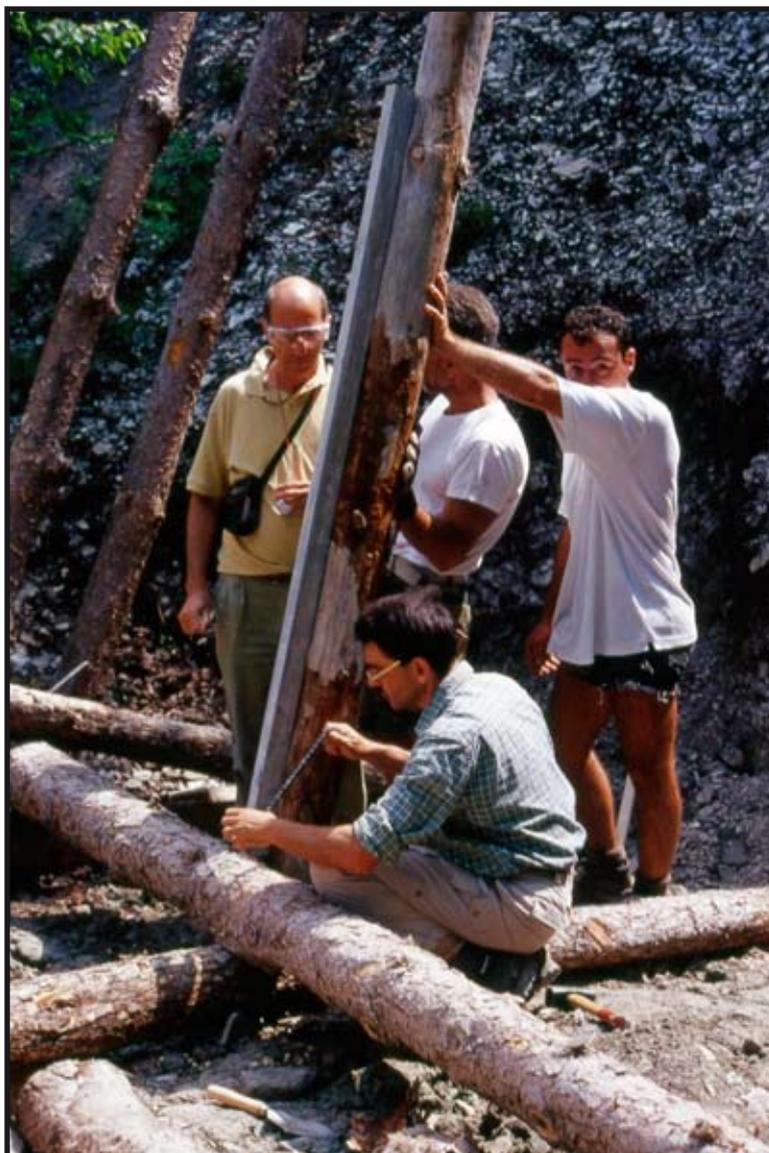




REGIONE LAZIO

Assessorato all'Ambiente e Cooperazione tra i Popoli
Direzione Ambiente e Cooperazione tra i Popoli
Area Difesa del Suolo

MANUALE DI INGEGNERIA NATURALISTICA PER LE SCUOLE SECONDARIE



A cura di:

REGIONE LAZIO

Assessorato Ambiente e Cooperazione tra i Popoli: l'Assessore F. ZARATTI

Dipartimento territorio: il Direttore R. DE FILIPPIS

Direzione Regionale Ambiente e Cooperazione tra i popoli: il Direttore G. BARGAGNA

Area Difesa del Suolo: il dirigente A. SANSONI

Responsabili: F. GUBERNALE, S. DE BARTOLI, G. FALCO

Redazione:

Autore: PAOLO CORNELINI e ROBERTO FERRARI

Revisione e coordinamento tecnico e scientifico: F. GUBERNALE, S. DE BARTOLI, G. FALCO



REGIONE LAZIO

Coordinamento editoriale: F. Gubernale, S. De Bartoli

Realizzazione e stampa: EMILMARC s.r.l. - Roma

Tiratura copie: 1000

Finito di stampare nel mese di Settembre 2008

Distribuzione gratuita

in copertina: Fase di realizzazione di Palificata viva Roma di versante (in opera) (Foto A. Ferrari)

MANUALE DI INGEGNERIA NATURALISTICA PER LE SCUOLE SECONDARIE



REGIONE LAZIO

Assessorato all'Ambiente e Cooperazione tra i Popoli
Direzione Ambiente e Cooperazione tra i Popoli
Area Difesa del Suolo

PRESENTAZIONE

L'Ingegneria Naturalistica è ormai un obiettivo condiviso della politica di intervento della Regione Lazio. L'esigenza di porre in sicurezza il territorio non può dissociarsi dalla necessità della sua salvaguardia e conservazione. L'Assessorato Ambiente e Cooperazione tra i Popoli da anni opera per dare la più ampia diffusione della conoscenza dei principi e delle tecniche di intervento della ingegneria naturalistica.

Con profonda soddisfazione, presento questo nuovo progetto editoriale di grande importanza:

il Manuale di ingegneria naturalistica per le scuole superiori.

Il volume si propone come strumento di formazione e test di approfondimento per la conoscenza di questa disciplina fra i giovani che si preparano ad essere i nostri nuovi tecnici e professionisti. Verrà distribuito gratuitamente agli istituti tecnici superiori con la speranza che possa contribuire, come nei migliori auspici, alla crescita di una nuova cultura di intervento sul territorio.

**L'Assessore
Filiberto Zaratti**

La pubblicazione di questo nuovo volume arricchisce il percorso della Regione Lazio nella promozione dell'ingegneria naturalistica. Dopo i tre Manuali e solo dopo due anni dalla diffusione dei "Quaderni di cantiere", l'Assessorato Ambiente e Cooperazione tra i Popoli dedica al tema dell'Ingegneria Naturalistica un altro volume che vuole proporsi come testo di riferimento e prontuario per la diffusione dei principi e delle tecniche dell'ingegneria naturalistica fra gli studenti dell'anno precedente il diploma degli istituti tecnici superiori.

Crediamo sia importante far conoscere questa disciplina a coloro che presto diventeranno i nuovi tecnici e i nuovi professionisti che si dovranno confrontare, a tutti i livelli, con le problematiche dello sviluppo e della salvaguardia dell'ambiente.

È un testo ricco di esempi che nasce dalle osservazioni e dalle esperienze dei corsi di formazione e di aggiornamento professionale già proposti dalla Regione negli anni recenti e dalle esperienze dei cantieri didattici eseguiti in tutto il territorio regionale, che speriamo stimoli la maggiore capacità recettiva dei giovani studenti.

Questo testo verrà reso disponibile a tutti gli Istituti di scuola media superiore della nostra Regione. Inoltre la nostra Direzione, con i propri esperti, è pronta ad organizzare giornate di incontro con gli studenti per presentare e parlare insieme dell'Ingegneria Naturalistica.

La nostra speranza è che da tutto questo, e grazie alla sensibilità e all'opera insostituibile dei docenti, scaturisca non solo una spinta per i ragazzi verso nuovi interessi e nuovi approfondimenti in materia di sviluppo e di salvaguardia dell'ecosistema ma anche una maggiore consapevolezza e partecipazione nella gestione del territorio in cui viviamo.

**Il Direttore del Dipartimento
Raniero De Filippis
Il Direttore della Direzione
Giovanna Bargagna**

PREFAZIONE

L'ingegneria naturalistica ha avuto negli ultimi anni un grande sviluppo nella diffusione e realizzazione di opere a compatibilità ambientale, sviluppo al quale ha contribuito efficacemente la produzione di testi tecnici, tra i quali, in particolare, i tre manuali della Regione Lazio.

A tale sviluppo di realizzazioni e, si può dire, in rapporto sinergico, si è affiancata una grande attività di formazione, tradottasi in centinaia di corsi e cantieri didattici rivolti a professionisti, imprese e tecnici degli Enti pubblici. Da qualche anno l'affermazione dell'ingegneria naturalistica come disciplina ha trovato ulteriore riscontro nell'offerta da parte di varie università italiane di oltre venti corsi dedicati.

A tutt'oggi mancava nel vasto panorama di testi un manuale divulgativo rivolto al mondo della scuola secondaria che, oltre a integrare le conoscenze tecniche dello studente, gli fornisca una ulteriore suggestione nelle scelte professionali. E' infatti nota a tutti l'importanza di creare momenti di sinergia e riflessione tra il mondo della scuola e quello del lavoro.

La presente pubblicazione è impostata secondo un percorso didattico che, partendo da alcune indispensabili definizioni, vuole fornire indicazioni operative semplificate, corredate da ampia documentazione fotografica, e guidare lo studente dalle necessarie analisi stazionali alla progettazione e realizzazione delle principali opere di ingegneria naturalistica, illustrando inoltre le varie fasi operative del cantiere didattico.

Si ringraziano per il contributo offerto nella presente pubblicazione con testi, foto e disegni Federico Boccalaro, Carlo Bonelli, Joaquin Bosch, Norino Canovi, Licia Cociancich, Dario Colusso, Emanuele Dini, Annalisa Ferrari, Ester Ferrari, Giuseppe Gisotti, Olivia Iacoangeli, Impresa Lazzarotto, Paolo Petrella, Alessandro Petrone, Giuliano Sauli, Ivo Schiappa.

Roma 1 luglio 2008
Paolo Cornelini e Roberto Ferrari

COS'È L'INGEGNERIA NATURALISTICA?

L'ingegneria naturalistica (IN) è una disciplina tecnica che utilizza le piante vive negli interventi antierosivi, di consolidamento e di rinaturazione, da sole, o in abbinamento con altri materiali (paglia, legno, pietrame, reti metalliche, biostuoie, geotessuti, etc).

La presenza delle piante vive diviene così l'elemento qualificante e discriminante di un intervento di IN.



Tali opere di sostegno in legno non possono essere considerate di ingegneria naturalistica per l'assenza di arbusti con funzione di consolidamento (Foto P.Cornelini).

I campi di applicazione dell'IN sono vari e spaziano dai problemi classici di erosione dei versanti, delle frane, delle sistemazioni idrauliche, a quelli delle infrastrutture lineari (scarpate stradali e ferroviarie, condotte interrato), delle cave e discariche, degli insediamenti industriali e di altre infrastrutture puntuali, delle sistemazioni costiere, fino ai interventi di rinaturalizzazione e ricostruzione di habitat e di reti ecologiche.



Interventi di IN alle Olimpiadi di Torino 2006 (Foto P.Cornelini).

Quali sono le principali finalità dell'ingegneria naturalistica ?

Le principali finalità riconosciute degli interventi di ingegneria naturalistica sono:

- 1) **tecnico-funzionali**: con riferimento, ad esempio, all'efficacia antiersiva e di consolidamento di un versante franoso, di una sponda o di una scarpata stradale;
- 2) **naturalistiche**: in quanto non semplice copertura a verde, ma ricostruzione o innesco di ecosistemi mediante impiego di specie autoctone degli stadi delle serie dinamiche della vegetazione potenziale dei siti di intervento;
- 3) **paesaggistiche**: di "ricucitura" del paesaggio naturale circostante, effetto strettamente collegato all'impiego di specie autoctone;
- 4) **economiche**: in quanto strutture competitive e alternative ad opere tradizionali (ad esempio muri in cemento armato sostituiti da palificate vive o da terre verdi rinforzate).

Affinché quindi, un intervento possa dirsi di IN, devono verificarsi le finalità suddette, **con particolare riferimento alle prime due**; ciò significa, ad esempio, che se in un'opera in tronchi di legno manca la componente viva delle piante l'intervento non può essere considerato di IN, così se l'uso delle piante non comporta finalità tecniche antiersive o di rinaturazione, può essere un bellissimo intervento a verde, ma non di IN.



Questo bell'intervento di verde urbano non può essere considerato di IN . Perché?

All'interno del filone dell'ingegneria naturalistica si delineano tre principali settori:

- la "rinaturazione" o "rinaturalizzazione" vera e propria cioè la ricostruzione di habitat, biotopi o ecosistemi paranaturali, non collegata ad interventi funzionali, anche se talvolta realizzata quale opera "compensatoria". Ad esempio la realizzazione di un biotopo umido o di un'area boscata realizzati in zona agricola nell'ambito del progetto di una nuova infrastruttura viaria;



Trapianto di habitat rari per la loro salvaguardia, a seguito della realizzazione di una diga. Piana della Lacina (VV) (Foto P.Cornelini)

- l'ingegneria naturalistica in senso stretto, cioè la realizzazione di sistemi antierosivi, stabilizzanti o di consolidamento con piante vive abbinata ad altri materiali;



Sistemazione spondale del Rio Inferno (Cassino) con palificata viva e scogliera rinverdita nel 2000 ed un anno dopo (Foto P.Cornelini)

- i provvedimenti per la fauna, anche semplicemente tecnologici, e, in particolare, quelli per garantire la continuità degli habitat (rampe di risalita per pesci, sottopassi per anfibi, sottopassi e sovrappassi per ungulati, etc).



Rampa di risalita per i pesci sul fiume Rapido presso Cassino (Foto P.Cornelini)



Sovrappasso autostradale per gli orsi in Austria (Foto P.Cornelini)

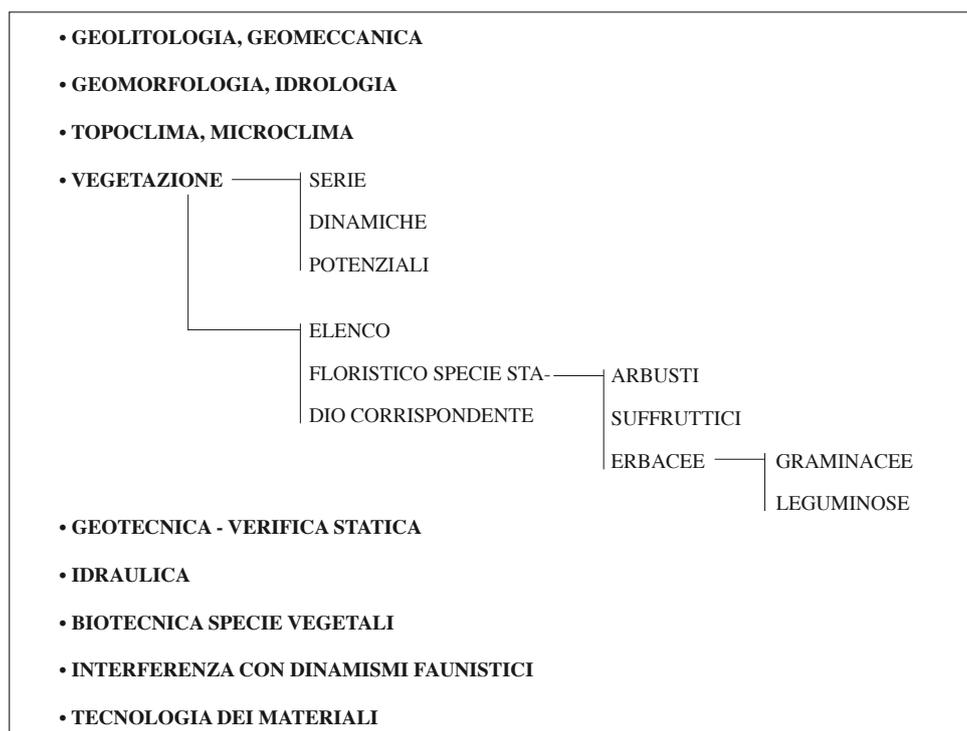
Quali sono le differenze rispetto agli interventi tradizionali ?

Gli interventi di IN si differenziano da quelli tradizionali principalmente per l'impiego delle piante con finalità tecniche e naturalistiche, per cui le analisi stazionali delle aree di intervento vanno effettuate con particolare attenzione alla componente viva (le piante); la sua conoscenza è, infatti, condizione prima del successo dell'intervento che è legato alla crescita delle radici che rinforzano il terreno e dei rami con le foglie che proteggono il suolo dall'erosione delle acque.

Per quanto riguarda l'analisi botanica riferita sia alla flora che alla vegetazione si adottano normalmente i principi dell'ecologia vegetale e della fitosociologia, per arrivare alla definizione delle specie e delle tipologie vegetazionali da inserire nell'opera di IN.

Per la selezione delle specie di possibile impiego ci si riferisce a quelle spontanee presenti o potenziali dell'area della stazione, tenendo conto che alcune specie, negli interventi di IN, sono più importanti di altre per le caratteristiche biotecniche. Classico è l'impiego di specie arbustive e, nell'ambito delle erbacee, di specie delle famiglie delle graminacee e delle leguminose.

I principali settori di indagine utili nella progettazione ed esecuzione di opere di IN sono riportati nello schema seguente (da Manuale 2 Regione Lazio).



L'ingegneria naturalistica è, quindi, una disciplina "trasversale" che fa capo a vari settori tecnico-scientifici di cui si utilizzano, a fini applicativi, dati di analisi e di calcolo.

