ingegneria naturalistica". Centro di formazione professionale "O. Malaguti", Regione Emilia-Romagna - Regione Veneto, 1993.
- *Benini G.*: "Sistemazioni idraulico-forestali". UTET, Torino, 1990.
- *Maione U.*: "La sistemazione dei corsi d'acqua montani". Editoriale Bios, Cosenza, 1998.
- *Marzolo F.*: "Costruzioni idrauliche". Cedam, Padova, 1963.
- *Schiechl H.*: "Bioingegneria Forestale - Biotecnica naturalistica". Edizioni Castaldi, Feltre (BI), 1991.
- *Schiechl H., Stern R.*: "Ingegneria naturalistica - Manuale delle opere in terra". Edizioni Castaldi, Feltre (BI), 1992.
- *Schiechl H., Stern R.*: "Ingegneria naturalistica - Manuale delle costruzioni idrauliche". Edizioni ARCA, Gardolo (TN), 1994.
- *Veltri M.* (A cura di): "Studi in onore di Vincenzo Marone". Atti della giornata di studi del 25 Giugno 1993, Editoriale Bios, Cosenza, 1993.

Interventi stabilizzanti

SCHEDA XV

Gradonata di ramaglia viva***Materiale da costruzione***

Solamente rami o parti di rami, con tutte le ramificazioni, di piante legnose con attitudine alla moltiplicazione vegetativa, anzitutto salici; la quantità: 20 pezzi/ml.

Posa in opera

La ramaglia viene addensata in modo incrociato ed i rami non devono sporgere al di fuori del terriccio per più di 25 cm; il lavoro è da effettuarsi durante il periodo di riposo vegetativo.

Costi

Da 0,7 a 2 ore lavorative/ml.

Fonti bibliografiche:

- *Andrich A., Dorigo G.* (A cura di): "CORSO DI FORMAZIONE PROFESSIONALE IN INGEGNERIA NATURALISTICA" Atti delle giornate di studi 14-29 aprile 1994, Tipografia PIAVE, Belluno, 1994.
- *AA.VV.*: "Manuale tecnico di ingegneria naturalistica". Centro di formazione professionale "O. Malaguti", Regione Emilia-Romagna - Regione Veneto, 1993.
- *Benini G.*: "Sistemazioni idraulico-forestali". UTET, Torino, 1990.
- *Maione U.*: "La sistemazione dei corsi d'acqua montani". Editoriale Bios, Cosenza, 1998.
- *Schiechl H.*: "Bioingegneria Forestale - Biotecnica naturalistica". Edizioni Castaldi, Feltre (BL), 1991.
- *Schiechl H., Stern R.*: "Ingegneria naturalistica - Manuale delle opere in terra". Edizioni Castaldi, Feltre (BL), 1992.
- *Schiechl H., Stern R.*: "Ingegneria naturalistica - Manuale delle costruzioni idrauliche". Edizioni ARCA, Gardolo (TN), 1994.
- *Veltri M.* (A cura di): "Studi in onore di Vincenzo Marone". Atti della giornata di studi del 25 Giugno 1993, Editoriale Bios, Cosenza, 1993.

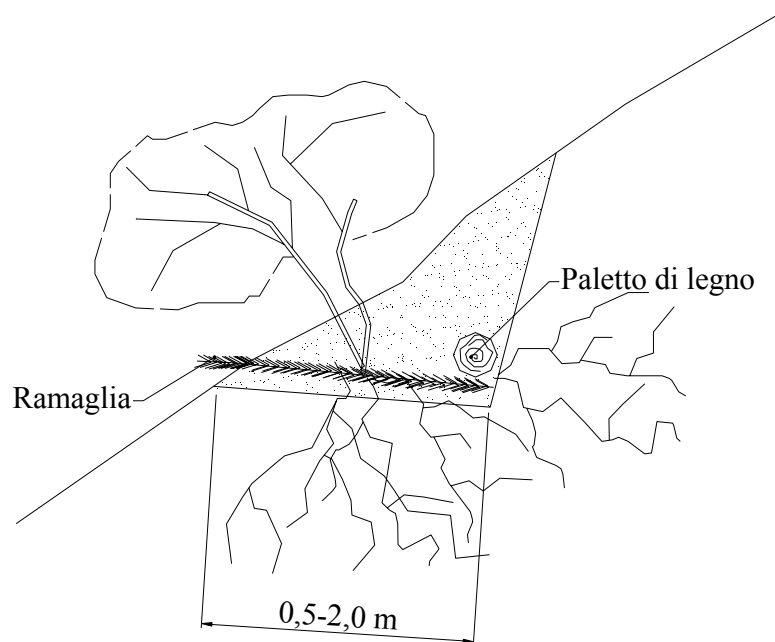


Figura 2.19 Gradonata di ramaglia viva.

Interventi stabilizzanti

SCHEDA XVI

Gradonata di latifoglie radicate e di ramaglia viva***Materiale da costruzione***

In modo combinato vengono utilizzate piante a radice nuda e ramaglia a capacità di diffusione vegetativa con quantità/ml: 10 rami, da 1 a 5 piantine.

Posa in opera

Nei gradoni il materiale vegetale viene sistemato in modo alternativo di modo che sia le piante che la ramaglia fuoriescano dall'area della scarpata per 0,2-0,3 m, dopo essere state ricoperte.

Il lavoro è da effettuarsi durante il riposo vegetativo.

Costi

Da 0,8 a 2,5 ore lavorative/ml.

Fonti bibliografiche:

- *Andrich A., Dorigo G.* (A cura di): "CORSO DI FORMAZIONE PROFESSIONALE IN INGEGNERIA NATURALISTICA" Atti delle giornate di studi 14-29 aprile 1994, Tipografia PIAVE, Belluno, 1994.
- *A.A.VV.*: "Manuale tecnico di ingegneria naturalistica". Centro di formazione professionale "O. Malaguti", Regione Emilia-Romagna -Regione Veneto, 1993.
- *Di Fidio M.*: "I corsi d'acqua - Sistemazioni naturalistiche e difesa del territorio". Pirola, Milano, 1995.
- *Schiechl H.*: "Bioingegneria Forestale - Biotecnica naturalistica". Edizioni Castaldi, Feltre (BL), 1991.
- *Schiechl H., Stern R.*: "Ingegneria naturalistica - Manuale delle opere in terra". Edizioni Castaldi, Feltre (BL), 1992.
- *Schiechl H., Stern R.*: "Ingegneria naturalistica - Manuale delle costruzioni idrauliche". Edizioni ARCA, Gardolo (TN), 1994.
- *Veltri M.* (A cura di): "Studi in onore di Vincenzo Marone". Atti della giornata di studi del 25 Giugno 1993, Editoriale Bios, Cosenza, 1993.