Le tecniche di ingegneria naturalistica sinora applicate nel Centro Europa sono circa un centinaio e si possono distinguere nelle seguenti categorie (Schiechtl, 1992 – A.A.V.V. 1997):

1) di rivestimento o antierosivi (tutti i tipi di semina, stuoie, etc)



Idrosemina su scarpata in erosione (Foto P.Cornelini)

2) stabilizzanti (messa a dimora di arbusti, talee, fascinate, gradonate, viminate, etc)



Cordonate vive su scarpate ferroviarie (Foto P.Cornelini)

3) combinati di consolidamento (palificate vive, grate vive, terre rinforzate verdi, etc)



Palificata viva di sostegno (Foto P.Cornelini)

4) particolari (barriere antirumore, opere frangivento, etc)



Barriera antirumore (Foto P.Cornelini)

A livello nazionale e regionale esistono, ormai, numerosi strumenti normativi e tecnici nei settori della rinaturalizzazione e dell'ingegneria naturalistica, sia per i professionisti e i funzionari pubblici che per le imprese.

Nel Lazio è operativa dal 1996 la Delibera di Giunta Regionale n. 3440 del 26 maggio 1996 ove si ribadisce il fondamentale concetto di impiegare, **in primis**, le tecniche di ingegneria naturalistica negli interventi di difesa del suolo e nelle sistemazioni idrauliche del territorio regionale.

Tra la manualistica esistente a livello nazionale, i tre Manuali di ingegneria naturalistica (idraulica, infrastrutture e coste, versanti) e i Quaderni di cantiere della Regione Lazio (scaricabili dal sito www.regione.lazio.it), rappresentano un fondamentale riferimento per le applicazioni nella realtà mediterranea.

Cos'è la Deontologia?

La deontologia viene definita nel vocabolario della lingua italiana (Zingarelli) come *la trattazione dei doveri inerenti a particolari categorie di persone*; oggi se ne parla soprattutto nel campo della medicina, ma anche le altre categorie professionali si rifanno a codici etici che indicano il corretto comportamento.

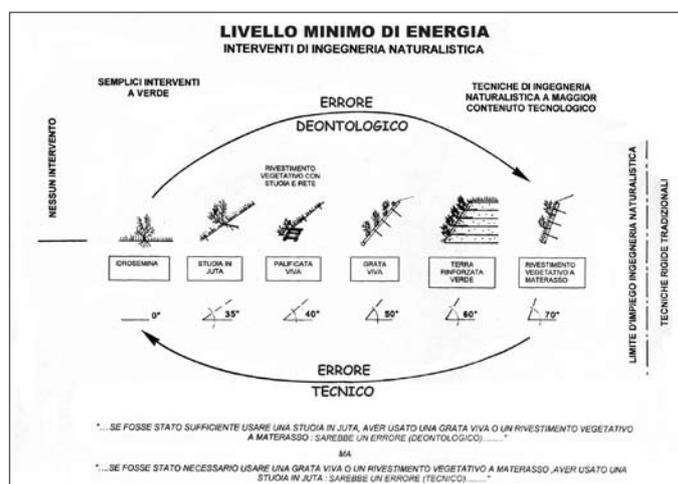
Principi di deontologia applicati all'IN

Come in tutte le discipline, anche nell'ingegneria naturalistica si sono affermate alcune regole comportamentali di riferimento per i professionisti, i funzionari e gli imprenditori che si occupano degli interventi di IN.

Si riporta in tal senso, in estratto, un articolo del Codice Deontologico dell'Associazione Italiana per l'Ingegneria Naturalistica (AIPIN).

Art. 4. Il socio AIPIN si adopera in tutte le sedi e in particolare in quella progettuale per la priorità delle finalità naturalistiche degli interventi. L'impiego di tecnologia e materiali non naturali è possibile nei casi di necessità strutturale e/o funzionale normalmente in abbinamento con materiale vivente. Deve comunque essere adottata la tecnologia meno complessa a pari risultato, considerando anche l'ipotesi del non intervento.

Vale, quindi, il principio di adottare nelle scelte di progetto le tecniche a minor livello di energia (complessità, tecnicismo, artificialità, rigidità, costo) a pari risultato funzionale / biologico come rappresentato per maggior chiarezza nello schema che segue (da Manuale 2 Regione Lazio).



Secondo lo schema due sono i possibili errori da evitare:

- L'errore deontologico se, ad esempio, si intervenisse con una terra rinforzata laddove fosse sufficiente una biostuoia, più semplice e meno costosa.; quindi sovradimensionare le opere, anche se di ingegneria naturalistica, per l'incapacità di scegliere la soluzione efficace più semplice e meno costosa è un grave errore deontologico.

- L'errore tecnico ove, per eccesso di entusiasmo naturalistico, si realizzasse una fascinata spondale, destinata allo scalzamento da parte della corrente, al posto di una gabbionata rinverdita, unica opera che possa resistere in quella situazione idraulica. Questo errore è dovuto alla incapacità di valutare i limiti delle tecniche di IN.

Per quanto riguarda la selezione delle specie e dei materiali da impiegare nelle tecniche di IN, il concetto generale è quello di impiegare il più possibile materiali naturali biodegradabili e specie autoctone, comunque in maniera esclusiva nelle aree protette e naturali.

Nella tabella seguente (da Manuale 2 Regione Lazio) l'AIPIN ha fatto un tentativo di schematizzare la graduatoria di preferibilità e liceità di impiego di specie e materiali nei vari possibili ambiti territoriali di impiego

TABELLA 1 : PREFERIBILITÀ/LICEITÀ D'IMPIEGO DEI MATERIALI VIVI E MORTI PER LE TECNICHE DI INGEGNERIA NATURALISTICA - AIPIN								
Ambiti di impiego			Piante naturalità crescente			Materiali utilizzabili naturalità crescente		
			Piante autoctone	Piante esotiche naturalizzate	Piante esotiche di recente introduzione	Materiali naturali	Materiali biodegradabili	Materiali artificiali
1	Naturalità crescente	Aree protette	XXX	–	–	XX	XX	-(1)
2		Aree naturali	XXX	–	–	XX	XX	X
3		Aree agricole	XX	X	–	XX	XX	X
4		Parchi e giardini	XX	X	X	X	X	X
5		Aree urbane	XX	X	X	X	X	X
6		Aree industriali	XX	X	X	X	X	X

XXX Impiego esclusivo • XX Impiego preferenziale • X Impiego in funzione delle scelte progettuali • – Incompatibilità assoluta

(1) Utilizzo solo per la soluzione di problemi geotecnica e idraulici per la protezione diretta di edifici e infrastrutture esistenti



Errore deontologico: uso di stuoie in plastica su scarpate ove bastavano biostuoie biodegradabili (Foto P.Cornelini)



Errore tecnico: uso di biostuoie biodegradabili ove era necessaria un'opera di sostegno viva in legno (Foto P.Cornelini)

LE ORIGINI STORICHE DELL'INGEGNERIA NATURALISTICA

Le radici dei salici non permettono alle scarpate di spaccarsi e i rami dei salici lungo le scarpate vengono potati in modo che diventino ogni anno più robusti. E così diventa una sponda vivente compatta. Queste parole così semplici ed efficaci che non sono di uno studioso contemporaneo, ma hanno più di cinque secoli, essendo state scritte da Leonardo da Vinci (1452-1519), mostrano come i concetti alla base dell'ingegneria naturalistica siano tutt'altro che recenti, ma radicati nell'esperienza storica del mondo agricolo e forestale, fino a risalire ai tempi degli antichi Romani.

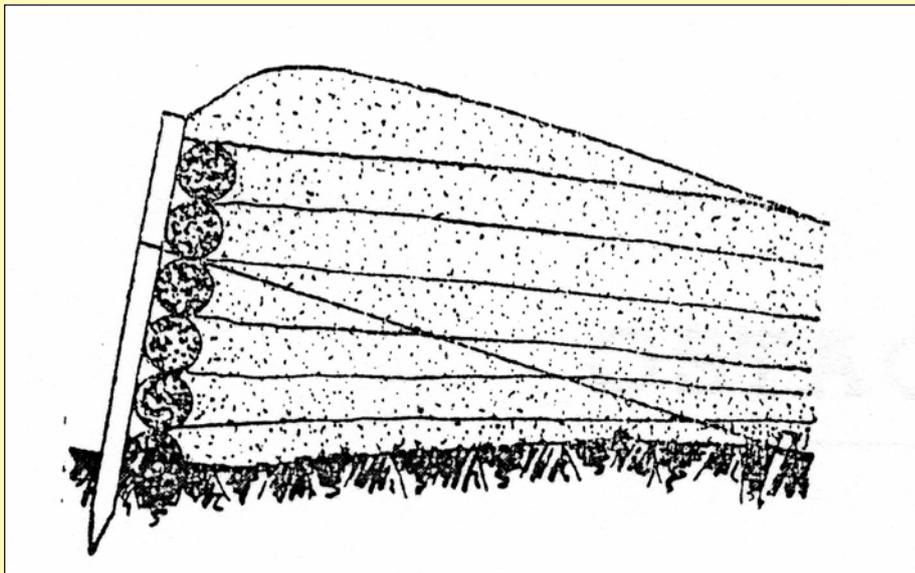
Gli antichi romani, pragmatici e con finalità eminentemente applicative, possedevano conoscenze approfondite nel settore agronomico, come testimoniano varie opere di Catone, Virgilio e Columella, nei cui trattati vengono affrontate con metodo scientifico le vaste problematiche dello sfruttamento dei terreni per fini agricoli.

Rispetto ai fondamenti dell'ingegneria naturalistica, nella letteratura classica, in particolare in Columella, Cesare e Catone, si trovano numerosi riferimenti sia alla parte viva che alla parte strutturale delle opere, che mostrano come i principi di base per la realizzazione di tali interventi fossero noti nel mondo latino (vedi tabella seguente, da Manuale 2 Regione Lazio).

TIPICHE OPERE ROMANE RIFERIBILI ALL'INGEGNERIA NATURALISTICA		
Messa a dimora delle piante	Semina deponere	Columella De Re Rustica LIBRO QUINTO, 9.8-12
Talee di salice	Taleae sesquipedales terreno immersae paulum obruuntur.	Columella De Re Rustica LIBRO QUARTO, 30.1-5
Talee di olivo	Taleae deinde sesquipedales serra praecidantur.	Columella De Re Rustica LIBRO QUINTO, 9
Messa a dimora del rizoma e della Talea di canna	Seritur bulbis radicis, seritur et talea calami, nec minus toto prosternitur corpore.	Columella De Re Rustica LIBRO QUARTO, 32
Zolle erbose a semplici file	singulis ordinibus cespitum	Cesare De Bello Gallico 5, 51
Rivestimenti con ramaglia intrecciata	loricae ex cratibus	Cesare De Bello Gallico 5, 40
Vimate	contexa viminibus membra	Cesare De Bello Gallico 6, 16
Graticciate di rivestimento delle torri	viminea lorica	Cesare De Bello Gallico 8, 9
Palificate e terre rinforzate	oppidum gallicum	Cesare De Bello Gallico 7, 23
Drenaggi tecnici, fascinate drenanti	sarmentis conexus velut funis informabitur in eam crassitudinem, quam solum fossae possit ...capere. Si lapis non erit, perticis saligneis viridibus controversus conlatis consternito; si pertica non erit, sarmentis conligatis	Columella De Re Rustica LIBRO SECONDO, 2.7-11 Catone De Agricoltura, 43

In particolare i romani conoscevano bene le capacità riproduttive dei salici per talea (da cui ricavavano i legami per la coltura della vigna) e nel testo di Columella sono fornite anche le dimensioni della lunghezza per l'infissione nel terreno, pari ad un piede e mezzo (circa 45 cm): *Taleae sesquipedales terreno immersae paulum obruuntur* (le talee di un piede e mezzo di lunghezza, si piantano nel terreno ricoprendole un poco, Columella: De Re Rustica libro quarto, 30.1-5).

In tempi più recenti i militari del Genio hanno avuto l'esigenza di utilizzare nei lavori sul campo di battaglia i materiali reperiti in loco per la realizzazione di trincee, ricoveri, postazioni, etc. con uso, oltre ai materiali morti (legno, pietra, terra, etc.) anche di piante vive (arbusti, zolle erbose, etc.) per la stabilizzazione dei pendii e per la mimetizzazione delle opere, con funzioni analoghe a quelle degli interventi di IN per l'inserimento paesaggistico delle infrastrutture.



Rivestimento di scarpata con fascinoni (Manuale per gli ufficiali del Genio Vol.1 Lavori del campo di battaglia - Ispettorato dell'Arma del Genio 1914)

Si può, quindi affermare che le tecniche di ingegneria naturalistica, così come oggi intese, vengono da molto lontano e, in particolare, per le opere negli ambienti montani, trovano le loro radici storiche come disciplina nelle sistemazioni idraulico forestali, con il contributo dell'ecologia vegetale per la scelta delle piante vive da inserire nelle opere.

In proposito è esemplare il contenuto di alcune raccomandazioni del D.M. 20 agosto 1912 (Approvazione delle norme per la preparazione di progetti di sistemazione idraulico-forestale nei bacini montani), nelle quali sono contenuti *in toto* i principi di quella che, decenni dopo, si sarebbe chiamata ingegneria naturalistica:

...impiegare i materiali rustici del sito, pietre, legnami, chiedendo alla forza della vegetazione i materiali viventi per il consolidamento dei terreni...

APPROFONDIMENTI BIBLIOGRAFICI

SAULI G., CORNELINI P. & PRETI F., 2005 – *Manuale di Ingegneria Naturalistica. Sistemazione dei versanti. Volume 3, Capitoli 1-7, Regione Lazio - Assessorato all'Ambiente e Cooperazione tra i Popoli - Direzione Regionale Ambiente e Cooperazione tra i Popoli, Naturstudio P.s.c.r.l., Università degli Studi della Tuscia, Gennaio 2006, Regione Lazio, Roma.*

PERCHÉ LE PIANTE SONO UTILI NELLA STABILIZZAZIONE DEI VERSANTI?

Le piante possiedono proprietà tecniche e biologiche che, insieme, costituiscono le proprietà biotecniche.

Le proprietà tecniche

Le piante possiedono importanti proprietà tecniche nella difesa del suolo in quanto contrastano l'azione disgregatrice degli agenti atmosferici, in particolare dell'acqua di pioggia, tramite azioni di tipo meccanico ed idrologico.

Le azioni di **tipo meccanico** indotte dalle piante sui versanti consistono nella protezione antierosiva dalle acque dilavanti unitamente alla stabilizzazione dello strato superiore del suolo ad opera degli apparati radicali, con la riduzione dell'erosione e del trasporto solido a valle; lungo un versante con copertura vegetale densa, la velocità di deflusso delle acque è circa $\frac{1}{4}$ di quella che si avrebbe, a parità di pioggia, su suoli privi di vegetazione e, di conseguenza, l'azione erosiva, che varia con il quadrato della velocità, può scendere fino a **1/16**.

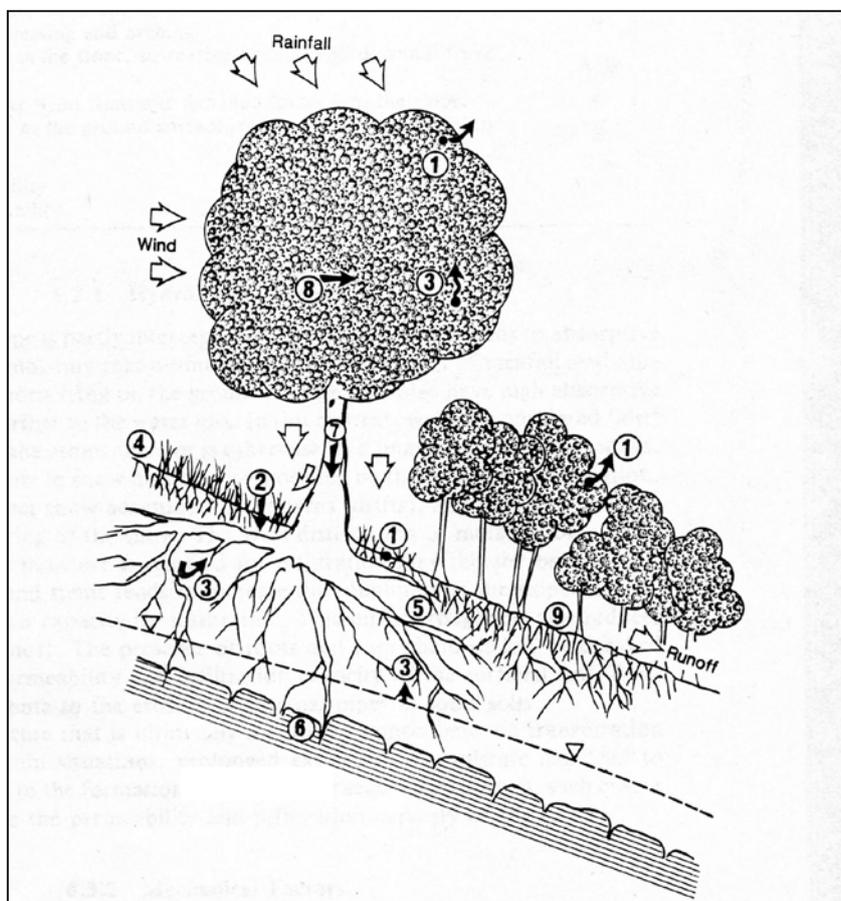


Le radici delle piante legano le particelle di suolo e lo rinforzano, aumentandone la resistenza al taglio (Foto P. Cornellini).

Analogamente a quello meccanico, le piante, soprattutto i popolamenti forestali, svolgono sul pendio un ruolo importante di **tipo idrologico**, assorbendo nel suolo, che funziona come una spugna, le acque

di pioggia e diminuendo i picchi delle piene a valle .

In sintesi, nelle situazioni geomorfologiche favorevoli il bosco può rappresentare l'obiettivo progettuale degli interventi di riduzione del rischio idrogeologico, ma in quelle sfavorevoli (forti pendenze, substrati erodibili, etc), l'effetto degli alberi, a causa del sovraccarico e del vento, può tradursi in fenomeni contrari alla stabilità; ne deriva che negli interventi di ingegneria naturalistica sui versanti instabili, fermo restando il ruolo essenziale della copertura vegetale, il progetto botanico non prevede mai la piantagione degli alberi, bensì opere antierosive, stabilizzanti e consolidanti basate sulle caratteristiche biotecniche delle specie arbustive ed erbacee. I principali effetti della vegetazione sulla stabilità dei pendii sono riportate nella figura e tabella seguenti.



Interazioni vegetazione-versante che influenzano la stabilità (da Greenway, 1987).

EFFETTI DELLA VEGETAZIONE SULLA STABILITÀ DEI PENDII (ILLUSTRA LA FIGURA NELLA PAGINA PRECEDENTE)		
<i>Effetti di tipo idrologico</i>	<i>contrario alla stabilità</i>	<i>favorevole alla stabilità</i>
1. Le foglie intercettano le precipitazioni, causando perdite per assorbimento ed evaporazione: si riduce l'acqua disponibile per l'infiltrazione		X
2. Le radici e i fusti aumentano la scabrezza del terreno e la permeabilità del suolo, aumentando la capacità di infiltrazione	X	
3. Le radici assorbono l'umidità dal suolo che si perde nell'atmosfera mediante la traspirazione, favorendo una minore pressione interstiziale		X
4. La diminuzione dell'umidità del terreno può accentuare le fessure di disseccamento, con una maggiore capacità di infiltrazione	X	
<i>Effetti di tipo meccanico</i>	<i>contrario alla stabilità</i>	<i>favorevole alla stabilità</i>
5. Le radici rinforzano il suolo, aumentandone la resistenza al taglio		X
6. Le radici degli alberi possono ancorarsi negli strati stabili con l'effetto di pilastri di ancoraggio funzionanti come le spalle di un ponte ad arco		X
7. Il peso degli alberi sovraccarica il versante, aumentando le componenti normale e tangenziale	X	X
8. Le piante esposte al vento trasmettono forze dinamiche al versante	X	
9. Le radici legano le particelle del suolo, riducendo la loro suscettibilità all'erosione		X

Fonte: da Greenway, 1987

Le proprietà biologiche

Oltre alle suddette proprietà tecniche alcune piante possiedono proprietà biologiche, ed, in particolare:

- capacità di riproduzione per via vegetativa (non per seme), ovvero per talea. A partire da pezzi della pianta tagliati vivi si sfrutta la capacità di alcune specie di conservare entro i tessuti specializzati alcune cellule meristematiche, con il messaggio genetico in grado di attivare i processi biologici di ricostruzione dell'intero individuo: tamerici, salici, pioppi, *Ligustrum vulgare* (ligustro), *Laburnum anagyroides* (maggiociondolo), *Sambucus nigra* (sambuco), *Corylus avellana* (nocciolo, talea radicale), *Phragmites australis* (rizomi), *Arundo pliniana* (rizomi) etc.; *Salix caprea* (salicone) non è adatto per l'impiego di talee (attecchimento del 5%).

SPECIE CON CAPACITÀ DI RIPRODUZIONE VEGETATIVA, UTILIZZABILI PER TALEA



Tamarix africana
 Tamerice maggiore
 Famiglia: *Tamaricaceae*
 Forma biologica: P scap
 Tipo corologico: W-Medit
 Ambiente ecologico: dune marittime, paludi sub-salse



Salix eleagnos
 Salice ripaiolo
 Famiglia: *Salicaceae*
 Forma biologica: P caesp
 Tipo corologico: Orof S-Europ
 Ambiente ecologico: sabbie umide



Salix purpurea
 Salice rosso
 Famiglia: *Salicaceae*
 Forma biologica: P caesp
 Tipo corologico: Euras Temp
 Ambiente ecologico: greti dei corsi d'acqua

- capacità di specie radicate di emettere radici avventizie dai fusti interrati: ontani, salici, pioppi, frassini, *Euonymus europaeus* (berretta da prete), *Viburnum tinus* (lentaggine), *Cornus sanguinea* (sanguinello), *Acer pseudoplatanus* (acero montano), *Corylus avellana* (nocciolo), etc.

ARBUSTI CON CAPACITÀ DI EMETTERE RADICI AVVENTIZIE DAL FUSTO INTERRATO



Cornus sanguinea
Sanguinello
Famiglia: *Cornaceae*
Forma biologica: P caesp
Tipo corologico: Euras Temper
Ambiente ecologico: boschi di latifoglie



Viburnum tinus
Lentaggine
Famiglia: *Caprifoliaceae*
Forma biologica: P caesp
Tipo corologico: Steno Medit
Ambiente ecologico: leccete, macchie,



Euonymus europaeus
Berretta da prete
Famiglia: *Celastraceae*
Forma biologica: P caesp
Tipo corologico: Eurasiat
Ambiente ecologico: boschi di latifoglie, siepi

- Sulle scarpate in ambito mediterraneo, ove sono reali le difficoltà di uso delle talee dei salici nelle opere di IN, in quanto poco coerenti dal punto di vista ecologico, va privilegiato l'impiego di specie termo-xerofile con capacità di sviluppo di radici avventizie dal fusto interrato, da usare come piante radicate, ma con la stessa funzione delle talee. Tale caratteristica biotecnica trova riscontro in natura nella resistenza all'inghiainamento di alcune piante: mentre un ricoprimento per sovralluvionamento provoca il deperimento progressivo per asfissia della maggior parte delle specie, alcune piante legnose lo sopportano senza perdere la vitalità.
- resistenza alla sommersione anche per periodi prolungati : salici, *Populus alba* (pioppo bianco), *Alnus glutinosa* (ontano nero), Frassini. Le sommersioni della durata da varie ore fino a vari giorni possono essere sopportate senza danni dalle associazioni arboree ripariali, anche più volte all'anno, ma la sommersione totale della pianta oltre tale periodo non è in genere sopportata e la

pianta muore per asfissia. Di tale proprietà va tenuto conto nella progettazione degli interventi di IN in ambito idraulico.



Pioppi con il fusto sommerso, ma vitali sulle rive del lago di Canterno (FR).



Il pioppo bianco è una specie che sopporta la sommersione per periodi prolungati.

Le proprietà tecniche e quelle biologiche costituiscono le caratteristiche biotecniche che caratterizzano alcune specie vegetali e che risultano essenziali per il successo degli interventi di ingegneria naturalistica.

Le piante con elevata valenza **biotecnica** utili negli interventi di IN devono, quindi, possedere particolarmente la capacità di consolidare il terreno ed aver apparati radicali resistenti.

Il consolidamento più efficace del terreno si ottiene quando la compenetrazione radicale avviene in diversi strati a varie profondità per cui è necessario impiegare specie diverse. Un semplice indicatore della capacità di consolidare il terreno è il rapporto fra il volume delle radici ed il volume dei getti, come indicato nella tabella seguente (da Schiechl, 1973).

ARBUSTI E ALBERI	
<i>Viburnum lantana</i>	2,3
<i>Salix eleagnos</i>	1,8
<i>Salix purpurea</i>	1,5
<i>Fraxinus excelsior</i>	1,5
<i>Ligustrum vulgare</i>	1,2
<i>Acer pseudoplatanus</i>	1,1
<i>Salix alba</i>	0,5

Fonte: da Florineth, 1993

Dalla lettura della tabella risulta, ad esempio, molto più utile inserire in una palificata viva spondale, talee di *Salix eleagnos* piuttosto che di *Salix alba*.

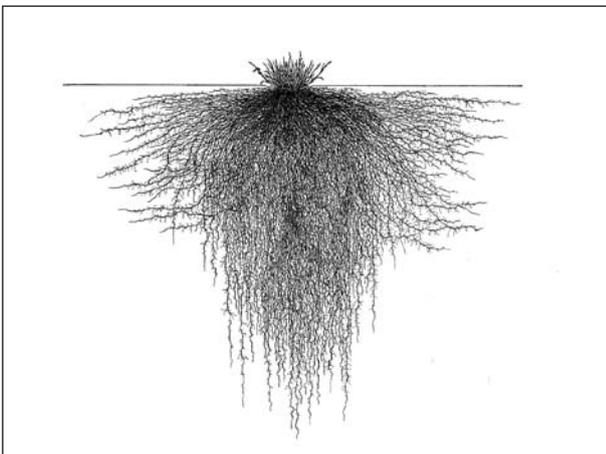
Altro parametro importante per valutare le caratteristiche biotecniche di una specie è la resistenza all'estirpazione dell'intera pianta.

I dati della tabella seguente mostrano, ad esempio, che *Medicago sativa* (erba medica) ha una resistenza all'estirpamento pari a circa 40 volte quella di *Anthyllis vulneraria*, ne risulta, quindi, una capacità antierosiva notevolmente superiore.

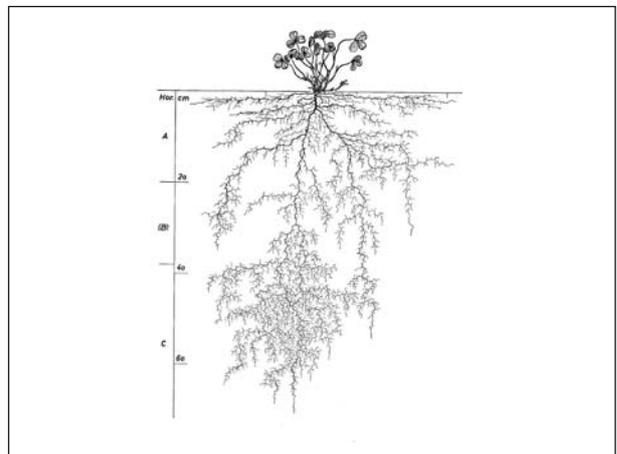
SPECIE	FORZA DI TRAZIONE (N)
<i>Poa annua</i>	1,04
<i>Lolium perenne</i>	5,0
<i>Trifolium repens</i>	3,5
<i>Anthyllis vulneraria</i>	86
<i>Lotus corniculatus</i>	142
<i>Trifolium pratense</i>	154
<i>Onobrychis sativa</i>	350
<i>Medicago sativa</i>	3250
<i>Salix caprea</i>	5500
<i>Carpinus betulus</i>	4000

Fonte: da Florineth, 1993

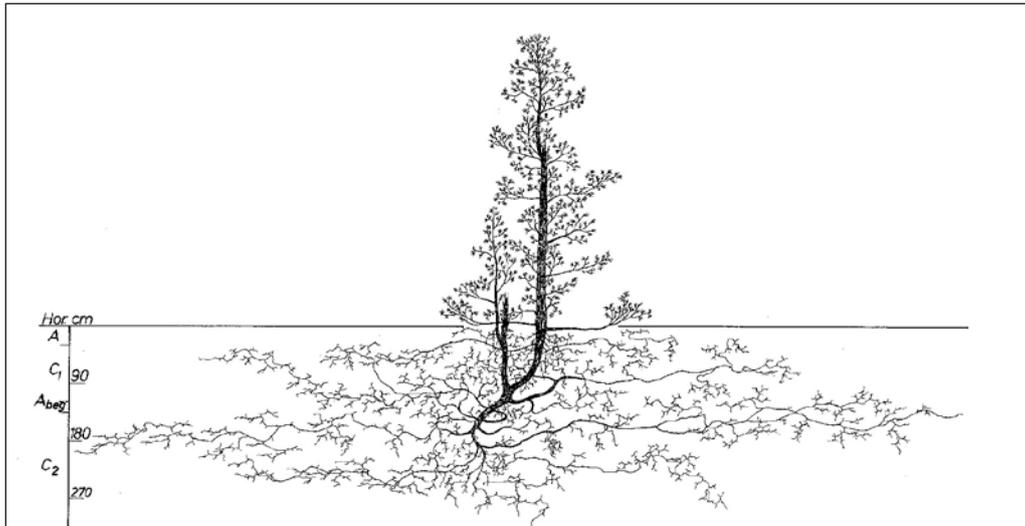
Si riportano di seguito una serie di raffigurazioni di apparati radicali di specie erbacee e legnose comuni nel Lazio, che mettono in evidenza il volume di terreno coinvolto dalla stabilizzazione delle radici stesse (Manuale 3 Regione Lazio).



Lolium perenne (Kutschera-Sobotik, 1997) graminacea a radici fascicolate (espansive in tutte le direzioni).

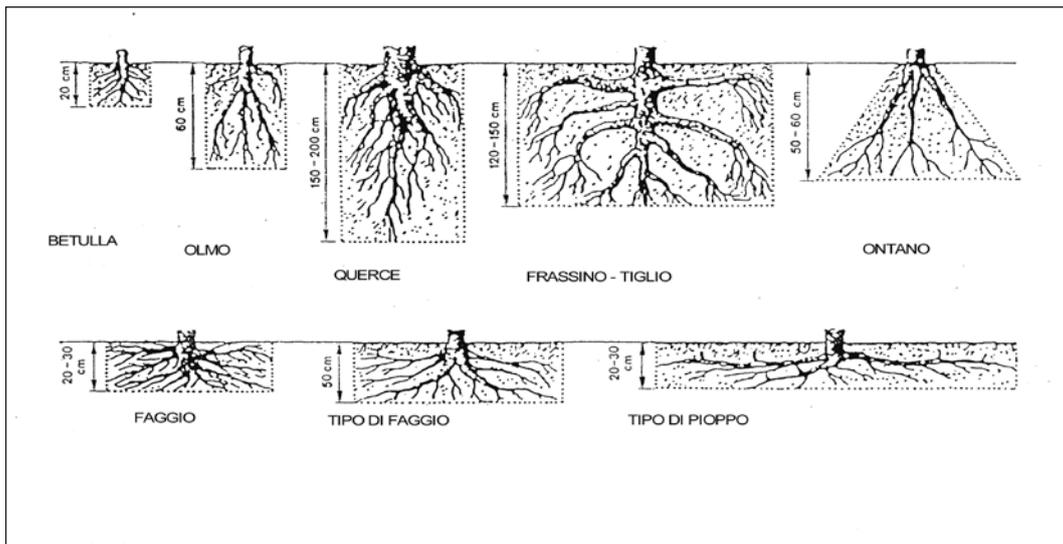


Trifolium repens (Kutschera-Sobotik, 1997) leguminosa a radice fittonante (svilupata in una direzione prevalente).



Juniperus communis ssp. communis (Kutschera-Sobotik, 1997).

Nella figura seguente vengono confrontati gli apparati radicali di diverse specie di alberi (Mathey, 1929, (Manuale 3 Regione Lazio)



I SALICI

Nelle sistemazioni con tecniche di IN i salici vengono utilizzati soprattutto nelle sistemazioni idrauliche perché hanno un'ottima attitudine biotecnica e una rapida propagazione vegetativa.

Nell'eseguire opere d'ingegneria naturalistica, si possono impiegare convenientemente solo quelle specie di salice che hanno facoltà di propagazione vegetativa almeno nella misura del 70%, dal momento che alcune radicano e ricacciano in modo insufficiente come, ad esempio, *Salix caprea* (salicone) (Schiechtl, 1992). Il taglio delle talee va effettuato nel periodo favorevole, che coincide generalmente con quello del riposo vegetativo (piante prive di foglie). Dall'esperienza in ambito mediterraneo si è visto, comunque, che il taglio delle talee è possibile, a seconda della ecologia della stazione (umidità, altitudine, esposizione, etc) anche in alcuni mesi primaverili e autunnali, ad eccezione comunque, del periodo fra la fioritura e la fruttificazione e quello dell'alterazione cromatica autunnale delle foglie, periodi nei quali la capacità di attecchimento è bassissima. Nel tagliare i salici va ricordato che la talea più lunga e più grossa possiede, a causa di una maggiore riserva di ormoni immagazzinata nelle cellule, una maggiore capacità d'accrescimento nei primi tre anni di vita. Generalmente la maggior parte delle specie di salice è dotata di un sistema radicale espanso che si spinge in profondità nel terreno.

Il numero delle possibili specie utilizzabili non è molto grande e, comunque, già all'interno degli stessi salici vi sono esigenze ecologiche molto diverse.

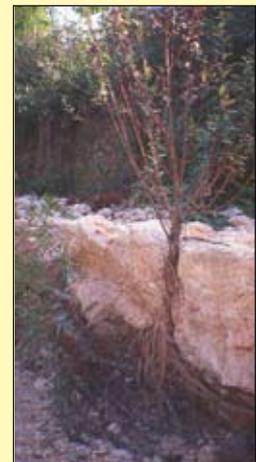
Le specie di salici più frequenti nelle regioni meridionali sono: **Salix alba**, **S. purpurea**, **S. triandra**, **S. eleagnos**, **S. cinerea** e **S. caprea**.



Talea di salice estratta dopo 4 mesi (Foto P. Cornellini).



Fascina viva .Fiume Salt. Girona (Spagna) (Foto J. Bosch).



Sviluppo radicale di talea di salice sul rio Inferno (FR) (Foto P. Cornellini).

APPROFONDIMENTI BIBLIOGRAFICI

SAULIG., CORNELINI P. & PRETI F., 2005 - *Manuale di Ingegneria Naturalistica. Sistemazione dei versanti. Volume 3, Capitolo 12, Regione Lazio - Assessorato all'Ambiente e Cooperazione tra i Popoli - Direzione Regionale Ambiente e Cooperazione tra i Popoli, Naturstudio P.s.c.r.l., Università degli Studi della Tuscia, Gennaio 2006, Regione Lazio, Roma.*

Capitolo 3

ANALISI STAZIONALE BOTANICA: A CHE SERVE?

In un intervento di IN la capacità antierosiva e di consolidamento viene affidata, in ultima analisi, alle piante vive, per cui è essenziale individuare le specie e le tipologie vegetazionali da inserire nelle opere.

Nel caso della palificata viva, ad esempio, l'opera ha lo scopo di garantire il consolidamento del piede di una scarpata in alternativa ad un muro di sostegno; a causa della pendenza, in tale situazione, le piante vive non sono in grado, da subito, di garantire il consolidamento, per cui unitamente ad esse, vengono utilizzati tronchi in legno chiodati tra loro. Con il tempo il legno si decomporrà e gli arbusti e/o le talee cresciuti sia nella parte aerea che nell'apparato radicale, formeranno un cespuglieto con il raggiungimento dell'obiettivo progettuale del consolidamento unitamente alle finalità ecologiche e paesaggistiche tipiche delle tecniche di ingegneria naturalistica.

La scelta delle specie floristiche e delle tipologie vegetazionali richiede un accurato studio ecologico della zona di intervento (**analisi stazionale botanica**).

Tale studio ha il compito di individuare a livello microstazionale (ad esempio, quella particolare scarpata in erosione, sul versante sud, ad altitudine 420 m s.l.m., con 30° di pendenza, su suoli vulcanici, etc.) le specie e le tipologie vegetazionali di progetto, unitamente alla serie dinamica evolutiva della vegetazione, con l'obiettivo dell'aumento della biodiversità.

La conoscenza della serie dinamica della vegetazione costituisce un elemento fondamentale nella scelta delle tipologie progettuali, dal momento che la vegetazione non è un sistema statico, ma un sistema vivente variabile con il tempo; tale evoluzione, osservabile, ad esempio, nella capacità di un bosco di riconquistare un campo abbandonato dalle coltivazioni, procede, nel tempo, molto schematicamente dalle forme più semplici erbacee verso quelle strutturalmente più complesse legnose:

PRATO	⊗	PRATO CESPUGLIATO	⊗	CESPUGLIETO	⊗	CESPUGLIETO ARBORATO	⊗	BOSCO
-------	---	----------------------	---	-------------	---	-------------------------	---	-------

In un intervento di IN molto raramente, è possibile prevedere la vegetazione più evoluta (il bosco) per le limitazioni delle condizioni ecologiche (suoli primitivi, pendenza eccessiva, aridità, etc), per cui va individuato lo stadio dinamico di riferimento per il progetto compatibile con la reale situazione. Non possiamo che imitare e accelerare i processi naturali, ma senza forzare più di tanto, per cui, ad esempio, su una scarpata instabile possiamo proporre solo un prato cespugliato e aspettare che la natura faccia il suo corso.



Processi dinamici di colonizzazione di una falda di detrito da parte della vegetazione mediterranea nella maremma grossetana, nella fase del cespuglieto rado (Foto P. Cornellini).

Una semplice analisi climatica: il diagramma ombrotermico di Walter e Lieth

L'analisi botanica deve essere accompagnata da uno studio sui lineamenti climatici della zona di intervento reperendo le serie mensili dei dati di temperatura e precipitazioni.

Per la caratterizzazione del clima mediterraneo esistono vari diagrammi climatici, tra i quali va ricordato per la semplicità di realizzazione e per le informazioni ecologiche ricavabili **il diagramma ombrotermico** (precipitazioni-temperature) di **Bagnouls e Gaussen (1957) migliorato da Walter e Lieth (1960-67)**. Viene costruito ponendo in ascisse i mesi dell'anno e sulle ordinate le precipitazioni in mm (a destra) e le temperature (a sinistra, riportate in una scala doppia delle precipitazioni ($1^{\circ}\text{C} = 2\text{ mm}$) riferite ai valori medi di un periodo pluridecennale. La modalità di realizzazione, empiricamente, evidenzia che, se la curva delle temperature incrocia, superandola, quella delle precipitazioni, siamo in presenza di un periodo di aridità estivo, tipico del clima mediterraneo.

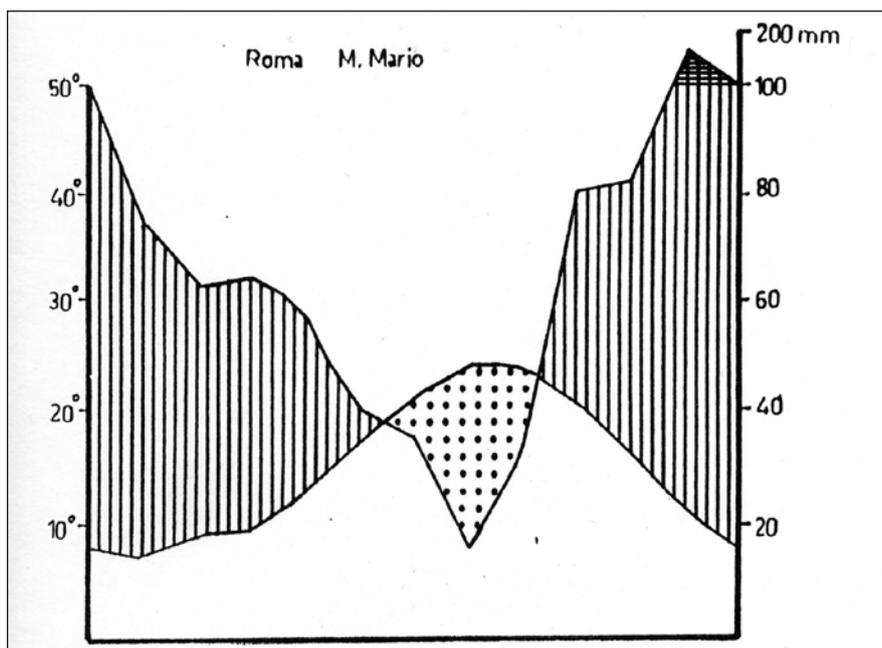
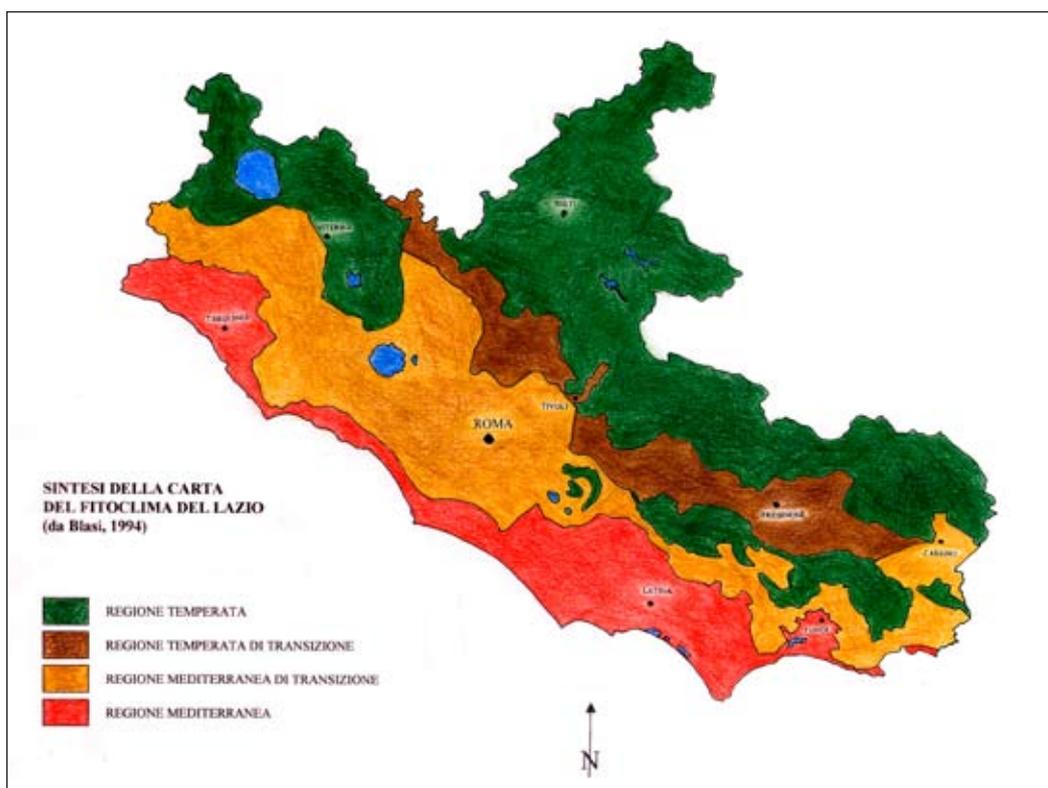


Diagramma di Walter Roma M. Mario

Così, ad esempio, nella figura sopra è riportato il diagramma di Walter relativo a Roma M. Mario, ove in ascisse sono i mesi dell'anno; l'area a strisce evidenzia un periodo di surplus idrico, mentre quella punteggiata un deficit idrico.

Valutare da subito di operare nel clima mediterraneo, rende consapevole il progettista di operare in una situazione più difficile di quella temperata, causa l'aridità estiva e di dover curare particolarmente le analisi per la scelta delle specie e le modalità realizzative dell'intervento.

Informazioni essenziali a riguardo sono contenute nella pubblicazione **FITOCлимATOLOGIA DEL LAZIO (Blasi, 1994)** che contiene la CARTA DEL FITOCLIMA DEL LAZIO. Le 15 unità fitoclimatiche individuate sono state accorpate, per una analisi semplificata, nelle quattro grandi Regioni fitoclimatiche riportate nella figura sotto.



Nell'analisi stazionale botanica sono possibili due tipi di indagine:

1) Analisi floristica

E' una analisi più speditiva di quella fitosociologica e, quindi, da impiegarsi nelle situazioni più semplici, ove la limitata estensione dell'intervento e la omogeneità delle caratteristiche ecologiche possono rendere non necessarie ai fini progettuali le più dettagliate informazioni provenienti da una analisi di tipo vegetazionale. L'analisi floristica si basa sulla determinazione delle entità floristiche presenti con il riconoscimento della loro preferenze ecologiche (ad esempio le specie igrofile o xeriche) unitamente alle **forme biologiche** ed ai **tipi corologici**, che servono per l'individuazione delle specie autoctone.

Dalla lista delle specie floristiche riscontrate nella zona di intervento vanno selezionate le specie

di progetto, come si vede nella tabella seguente che rappresenta un esempio di analisi floristica per la progettazione di palificate vive presso Cà i Fabbri (PU).

ALTITUDINE	730 m	640 m	550 m	550 m	550 m
ESPOSIZIONE	N-E	N-NW	W	W	W
INCLINAZIONE	25°	35°	25°	35°	35°
SUBSTRATO	calcareo	scaglia bianca	calcareo	calcareo	calcareo
H ARBUSTIVO	2-6 m	0,5- 3 m	0,5 -3 m	0,5 - 1 m	0,5 - 1 m
TIPOLOGIA	Siepe stradale in bosco	Palificata Roma	Siepe stradale in lecceta	Grata viva	Palificata viva
LUMINOSITA'	-	-	-	+	+
<i>Corylus avellana</i>	x				
<i>Cornus sanguinea</i>	x	x	x	x	x
<i>Ligustrum vulgare</i>	x				x
<i>Prunus spinosa</i>	x		x		
<i>Lonicera xylosteum</i>			x	x	
<i>Lonicera caprifolium</i>	x				
<i>Lonicera etrusca</i>			x	x	
<i>Crataegus monogyna</i>	x	x		x	
<i>Viburnum tinus</i>		x		x	x
<i>Cotinus coggygria</i>			x	x	
<i>Cytisus sessilifolius</i>			x	x	
<i>Juniperus oxycedrus</i>			x		
<i>Genista tinctoria</i>					
<i>Rosa canina</i>	x			x	
<i>Spartium junceum</i>			x	x	

Nella tabella sono state rilevati nelle varie situazioni (siepe stradale, palificate, grata) gli arbusti presenti, unitamente ai parametri ecologici stazionali (altitudine, esposizione, inclinazione, etc). Da tale lista sono stati scelti gli arbusti da inserire in una palificata viva posta su una strada forestale a 550 m di altitudine con esposizione W al sole. Quali arbusti?



Analisi stazionale botanica sulle rupi del Circeo (LT)
(Foto Cornellini).

FORME BIOLOGICHE

Le forme biologiche o di crescita delle piante rappresentano la possibilità di descrivere la struttura della vegetazione tramite i differenti adattamenti all'ambiente esterno (esempi intuitivi di forme biologiche sono l'albero, l'arbusto o la specie erbacea).

Il sistema utilizzato per classificare le forme biologiche è quello del botanico danese Raunkiaer (1902) che si basa sulla strategia assunta dalle piante per proteggere le gemme durante la stagione avversa (il freddo invernale o l'aridità estiva, a seconda del clima). Le piante vascolari sono così suddivise in 6 classi principali:

Terofite (T): piante annuali che superano la stagione avversa sotto forma di semi (ad es. *Papaver rhoeas*, papavero)

Idrofite (I): piante perenni acquatiche con gemme sommerse durante la stagione sfavorevole (ad es. *Potamogeton natans*, lingua d'acqua).

Geofite (G): piante perenni con organi ipogei (bulbi o rizomi) sui quali si trovano le gemme (ad es. *Phragmites australis*, cannuccia di palude).

Emicriptofite (H): piante perenni con le gemme a livello del suolo (ad es. *Bellis perennis*, margherita).

Camefite (Ch) : piante perenni, alla base legnose, con le gemme fino a 30 cm. da terra (ad es. *Helichrysum italicum*, elicriso).

Fanerofite (P) : piante perenni legnose con le gemme a più di 30 cm. dal suolo (alberi ed arbusti).
Lo spettro biologico rappresenta la ripartizione percentuale delle varie forme biologiche della flora di un territorio ed evidenzia le relazioni tra clima e flora. La conoscenza delle forme biologiche è di grande interesse applicativo nella progettazione degli interventi di IN, in particolare nella scelta delle sementi per gli inerbimenti.



Papaver rhoeas (rosolaccio), terofita comune in Italia (Foto P. Cornelini).



Bromus gussonei (forasacco), emicriptofita tipica degli ambienti ruderali (Foto P. Cornelini)



Narcissus tazetta, geofita presente nella flora di Roma (Foto P. Petrella).

TIPI COROLOGICI

Le specie floristiche non si distribuiscono nel territorio in maniera uniforme; alcune occupano un areale molto ristretto, altre regioni molto estese, fino a quasi tutta la superficie terrestre.

I tipi corologici della flora italiana, cioè i gruppi che rappresentano la distribuzione geografica delle specie, sono essenzialmente (Pignatti, 1982):

Endemiche: specie ad areale ristretto, sono l'elemento più caratteristico di una flora. L'Italia è ricca di endemismi (732, pari al 13,5% della flora) per la sua conformazione geografica e per la storia evolutiva della flora (ad es. *Primula palinuri*).

Mediterranee: si dividono in stenomediterranee con areale lungo le coste del bacino mediterraneo come *Arbutus unedo* (corbezzolo) ed eurimediterranee che si estendono fino all'Europa media quali *Fraxinus ornus* (orniello).

Orofite sudeuropee: specie differenziate sulle montagne dell'Europa meridionale dopo l'orogenesi terziaria come *Abies alba* (abeto bianco).

Eurasiatiche: diffuse nelle zone temperate dell'Europa e dell'Asia, in Italia predominano nella pianura padana e nella fascia di bassa montagna (ad es. *Corylus avellana*, nocciolo).

Atlantiche: specie con areale che gravita sulle coste atlantiche dell'Europa, legate ad un clima oceanico, con precipitazioni distribuite durante tutto l'anno e inverni non troppo freddi, ad es. *Helleborus foetidus* (elleboro puzzolente).

Settentrionali: distribuite nelle zone più fredde del globo, in Italia si rinvencono soprattutto nelle zone montane, come, ad es., *Vaccinium myrtillus* (mirtillo).

Cosmopolite: specie ad ampia distribuzione diffuse in tutti i continenti, si ritrovano soprattutto negli ambienti antropizzati, come *Amaranthus retroflexus* (amaranto comune).

L'analisi dei tipi corologici consente di individuare le specie autoctone per gli interventi progettuali.

2) Analisi fitosociologica

Tale analisi da impiegarsi, unitamente a quella floristica, nelle situazioni più estese e complesse è quella che fornisce le informazioni più complete nella decodifica del messaggio che la copertura vegetale fornisce al progettista.

La fitosociologia è la branca della botanica che studia le comunità vegetali con un'analisi qualitativa-quantitativa, messa a punto da J. Braun Blanquet negli anni '20 dello scorso secolo e si basa sul

riconoscere la vegetazione formata da unità discrete caratterizzate da una certa composizione floristica: le associazioni.

L'elemento operativo fondamentale nell'indagine fitosociologica è il rilievo consistente nel censimento delle specie vegetali di una stazione opportunamente scelta all'interno di una zona fisionomicamente omogenea, accompagnato da una valutazione quantitativa sull'abbondanza di ogni specie, nonché dalle principali caratteristiche ecologiche e strutturali della stazione stessa (altitudine, inclinazione, esposizione, stratificazione, etc.).

Metodologia tipo di analisi botanica

Si riporta a titolo di esempio la metodologia di analisi floristica e vegetazionale utilizzata per un progetto delle opere di recupero ambientale dei versanti della galleria Pileggi presso Nazzano (RM).

Lo studio è stato eseguito secondo le seguenti fasi:

- esame delle cartografie e dei dati bibliografici esistenti sull'area
- indagini floristiche ai fini del censimento delle specie vegetali determinate secondo la Flora d'Italia di Pignatti
- indagini di campagna in prossimità dell'area di intervento e in un ambito più vasto, con rilevamento delle tipologie vegetazionali presenti secondo il metodo fitosociologico di Braun-Blanquet, per la ricostruzione della serie dinamica della vegetazione autoctona
- redazione della carta fisionomico-strutturale della vegetazione in scala 1:500 e considerazioni sulla flora finalizzata alla individuazione di biotopi o stazioni di rilevante interesse naturalistico al fine della salvaguardia e protezione
- valutazioni sulla naturalità delle fitocenosi presenti ai fini della valutazione della compatibilità ambientale degli interventi progettuali
- redazione di una carta dello stato attuale della qualità ambientale in scala 1:1000
- redazione di una carta dello stato della qualità ambientale dell'area dopo gli interventi progettuali a breve termine, in scala 1:1000
- redazione di una carta dello stato della qualità ambientale dell'area dopo gli interventi progettuali a lungo termine, in scala 1:1000



La biodiversità floristica è uno degli obiettivi di un progetto di ingegneria naturalistica (Foto P. Cornelini).

Il progetto botanico

Il progetto botanico deve individuare, a seguito delle analisi stazionali e con riferimento ai parametri ecologici microstazionali (ad esempio, quella particolare scarpata in erosione, sul versante sud, ad altitudine 420 m slm, con 30° di pendenza su suoli vulcanici, etc.), la lista con le quantità delle specie di progetto, strutturata secondo le tipologie vegetazionali

La specie vanno scelte tra quelle:

- coerenti con la flora autoctona a livello, almeno, regionale; nel caso di un'area protetta, il concetto di autoctono va interpretato in senso ancora più ristretto, limitandolo all'area protetta medesima
- ecologicamente compatibili con i caratteri microstazionali (microclima, substrato, morfologia, etc.) dell'area di intervento
- appartenenti allo stadio dinamico della serie della vegetazione potenziale, il più evoluto possibile in funzione delle caratteristiche ecologiche della stazione, così come artificialmente realizzate dall'intervento (ad esempio riportando suolo, diminuendo le pendenze, etc.)
- con la massima biodiversità
- con le necessarie caratteristiche biotecniche

Le piante, i materiali da costruzione delle tecniche di I.N., possono essere impiegate in varie forme quali semi, piante radicate, zolle, rizomi, talee, sfruttando, nell'ultimo caso, la capacità di alcune specie, quali ad es. i salici o le tamerici, di conservare entro i tessuti specializzati alcune cellule meristematiche in grado di attivare i processi biologici di ricostruzione dell'intera pianta.

Le specie più adatte per gli interventi di stabilizzazione e consolidamento sono gli arbusti pionieri autoctoni, mentre non si usano gli alberi, che richiedono condizioni più favorevoli, e che, comunque, possono creare problemi di instabilità; a tale azione puntuale o lineare di stabilizzazione degli arbusti va comunque unita un'azione di protezione antierosiva areale del pendio tramite l'inerbimento.

Le piante in ambito mediterraneo, a causa del periodo di aridità estiva, vivono in condizioni ecologiche meno favorevoli di quelle delle regioni alpine. Ne deriva la necessità di maggiori accorgimenti, tramite idonee analisi floristiche e vegetazionali, nella scelta delle specie vegetali per gli interventi di ingegneria

naturalistica, in quanto le specie autoctone di comune impiego e maggiormente reperibili nei vivai non sempre garantiscono l'attecchimento nelle condizioni ecologiche difficili dell'ambiente mediterraneo.

Analogamente l'utilizzo massiccio dei salici, specie in genere meso-igrofile molto usate in ambito alpino, va limitato alle stazioni umide mediterranee, quali quelle dei corsi d'acqua o di montagna; nelle altre situazioni ambientali spesso non è proponibile per limiti ecologici e climatici, per assenza di coerenza floristico - vegetazionale e per le difficoltà di reperimento.

Nella tabella sotto si riporta la lista degli arbusti di progetto per la situazione esaminata nell'analisi floristica per la progettazione di palificate vive presso Cà i Fabbri (PU).

ALTITUDINE	550 m
ESPOSIZIONE	W
INCLINAZIONE	35°
SUBSTRATO	calcareo
H ARBUSTIVO	0,5 - 1 m
TIPOLOGIA	Palificata viva
LUMINOSITA'	+
Cornus sanguinea	x
Ligustrum vulgare	x
Lonicera xylosteum	x
Lonicera etrusca	x
Crataegus monogyna	x
Viburnum tinus	x
Cotinus coggygria	x
Cytisus sessilifolius	x
Rosa canina	x
Spartium junceum	x

SPECIE AUTOCTONE UTILIZZABILI NEGLI INTERVENTI DI INGEGNERIA NATURALISTICA A SEGUITO DI ANALISI STAZIONALE

Arbusti comuni della macchia mediterranea



Arbutus unedo
Corbezzolo
Famiglia: *Ericaceae*
Forma biologica: P caesp
Tipo corologico: Steno Medit
Ambiente ecologico: macchie, leccete



Phillyrea latifolia
Lilatro
Famiglia: *Oleaceae*
Forma biologica: P caesp
Tipo corologico: Steno Medit
Ambiente ecologico: macchie e leccete



Pistacia lentiscus
Lentisco
Famiglia: *Anacardiaceae*
Forma biologica: P caesp
Tipo corologico: Steno Medit
Ambiente ecologico: macchia mediterranea



Rhamnus alaternus
Alaterno
Famiglia: *Rhamnaceae*
Forma biologica: P caesp
Tipo corologico: Steno Medit
Ambiente ecologico: lecceta, macchia



Myrtus communis
 Mirtò
 Famiglia: Myrtaceae
 Forma biologica: P caesp
 Tipo corologico: Steno Medit
 Ambiente ecologico: macchia mediterranea



Juniperus oxycedrus
 Ginepro ossicedro
 Famiglia: Cupressaceae
 Forma biologica: Pcaesp
 Tipo corologico: Eurimedit
 Ambiente ecologico: ambienti aridi

Arbusti comuni degli ambienti termo-mesofili



Rosa canina
Rosa selvatica
 Famiglia: Rosaceae
 Forma biologica: NP
 Tipo corologico: Paleotemp
 Ambiente ecologico: boscaglie degradate,
 cespuglieti



Prunus spinosa
Prugnolo
Famiglia: Rosaceae
Forma biologica: P caesp
Tipo corologico: Europ Caucas
Ambiente ecologico: boschi cedui, cespuglieti



Ligustrum vulgare
Ligustro
Famiglia: Oleaceae
Forma biologica: NP
Tipo corologico: Europeo W-Asiat
Ambiente ecologico: boschi di caducifoglie termofili, cespuglieti



Spartium junceum
Ginestra odorosa
Famiglia: Leguminosae
Forma biologica: Pcaesp
Tipo corologico: Euri Medit
Ambiente ecologico: cespuglieti soleggiati



Cytisus scoparius
Ginestra dei carbonai
Famiglia: *Leguminosae*
Forma biologica: *P caesp*
Tipo corologico: *Europ*
Ambiente ecologico: *brughiere acide*



Cercis siliquastrum
Albero di Giuda
Famiglia: *Leguminosae*
Forma biologica: *Pcaesp/Pscap*
Tipo corologico: *S-Europ W-Asiat*
Ambiente ecologico: *boschi termofili di latifoglie*

Piccoli alberi comuni degli ambienti termo-mesofili



Corylus avellana
Nocciolo
Famiglia: *Corylaceae*
Forma biologica: *Pcaesp*
Tipo corologico: *Europeo Caucas*
Ambiente ecologico: *boschi di latifoglie*



Fraxinus ornus
Orniello
Famiglia: Oleaceae
Forma biologica: P scap
Tipo corologico: Euri N-Medit
Ambiente ecologico: boscaglie degradate



Acer campestre
Loppio
Famiglia: Aceraceae
Forma biologica: P scap
Tipo corologico: Europ Caucas
Ambiente ecologico: boschi mesofili

Alberi degli ambienti igrofili



Alnus glutinosa
Ontano comune
Famiglia: Betulaceae
Forma biologica: P scap
Tipo corologico: Paleotemp
Ambiente ecologico: boschi ripariali



Populus nigra
 Pioppo nero
 Famiglia: Salicaceae
 Forma biologica: Pscap
 Tipo corologico: Paleotemp
 Ambiente ecologico: fiumi e laghi



Salix alba
 Salice comune
 Famiglia: Salicaceae
 Forma biologica: P scap
 Tipo corologico: Paleotemp
 Ambiente ecologico: luoghi umidi

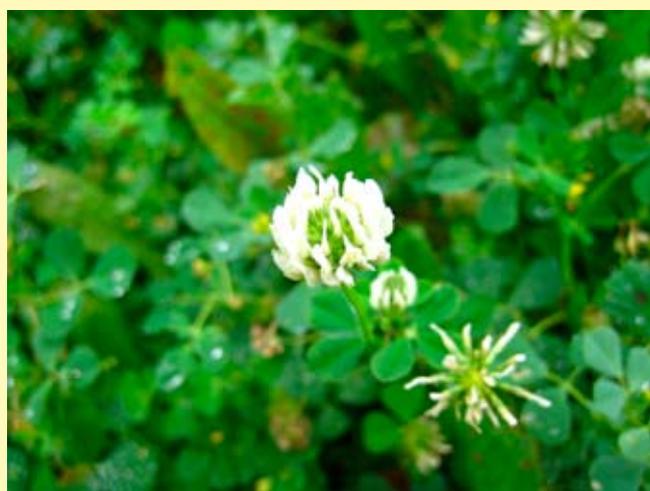
Leguminose erbacee di interesse negli inerbimenti



Onobrychis viciifolia
 Lupinella
 Famiglia: Leguminosae
 Forma biologica: Hscap
 Tipo corologico: Medit-Mont
 Ambiente ecologico: prati e pascoli



Hedysarum coronarium
Sulla
Famiglia: Leguminosae
Forma biologica: H scap
Tipo corologico: W-Medit
Ambiente ecologico: suolo argillosi



Trifolium repens
Trifoglio bianco
Famiglia: Leguminosae
Forma biologica: H rept
Tipo corologico: Subcosm
Ambiente ecologico: prati e incolti

Graminacee di interesse nelle sistemazioni antierosive superficiali



Arundo pliniana
Canna del Reno
Famiglia: Gramineae
Forma biologica: G rhiz
Tipo corologico: Steno Medit
Ambiente ecologico: pendii argillosi



Ampelodesmos mauritanicus
 Tagliamani
 Famiglia: Gramineae
 Forma biologica: H caesp
 Tipo corologico: Steno Medit
 Ambiente ecologico: pendii argillosi



Dactylis glomerata
 Erba mazzolina
 Famiglia: Gramineae
 Forma biologica: H caesp
 Tipo corologico: Paleotemp
 Ambiente ecologico: prati falciabili, incolti

APPROFONDIMENTI BIBLIOGRAFICI

SAULI G., CORNELINI P. & PRETI F., 2005 - *Manuale di Ingegneria Naturalistica. Sistemazione dei versanti. Volume 3, Capitoli 8.4, 8.5, 8.6, 16, Regione Lazio - Assessorato all'Ambiente e Cooperazione tra i Popoli - Direzione Regionale Ambiente e Cooperazione tra i Popoli, Naturstudio P.s.c.r.l., Università degli Studi della Tuscia, Gennaio 2006, Regione Lazio, Roma.*

Capitolo 4

PRINCIPALI TIPOLOGIE

Utilizzo combinato di legname, terra, sassi e, soprattutto, piante vive: potrebbe essere questa una semplificazione portata all'estremo del concetto di Ingegneria Naturalistica.

Ma quante combinazioni sono possibili con questi elementi?

E perché ciascuna è più adatta di altre in certe situazioni?

E quale criterio per la definizione della più idonea rispetto ad una situazione di dissesto?

A seconda delle varie Scuole di pensiero e di vari Autori è possibile distinguere da una settantina ad un centinaio di tipologie di base, tutte più o meno suscettibili di varianti e con possibilità di abbinamenti reciproci.

Per tale motivo un elenco non potrà essere esaustivo e sebbene possano essere suddivise e catalogate secondo vari ordini e possibilità, qui vengono presentate alcune tipologie classiche secondo un ordine che contempla, nonostante i limiti e le eccezioni, sia il grado di complessità (tipi di materiali, tipi di esecuzione, ...) sia la finalità e l'effetto prodotto:

- **Gruppo delle SEMINE**

finalità: antierosiva, di protezione superficiale e stabilizzazione a piccola profondità dei substrati; la copertura fogliare e la diffusione degli apparati radicali contrastano efficacemente erosioni superficiali e piccoli movimenti franosi, intercettando le acque meteoriche e di scorrimento superficiale, non permettendo che queste acquistino l'energia per movimentare gli strati superficiali sciolti del substrato

materiali utilizzati: semi di specie vegetali erbacee (principalmente Graminacee e Leguminose), eventualmente materiali di supporto e veicolanti (acqua, collanti organici, ammendanti, ...)

utilizzo: superfici a bassa acclività (0° + 20°) soggette ad erosioni superficiali, indicato quale possibile abbinamento a completamento di tutte le tipologie

caratteristiche: possibile utilizzo di solo materiale vegetale vivo (semi); molto versatile; estremamente adattabile alla morfologia preesistente

requisiti: il materiale vegetale vivo utilizzato (semi) deve rispettare caratteristiche di autoctonia, provenienza locale, pionierismo, particolari ed elevate attitudini biotecniche (sviluppo degli apparati radicali, crescita rapida, ...)

accorgimenti particolari: realizzazione nei periodi idonei, cure durante tutte le fasi di lavorazione

- **Gruppo dei RIVESTIMENTI VEGETATIVI**

finalità: antierosiva superficiale dei substrati; la copertura della superficie contrasta efficacemente erosioni superficiali e piccoli movimenti franosi, intercettando le acque meteoriche e di scorrimento superficiale, non permettendo che queste acquistino l'energia per movimentare gli strati superficiali sciolti del substrato, permettendo nel contempo l'attecchimento della componente vegetale viva

materiali utilizzati: materiale vegetale vivo (semi, talee s.l., arbusti radicati), biostuoie s.l. (biofeltri, biostuoie, bioreti) e/o geostuoie o georeti singolarmente o in abbinamento a reti metalliche, picchetti di ancoraggio

utilizzo: superfici a medio-bassa acclività (20° ÷ 40°) soggette ad erosioni superficiali (se in abbinamento a reti metalliche l'acclività può essere maggiore)

caratteristiche: strutture costituite da materiali quali biofeltri, biostuoie, bioreti, georeti, reti metalliche (spesso abbinate tra loro) posate direttamente sui substrati, fissate a questi da picchetti; possibile utilizzo strutturale di soli materiali naturali (fibre vegetali, legno); molto adattabile alla morfologia preesistente; la disposizione spaziale consiste nel rivestimento totale della superficie di intervento

requisiti: il materiale vegetale vivo utilizzato (semi) deve rispettare caratteristiche di autoctonia, provenienza locale, pionierismo, particolari ed elevate attitudini biotecniche (sviluppo degli apparati radicali, crescita rapida, ...), i materiali strutturali devono rispettare caratteristiche di biodegradabilità, grammatura, tessitura

accorgimenti particolari: realizzazione nei periodi idonei, cure durante tutte le fasi di lavorazione

- **Gruppo delle INFISIONI/POSE DI TALEE s.l.**

finalità: stabilizzante dei substrati; se utilizzate in strutture portanti svolgono azione di "legatura" tra queste ed i substrati, sostituendone nel tempo la funzione portante

materiali utilizzati: materiale vegetale vivo (talee s.l.)

utilizzo: superfici da medio-bassa a media acclività (20° ÷ 45°) soggette ad erosioni superficiali e piccoli movimenti franosi; spesso in abbinamento a strutture portanti

caratteristiche: possibile utilizzo strutturale di solo materiale vegetale vivo (talee s.l.); molto adattabile alla morfologia preesistente; molto adattabile alle differenti tipologie

requisiti: il materiale vegetale vivo utilizzato (talee s.l.) deve rispettare caratteristiche di autoctonia, provenienza locale, pionierismo, particolari ed elevate attitudini biotecniche (capacità di riproduzione/propagazione vegetativa, sviluppo degli apparati radicali, crescita rapida, ...)

accorgimenti particolari: realizzazione nei periodi idonei, cure durante tutte le fasi di lavorazione

- **Gruppo delle PIANTAGIONI /POSE DI ARBUSTI RADICATI**

finalità: stabilizzante dei substrati; se utilizzati in strutture portanti svolgono azione di “legatura” tra queste ed i substrati, sostituendone nel tempo la funzione portante

materiali utilizzati: materiale vegetale vivo (arbusti radicati)

utilizzo: superfici da medio-bassa a media acclività (20° - 45°) soggette ad erosioni superficiali e piccoli movimenti franosi, più spesso in abbinamento a strutture portanti

caratteristiche: possibile utilizzo strutturale di solo materiale vegetale vivo (arbusti radicati); molto adattabile alla morfologia preesistente

requisiti: il materiale vegetale vivo utilizzato (arbusti radicati) deve rispettare caratteristiche di autoctonia, provenienza locale, pionierismo, particolari ed elevate attitudini biotecniche (sviluppo degli apparati radicali, crescita rapida, ...)

accorgimenti particolari: realizzazione nei periodi idonei, cure durante tutte le fasi di lavorazione

- **Gruppo delle GRADONATE VIVE**

finalità: stabilizzante dei substrati; la disposizione in filari contrasta efficacemente erosioni superficiali e piccoli movimenti franosi, intercettando le acque meteoriche e di scorrimento superficiale, non permettendo che queste acquistino l'energia per movimentare gli strati superficiali sciolti del substrato, favorendo nel contempo la ritenzione idrica ed il deflusso controllato; lo stesso materiale vegetale vivo, una volta attecchito e sviluppato, svolge nel tempo un'efficientissima azione di consolidamento, mediante l'apparato radicale, e di drenaggio, mediante la traspirazione fogliare

materiali utilizzati: materiale vegetale vivo (talee s.l., arbusti radicati)

utilizzo: superfici da medio-bassa a media acclività (20° - 45°) soggette ad erosioni superficiali e piccoli movimenti franosi; la disposizione spaziale consiste in file orizzontali o leggermente inclinate (generalmente nello stesso verso), a distanza minima di circa 2 m una dall'altra, ad interessare tutta la superficie di intervento

caratteristiche: strutture costituite da materiale vegetale vivo posato su scavo a gradone; possibile utilizzo strutturale di solo materiale vegetale vivo (talee s.l., arbusti radicati); molto adattabile alla morfologia preesistente

requisiti: il materiale vegetale vivo utilizzato (talee s.l., arbusti radicati) deve rispettare

caratteristiche di autoctonia, provenienza locale, pionierismo, particolari ed elevate attitudini biotecniche (sviluppo degli apparati radicali, crescita rapida, ...)

accorgimenti particolari: realizzazione nei periodi idonei, cure durante tutte le fasi di lavorazione

- **Gruppo delle VIMINATE VIVE**

finalità: stabilizzante dei substrati; la disposizione in filari contrasta efficacemente erosioni superficiali e piccoli movimenti franosi, intercettando le acque meteoriche e di scorrimento superficiale, non permettendo che queste acquistino l'energia per movimentare gli strati superficiali sciolti del substrato, favorendo nel contempo la ritenzione idrica ed il deflusso controllato; lo stesso materiale vegetale vivo, una volta attecchito e sviluppato, svolge nel tempo un'efficientissima azione di consolidamento, mediante l'apparato radicale, e di drenaggio, mediante la traspirazione fogliare

materiali utilizzati: materiale vegetale vivo (talee s.l.), picchetti in materiali naturali o artificiali, filo di ferro (eventuale)

utilizzo: superfici a medio-bassa acclività ($20^{\circ} \div 40^{\circ}$) soggette ad erosioni superficiali e piccoli movimenti franosi; la disposizione spaziale consiste in file orizzontali o leggermente inclinate (nello stesso verso, a verso alternato, a verso incrociato), a distanza minima di circa 2 m una dall'altra, ad interessare tutta la superficie di intervento

caratteristiche: strutture costituite dall'intreccio alternato di materiale vegetale vivo (astoni e/overghe) attorno a picchetti infissi nel terreno, che in taluni casi possono essere costituiti anch'essi da materiale vegetale vivo (talee); possibile utilizzo strutturale di solo materiale vegetale vivo; molto adattabile alla morfologia preesistente

requisiti: il materiale vegetale vivo utilizzato (talee s.l.) deve rispettare caratteristiche di autoctonia, provenienza locale, pionierismo, particolari ed elevate attitudini biotecniche (capacità di riproduzione/propagazione vegetativa, sviluppo degli apparati radicali, crescita rapida, ...)

accorgimenti particolari: realizzazione nei periodi idonei, cure durante tutte le fasi di lavorazione

- **Gruppo delle FASCINATE VIVE**

finalità: stabilizzante dei substrati, drenante; la disposizione in filari contrasta efficacemente erosioni superficiali e piccoli movimenti franosi, intercettando le acque meteoriche e di scorrimento superficiale, non permettendo che queste acquistino l'energia per movimentare gli strati superficiali sciolti del substrato, favorendo nel contempo la ritenzione idrica ed il deflusso controllato; lo stesso materiale vegetale vivo, una volta attecchito e sviluppato, svolge nel tempo un'efficientissima azione di consolidamento, mediante l'apparato radicale, e di drenaggio, mediante la traspirazione fogliare

materiali utilizzati: materiale vegetale vivo (talee s.l., arbusti radicati), picchetti in materiali naturali o artificiali, filo di ferro

utilizzo: superfici da medio-bassa a media acclività (20° - 45°) soggette ad erosioni superficiali e piccoli movimenti franosi; la disposizione spaziale consiste in file orizzontali o leggermente inclinate (generalmente nello stesso verso), a distanza minima di circa 2 m una dall'altra, ad interessare tutta la superficie di intervento

caratteristiche: strutture costituite da fascine realizzate con materiale vegetale vivo (astoni e/o verghe) fissate al terreno per mezzo di picchetti, che in taluni casi possono essere costituiti anch'essi da materiale vegetale vivo (talee); largo utilizzo strutturale di materiale naturale; molto adattabile alla morfologia preesistente

requisiti: il materiale vegetale vivo utilizzato (talee s.l.) deve rispettare caratteristiche di autoctonia, provenienza locale, pionierismo, particolari ed elevate attitudini biotecniche (capacità di riproduzione/propagazione vegetativa, sviluppo degli apparati radicali, crescita rapida, ...)

accorgimenti particolari: realizzazione nei periodi idonei, cure durante tutte le fasi di lavorazione

- **Gruppo delle GRATE VIVE**

finalità: consolidamento dei substrati; funzione primaria di sostegno e contenimento del materiale di riempimento anche per pendenze morfologiche molto elevate (sino a $\sim 55^{\circ}$); il conseguente consolidamento del versante è assicurato una volta attecchito e sviluppato il materiale vegetale vivo la cui azione aumenta nel tempo mediante lo sviluppo dell'apparato radicale, favorendo nel contempo il drenaggio mediante la traspirazione fogliare; lo stesso materiale vegetale vivo sostituisce nel tempo la funzione portante della struttura lignea destinata a decomporsi; assolutamente non idonea a controbilanciare spinte attive

materiali utilizzati: materiale vegetale vivo (talee s.l., arbusti radicati), tronchi scortecciati, picchetti in materiali artificiali, materiale di riempimento

utilizzo: su superfici a medio-alta acclività (max 55°) soggette a fenomeni erosivi molto accentuati o di nicchie di frana

caratteristiche: strutture in tronchi disposti verticalmente ed orizzontalmente, perpendicolari tra loro, a formare un sostegno reticolare, a maglia quadrata o rettangolare, a contenimento del materiale inerte di riporto e del materiale vegetale vivo; largo utilizzo strutturale di materiale naturale, adattabile alla morfologia preesistente; non presenta grandi limiti per quanto riguarda l'altezza raggiungibile (sino a 20 m)

requisiti: il materiale vegetale vivo utilizzato (talee s.l., arbusti radicati) deve rispettare caratteristiche di autoctonia, provenienza locale, pionierismo, particolari ed elevate attitudini biotecniche (capacità di riproduzione/propagazione vegetativa, sviluppo degli apparati radicali, crescita rapida, ...)

accorgimenti particolari: realizzazione nei periodi idonei, cure durante tutte le fasi di lavorazione

- **Gruppo delle PALIFICATE VIVE**

finalità: consolidamento dei substrati; funzione di contrapposizione a movimenti gravitativi, blocco di masse a monte, azione di stabilizzazione, azione di consolidamento; può costituire base per ulteriori interventi; lo stesso materiale vegetale vivo, una volta attecchito e sviluppato, svolge nel tempo un'efficientissima azione di consolidamento, mediante l'apparato radicale, e di drenaggio, mediante la traspirazione fogliare, sostituendo nel tempo la funzione portante della struttura lignea destinata a decomporsi

materiali utilizzati: materiale vegetale vivo (talee s.l., arbusti radicati), tronchi scortecciati, picchetti in materiali artificiali, materiale di riempimento

utilizzo: alla base di scarpate soggette a fenomeni erosivi e franosi accentuati e di pendii franosi anche in presenza di spinte interne

caratteristiche: strutture in tronchi scortecciati disposti, in livelli sovrapposti, perpendicolarmente uno all'altro a formare una "gabbia" di contenimento per il materiale inerte di riporto ed il materiale vegetale vivo; largo utilizzo strutturale di materiale naturale; adattabile alla morfologia preesistente; dimensionalmente limitata in altezza (max 2,5 m)

requisiti: il materiale vegetale vivo utilizzato (talee s.l., arbusti radicati) deve rispettare caratteristiche di autoctonia, provenienza locale, pionierismo, particolari ed elevate attitudini biotecniche (capacità di riproduzione/propagazione vegetativa, sviluppo degli apparati radicali, crescita rapida, ...)

accorgimenti particolari: realizzazione nei periodi idonei, cure durante tutte le fasi di lavorazione

- **Gruppo delle TERRE RINFORZATE RINVERDITE**

finalità: realizzazione di scarpate artificiali con inclinazioni maggiori dell'angolo di attrito (ϕ) proprio del materiale utilizzato per il riempimento

materiali utilizzati: materiale vegetale vivo (talee s.l., arbusti radicati), tronchi scortecciati, picchetti in materiali artificiali, materiale di riempimento

utilizzo: alla base di scarpate soggette a fenomeni erosivi e franosi accentuati e di pendii franosi anche in presenza di spinte interne; realizzazione di rilevati e barriere di contenimento

caratteristiche: strutture di sostegno a gravità costituite da elementi di contenimento e di rinforzo realizzati principalmente mediante reti e tiranti in metallo o materiali sintetici abbinati a biofeltri bio-geostuoie o bio-georeti per il contenimento del materiale inerte di riporto; paramento esterno con inclinazione max 60° rispetto all'orizzontale; non adattabile alla morfologia preesistente; non presenta limiti per quanto riguarda l'altezza raggiungibile

requisiti: il materiale vegetale vivo utilizzato (talee s.l., arbusti radicati) deve rispettare caratteristiche di autoctonia, provenienza locale, pionierismo, particolari ed elevate attitudini biotecniche (capacità di riproduzione/propagazione vegetativa, sviluppo degli apparati radicali, crescita rapida, ...); il materiale strutturale deve essere non degradabile

accorgimenti particolari: realizzazione nei periodi idonei, cure durante tutte le fasi di lavorazione

principali Tipi di SEMINE

Semine manuali a spaglio



Semina manuale a spaglio a completamento di un intervento su scarpata (Fascinata viva di versante, Viminata viva di versante, Piantagione di arbusti in fitocella, in opera) (Foto R.Ferrari).

Semine con fiorume



Fiorume appena raccolto per semina manuale (Semina con fiorume, in opera) (Foto R.Ferrari).

Idrosemine



Idrosemina a completamento di un intervento su scarpata (Terra rinforzata rinverdata di versante, in opera) (Foto R.Ferrari).

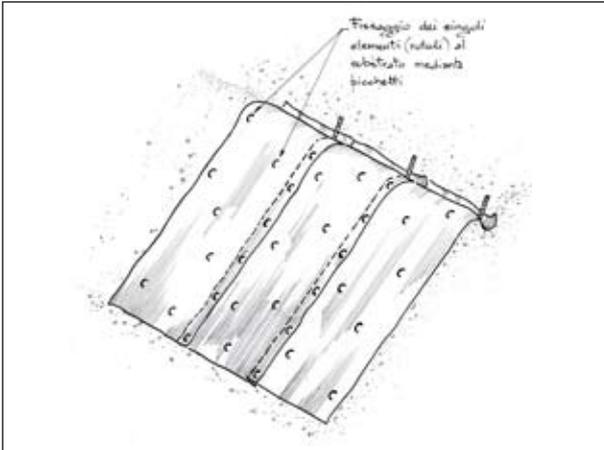
Idrosemine a spessore



Idrosemina a spessore, particolare (Terra rinforzata di versante, in opera) (Foto R.Ferrari).

principali Tipi di RIVESTIMENTI VEGETATIVI

Rivestimenti vegetativi in Biofeltri (paglia, juta, cocco, fibre di legno, miste), Biostuoie (juta, cocco, miste) Bioreti (juta)

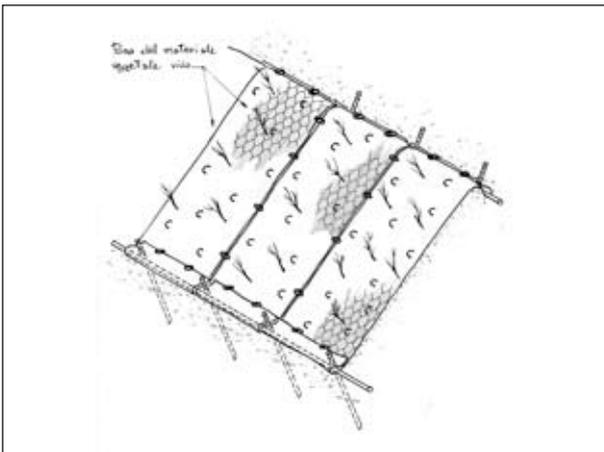


Rivestimento vegetativo in Biostuoia s.l. (assonometria) (Disegno E.Ferrari).



Posa del biofeltro (Rivestimento vegetativo in Biofeltro di cocco preseminato, in opera) (Foto R.Ferrari).

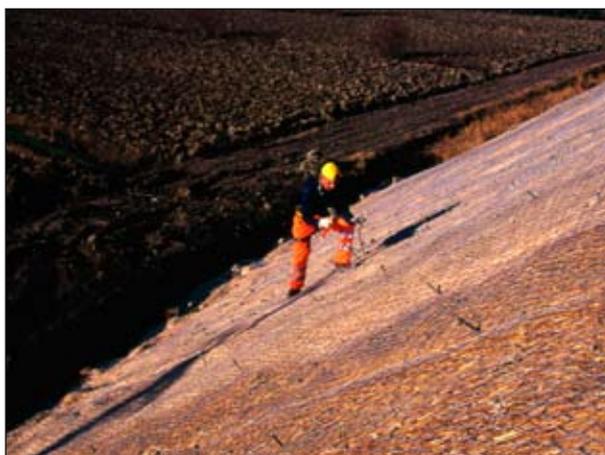
Rivestimenti vegetativi in reti metalliche a doppia torsione zincate e biofeltri o biostuoie



Rivestimento vegetativo in rete metallica a doppia torsione e biostuoia s.l. (assonometria) (Disegno E.Ferrari).



Posa di Rete metallica (Rivestimento vegetativo in rete metallica a doppia torsione zincata e biofeltro di cocco, in opera) (Foto R.Ferrari)..



Inserimento di talee di *SALIX* sp. (Rivestimento vegetativo in rete metallica a doppia torsione zincata e plastificata e biofeltro di paglia, in opera) (Foto R.Ferrari)..

principali Tipi di INFISSIONI/POSE DI TALEE s.l.

Infissioni di talee



Infissione di Talee di *SALIX* sp. (Rivestimento vegetativo in Biostuoia di juta, Palificata viva doppia di versante, post operam) (Foto R.Ferrari).

Utilizzi di talee in altre tipologie



Posa di Talee di *SALIX* sp. (Palificata viva doppia di versante, in opera) (Foto R.Ferrari).

principali Tipi di PIANTAGIONI/POSE DI ARBUSTI

Piantagioni di arbusti



Arbusto con protezione pacciamante (Piantazione di arbusti, post operam) (Foto R.Ferrari).

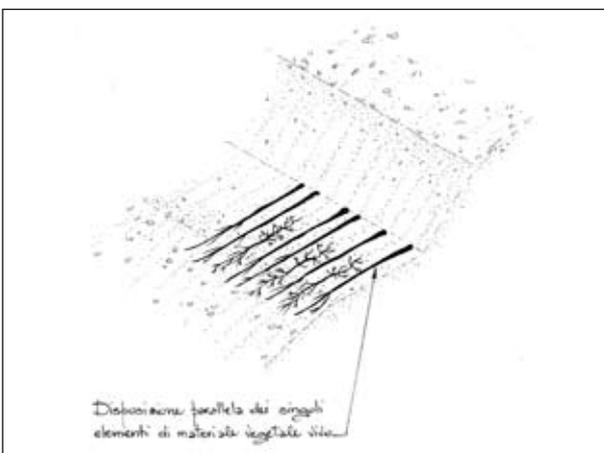
Utilizzi di arbusti in altre tipologie



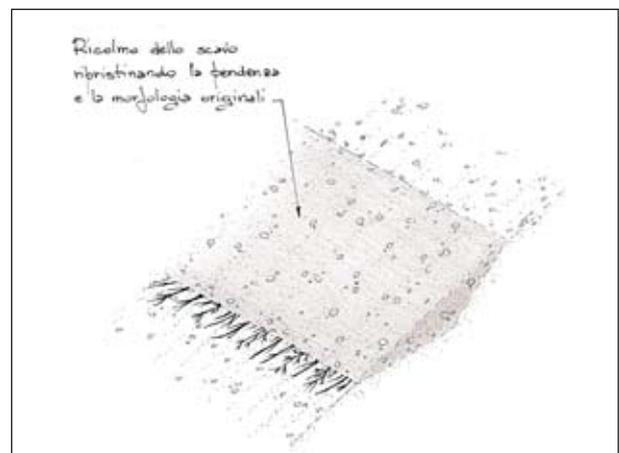
Posa di arbusto in fitocella (Palificata latina, in opera) (Foto R.Ferrari).

principali Tipi di GRADONATE VIVE

Gradonate vive ad elementi paralleli



Gradonata viva ad elementi paralleli (assonometria) (Disegno E.Ferrari).

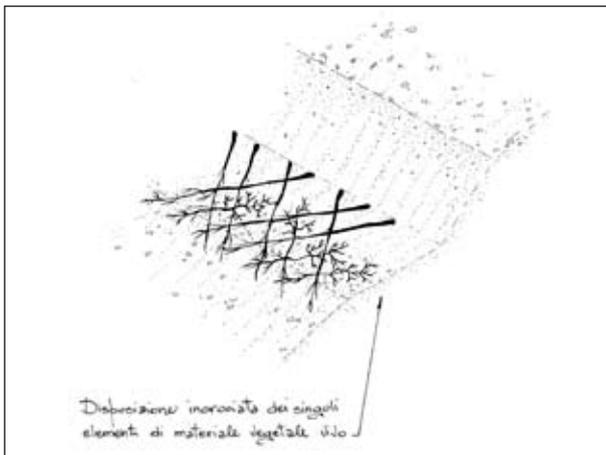


Gradonata viva ad elementi paralleli (assonometria) (Disegno E.Ferrari).



Gradonata viva con disposizione parallela delle talee (Gradonata viva, post operam) (Foto R.Ferrari).

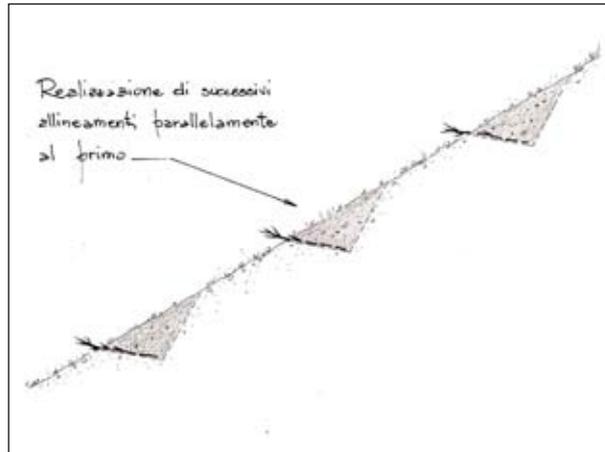
Gradonate vive ad elementi incrociati



Gradonata viva ad elementi incrociati (assonometria) (Disegno E.Ferrari).



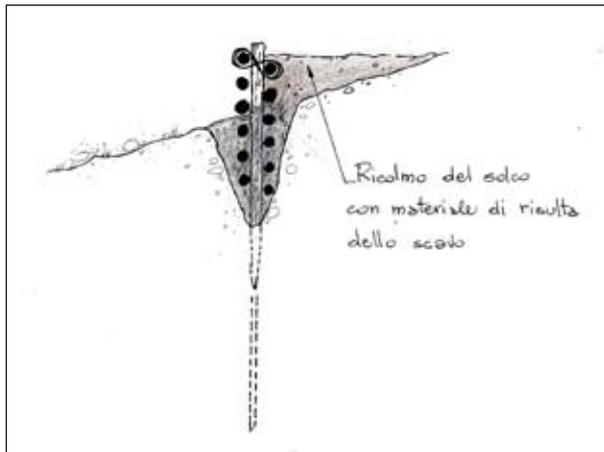
Gradonata viva con disposizione incrociata delle talee (Gradonata viva, in opera) (Foto R.Ferrari).



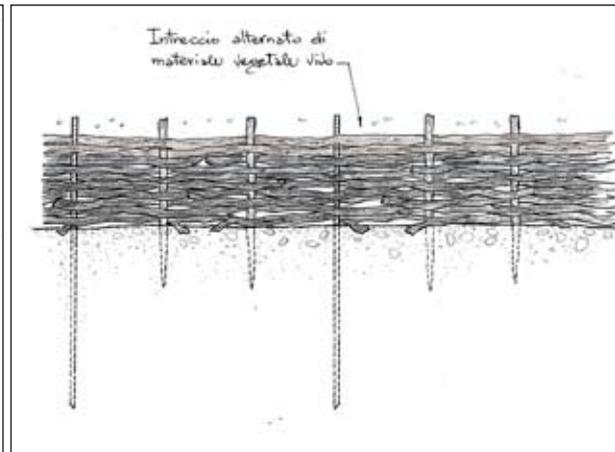
Gradonata viva (sezione) (Disegno E.Ferrari).

principali Tipi di VIMINATE VIVE

Viminata vive di versante



Viminata viva di versante (sezione) (Disegno E.Ferrari).



Viminata viva di versante (vista frontale) (Disegno E.Ferrari).



Intreccio alternato di astoni di *SALIX PURPUREA* (Viminata viva di versante, in opera) (Foto R.Ferrari).



Intreccio alternato di astoni di *TAMARIX GALLICA* (Viminata viva di versante, in opera) (Foto R.Ferrari).



Viminata viva di versante (sezione) (Disegno E.Ferrari).

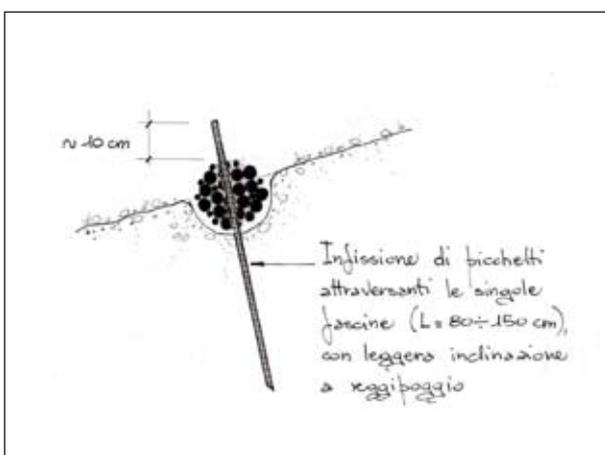
Viminate vive spondali



Cospicuo utilizzo di materiale vegetale vivo in intervento su sponda (Viminata viva spondale, Ribalta viva, in opera) (Foto R.Ferrari).

principali Tipi di FASCINATE VIVE

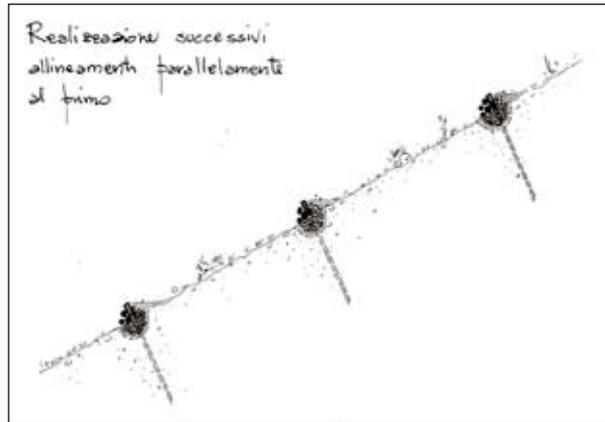
Fascinate vive di versante



Fascinata viva di versante (sezione) (Disegno E.Ferrari).



Fascina di SALIX sp.. (Fascinata viva di versante, in opera) (Foto R.Ferrari)

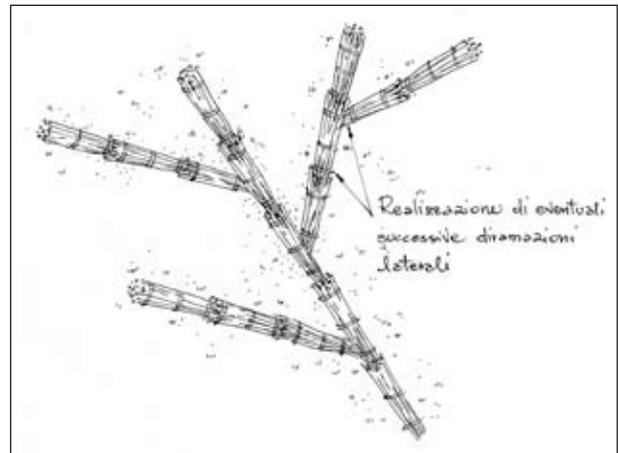


Fascinata viva di versante (sezione) (Disegno E.Ferrari).

Fascinate vive drenanti



Drenaggio tradizionale e drenaggio con materiale vegetale vivo (Fascinata viva drenante, in opera) (Foto R.Ferrari).



Fascinata viva drenante (schema) (Disegno E.Ferrari).

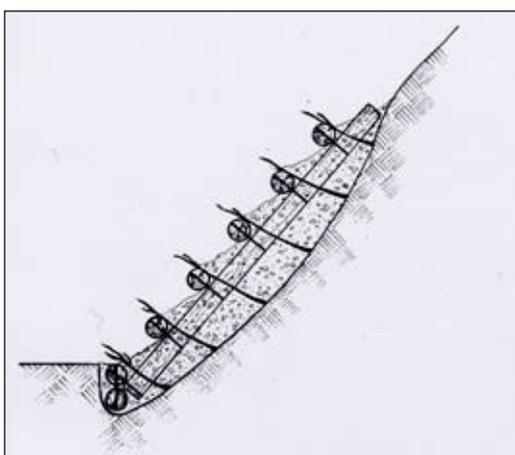
Fascinate vive spondali



Picchetti di fissaggio ad inclinazione alternata (Fascinata viva spondale, in opera) (Foto R.Ferrari).

principali Tipi di GRATE VIVE

Grate vive semplici di versante



Grata viva di versante (sezione) (Disegno E.Ferrari).



Riempimento con materiale inerte di riporto di una struttura a maglia rettangolare (Grata viva semplice di versante, in opera) (Foto R.Ferrari).



Colonizzazione spontanea di specie pioniere (Grata viva semplice di versante, post operam) (Foto R.Ferrari).

principali Tipi di PALIFICATE VIVE

Palificate vive doppie di versante

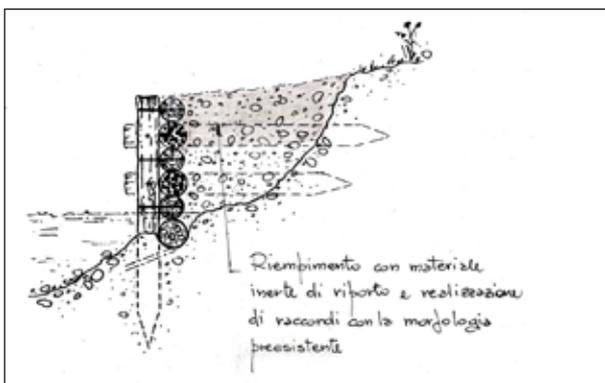


Come si presenta la tipologia all'inizio della prima stagione vegetativa (Palificata viva doppia di versante, post operam) (Foto R.Ferrari).



Realizzazione con pietrame a vista (Palificata viva doppia di versante, post operam) (Foto R.Ferrari).

Palificate vive spondali con palo verticale frontale



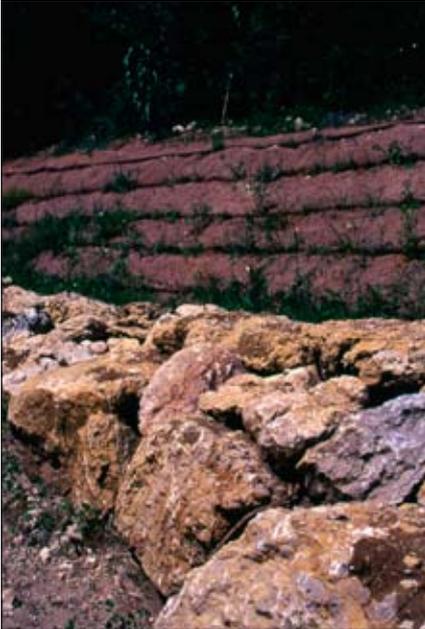
Palificata viva spondale con palo verticale frontale (sezione) (Disegno E.Ferrari).



Come si presenta la tipologia all'inizio della prima stagione vegetativa (Palificata viva spondale con palo verticale frontale, post operam) (Foto R.Ferrari).

principali Tipi di TERRE RINFORZATE RINVERDITE

Terre rinforzate rinverdite in geosintetici



Come si presenta la tipologia appena terminata la fase realizzativa di cantiere (Terra rinforzata rinverdita in geosintetico, post operam) (Foto R.Ferrari).

Terre rinforzate rinverdite in biostuoie s.l. o geosintetici e griglie metalliche

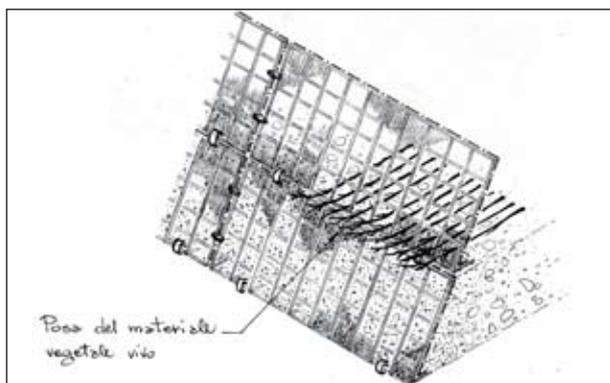


Come si presenta la tipologia appena terminata la fase realizzativa di cantiere (Terra rinforzata rinverdita in biofeltro di paglia e griglia metallica, post operam) (Foto R.Ferrari).



Come si presenta la tipologia dopo un intervento manutentorio, particolare (Terra rinforzata rinverdita in biostuoia di juta, georete e griglia metallica, post operam) (Foto R.Ferrari).

Terre rinforzate rinverdate in griglie ed armature metalliche



Terra rinforzata rinverdata in griglia ed armatura metallica (assonometria) (Disegno E.Ferrari).



Terra rinforzata rinverdata in griglia ed armatura metallica (sezione) (Disegno E.Ferrari).



Come si presenta la tipologia appena terminata la fase realizzativa di cantiere (Terra rinforzata rinverdata in griglia ed armatura metallica, post operam) (Foto R.Ferrari).

Terre rinforzate rinverdate in reti metalliche a doppia torsione



Come si presenta la tipologia durante la fase realizzativa di cantiere (Terra rinforzata rinverdata in rete metallica a doppia torsione, in opera) (Foto R.Ferrari).

PALIFICATA VIVA DOPPIA DI VERSANTE

Cosa è

È una struttura in tronchi disposti, in livelli sovrapposti, perpendicolarmente uno all'altro a formare una "gabbia" di contenimento per il materiale inerte di riporto ed il materiale vegetale vivo.

Presenta due pareti di cui una esterna, frontale, ed una interna, a contatto con il substrato, parallele ed inclinate con valore massimo di circa 60° rispetto all'orizzontale (valori maggiori di inclinazione non permettono la captazione dell'apporto minimo di acque meteoriche indispensabili alla vegetazione).

Viene indicata anche con i sinonimi Palificata viva a due pareti e Palificata viva di sostegno doppia.

È conosciuta anche con le denominazioni improprie di muro verde, palizzata, gabbione di terra creando ambiguità e disguidi.



Come si presenta la tipologia appena terminata la fase realizzativa di cantiere (post operam) (Foto R.Ferrari).

Dove si fa

Viene inserita alla base di scarpate e pendii franosi sia naturali che in ambito stradale e ferroviario, anche in presenza di spinte interne che comunque devono essere valutate e compatibili con i limiti funzionali della struttura stessa.

Considerando che la profondità (larghezza) della "gabbia" non è generalmente superiore a $2\div 2,5$ m, in quanto altrimenti non si consentirebbe la posa del materiale vegetale vivo passante all'interno della struttura (lunghezza delle talee s.l. che devono raggiungere il fronte di scavo), questa tipologia presenta un limite dimensionale costruttivo relativamente all'altezza (max $2\div 2,5$ m), dovuto alle verifiche statiche di stabilità dell'opera. Per questo motivo, se il tipo di dissesto lo richiede e ci sono le condizioni morfologiche e geotecniche, è possibile la realizzazione di più file sovrapposte a distanze predeterminate in fase progettuale.



Realizzazione di più file sovrapposte (post operam) (Foto R.Ferrari).

Perché si fa

Posta al piede delle aree soggette a dissesto, con la sua massa si contrappone ai movimenti gravitativi, blocca le masse a monte, favorisce il drenaggio svolgendo nel complesso azione stabilizzatrice e di consolidamento e può costituire base per ulteriori interventi di Ingegneria Naturalistica.

Lo stesso materiale vegetale vivo, una volta attecchito e sviluppato, svolge nel tempo un'efficientissima azione di consolidamento, mediante l'apparato radicale, e di drenaggio, mediante la traspirazione fogliare, sostituendo nella funzionalità la struttura lignea destinata a decomporsi.

Quando si fa

Dovendosi utilizzare, durante la fase di realizzazione, materiale vegetale vivo, soprattutto derivato da specie atte alla riproduzione per via vegetativa (talee, verghe, astoni, ramaglie), è tassativamente necessario operare durante il periodo di riposo vegetativo (rami senza foglie).

Analogamente a quasi tutti gli interventi di Ingegneria Naturalistica che implicano l'utilizzo di tali materiali vegetali vivi, il periodo utile per l'esecuzione dei lavori può essere limitatamente ampliato stoccando gli stessi materiali vegetali vivi in acqua fredda leggermente corrente ($T_{max} 15^{\circ}C$) od in celle frigorifere ($T 0\div 1^{\circ}C$): questa possibilità deve però seguire ad una attenta analisi che tenga conto delle necessità delle specie utilizzate, delle caratteristiche del materiale destinato al riempimento della struttura, dell'entità dello sforamento dei limiti del periodo ottimale anche in rapporto alle caratteristiche morfologiche, topografiche e climatiche del sito di intervento.

Cosa serve

Attrezzature

- mezzo meccanico (scavatore o terna o ragno) (carburante), braghe o catene, ganci
- generatore elettrico (carburante), cavo elettrico di idonea lunghezza, raccordi elettrici
- trapano elettrico (potenza min 1000 W) o a scoppio (carburante) con attrezzatura di dotazione
- punte trapano per legno (L 50 cm – Ø 14 mm)
- smerigliatrice angolare con attrezzatura di dotazione
- mola da taglio per ferro
- motosega (carburante, olio) con attrezzatura di dotazione, lame di riserva, attrezzatura individuale antinfortunistica
- mazzetta manico corto (1,5 kg)
- mazza manico lungo (5 kg)
- chiodi tipo cambra (o zanca)
- zappini
- gira-tronchi
- pala
- piccone
- sega ad arco per legno
- coltello lama dritta
- cesoia manici lunghi
- forbice da giardinaggio
- metro snodabile (L 2 m)
- cordella metrica (L 20÷50 m)

Materiali

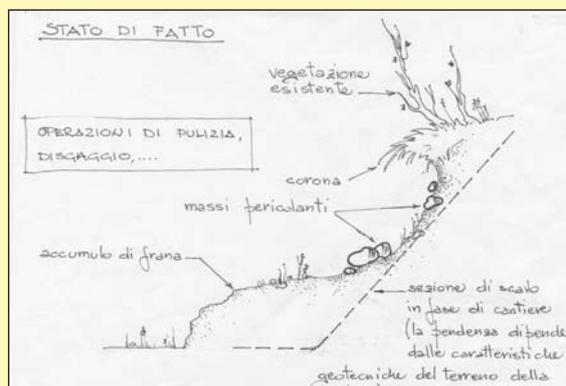
- materiale vegetale vivo autoctono (astoni di specie atte alla riproduzione vegetativa, specie arbustive a radice nuda o in fitocella)
- tronchi (larice, castagno, pino nero) scortecciati (L 4-5 m – Ø 18÷30 cm)
- “chiodi” in tondino di ferro ad aderenza migliorata (L 40÷60 cm – Ø 14 mm)
- materiale inerte di riporto derivato da scavo in terra (con caratteristiche compatibili per lo sviluppo della componente vegetale)
- materiale inerte litoide costituito da pietrame (Ø max 30 cm) (eventuale)
- biostuoia o biorete (eventuale)

Come si esegue correttamente

Fase 1 - Viene considerata eseguita la preparazione preliminare del sito di intervento comprendente tutte le operazioni relative all'eventuale disboscio, all'eventuale modifica morfologica, alla pulizia, al disgaggio, alla messa in sicurezza. Tali operazioni vengono effettuate mediante l'utilizzo del mezzo meccanico ed eventualmente completate manualmente.



Fase 1 (Foto R.Ferrari).

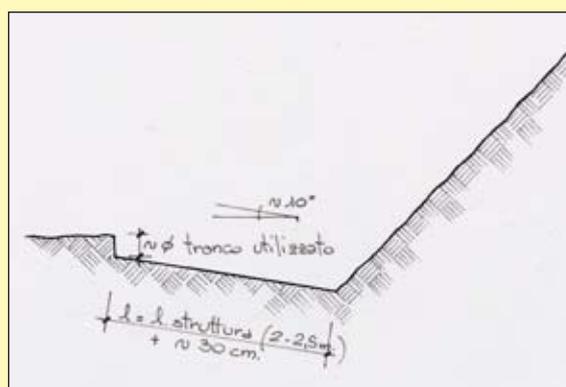


Fase 1 (sezione) (Disegno E.Ferrari)

Fase 2 - Predisposizione della sede di posa, ad una quota inferiore rispetto al piano campagna (p.c.) pari a circa il diametro dei tronchi in uso, mediante scavo e preparazione del piano di appoggio della base della struttura che deve presentare andamento piano con superficie inclinata a reggipoggio di circa 10° rispetto all'orizzontale, con lunghezza e larghezza di poco superiori a quelle della struttura. Tale operazione viene effettuata mediante l'utilizzo del mezzo meccanico ed eventualmente completata manualmente.



Fase 2 (Foto R.Ferrari).

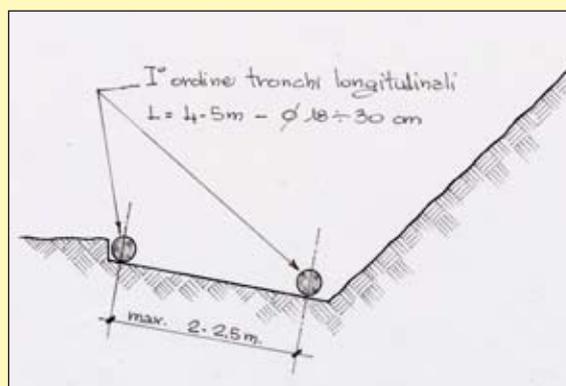


Fase 2 (sezione) (Disegno E.Ferrari).

Fase 3 - Posa e fissaggio di tronchi longitudinali (correnti) (primo ordine), della lunghezza massima disponibile, in due file orizzontali e parallele: la più avanzata costituisce il limite esterno, a vista, dell'opera finita; la più arretrata costituisce il limite interno, a stretto contatto con la superficie dello scavo, a ridosso del substrato. La distanza tra le due file (interasse) deve rispettare le indicazioni progettuali basate su calcoli strutturali e di stabilità e non deve comunque in nessun caso superare la lunghezza delle talee disponibili (**per l'esperienza derivata dall'uso delle specie reperibili, tale limite può essere determinato a circa 2-2,5 m**). I tronchi longitudinali devono venire uniti uno all'altro mediante incastro a sormonto; il fissaggio viene effettuato mediante trapanazione sequenziale di entrambi i tronchi e successivo inserimento con battitura manuale del "chiodo" costituito da tondino di ferro ad aderenza migliorata (per tronchi con un diametro pari a 20÷40 cm è opportuno adottare un diametro preforo/chiodatura pari a 14 mm). L'utilizzo del mezzo meccanico si limita alla movimentazione degli elementi più pesanti e ad assistenza in genere.



Fase 3 (Foto R.Ferrari).

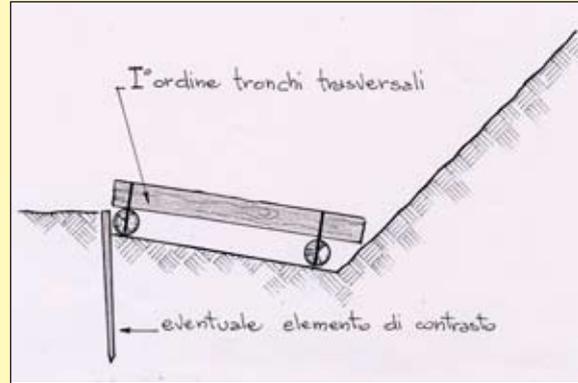


Fase 3 (sezione) (Disegno E.Ferrari).

Fase 4 - Posa e fissaggio di tronchi trasversali (primo ordine), di lunghezza di poco superiore alla distanza totale delle due file di tronchi longitudinali (correnti) sottostanti, ortogonalmente ad essi e con distanza uno dall'altro (interasse) generalmente non superiore a 2 m. Il fissaggio viene effettuato mediante trapanazione sequenziale di entrambi i tronchi (trasversale e longitudinale (corrente) e successivo inserimento con battitura manuale del "chiodo" costituito da tondino di ferro ad aderenza migliorata, analogamente a quanto fatto per il fissaggio dell'incastro tra i tronchi longitudinali. L'utilizzo del mezzo meccanico si limita alla movimentazione degli elementi più pesanti e ad assistenza in genere.

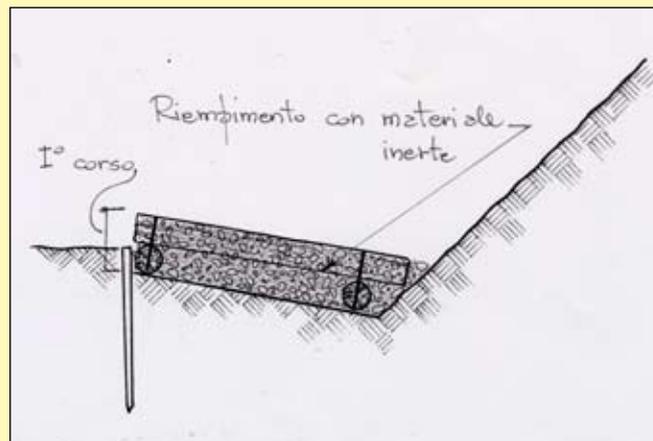


Fase 4 (Foto R.Ferrari).



Fase 4 (sezione) (Disegno E.Ferrari).

Fase 5 - Riempimento con materiale inerte di riporto per uno spessore pari alla somma del diametro del primo ordine di tronchi longitudinali (correnti) e del primo ordine di tronchi trasversali (completamento del primo corso). Tale operazione viene effettuata mediante l'utilizzo del mezzo meccanico e completata manualmente a formare un piano parallelo alla superficie di partenza (con inclinazione a reggipoggio), compattando il materiale ed eliminando nel contempo eventuali vuoti.

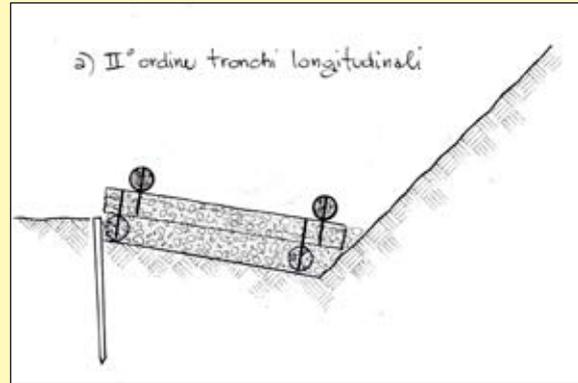


Fase 5 (sezione) (Disegno E.Ferrari).

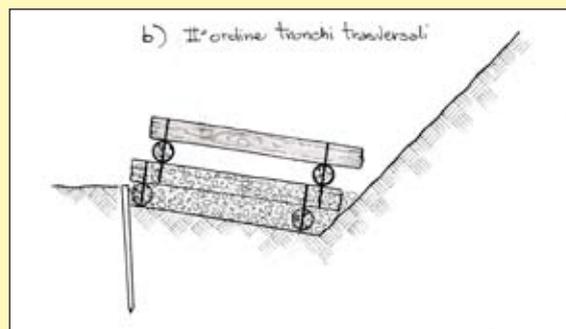
Fase 6 - Posa e fissaggio di tronchi longitudinali (correnti) (secondo ordine) e di tronchi trasversali (secondo ordine) secondo le modalità e gli accorgimenti precedenti, iniziando dalla fila esterna di tronchi longitudinali (correnti) che deve essere arretrata verso l'interno rispetto alla prima onde consentire l'inclinazione delle pareti, anteriore e posteriore, pari a circa 60° . L'utilizzo del mezzo meccanico si limita alla movimentazione degli elementi più pesanti e ad assistenza in genere.



Fase 6 (Foto R.Ferrari).

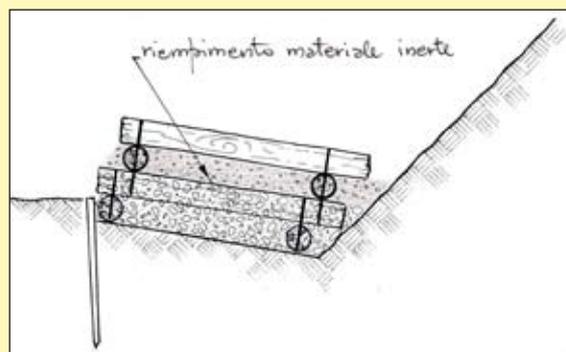


Fase 6 (sezione) (Disegno E.Ferrari).



Fase 6 (sezione) (Disegno E.Ferrari).

Fase 7 - Riempimento con materiale inerte di riporto per uno spessore pari al diametro dei tronchi longitudinali (correnti). Tale operazione viene effettuata mediante l'utilizzo del mezzo meccanico e completata manualmente a formare un piano parallelo alla superficie di partenza (con inclinazione a reggipoggio), eliminando nel contempo eventuali vuoti.

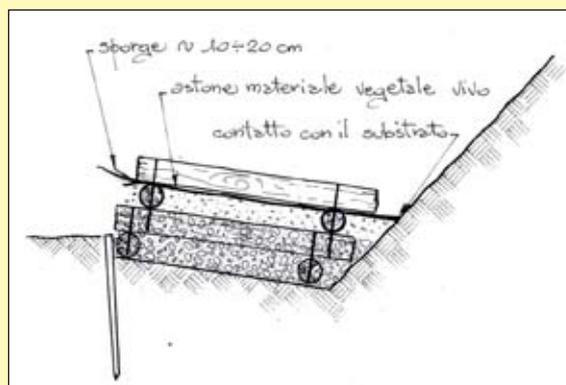


Fase 7 (sezione) (Disegno E.Ferrari).

Fase 8 - Posa di materiale vegetale vivo (astoni) derivato da specie autoctone atte alla riproduzione vegetativa, di lunghezza tale da venire a contatto posteriormente con la parete dello scavo (substrato) e sporgere esternamente alla struttura per 10-20 cm; la densità ottimale è prossima a 10 elementi/m, ma può variare notevolmente. Contemporaneamente è possibile la messa a dimora di specie vegetali autoctone a radice nuda e/o in fitocella. Il materiale vegetale vivo viene posato sulla superficie risultante dal riempimento effettuato sino al raggiungimento della sommità delle file dei tronchi longitudinali.



Fase 8 (Foto R.Ferrari).

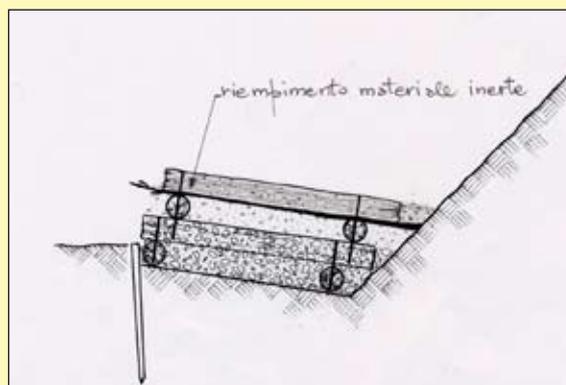


Fase 8 (sezione) (Disegno E.Ferrari).

Fase 9 - Riempimento con materiale inerte di riporto per uno spessore pari al diametro dei tronchi trasversali (completamento del secondo corso). Tale operazione viene effettuata mediante l'utilizzo del mezzo meccanico e completata manualmente a formare un piano parallelo alla superficie di partenza (con inclinazione a reggipoggio), eliminando nel contempo eventuali vuoti.



Fase 9 (Foto R.Ferrari).

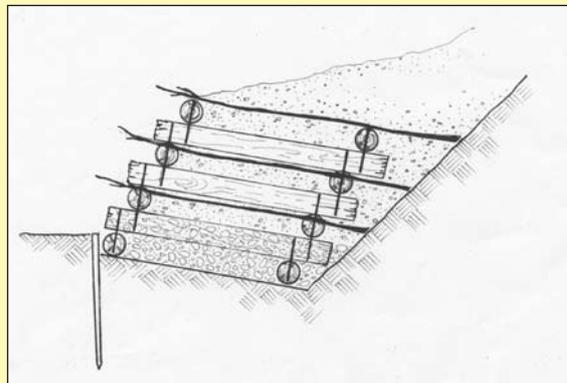


Fase 9 (sezione) (Disegno E.Ferrari).

Fase 10 - Realizzazione di successivi corsi, secondo le modalità e gli accorgimenti precedenti, sino al raggiungimento dell'altezza finale della struttura, determinata dalle verifiche progettuali di stabilità e funzionalità dell'opera.



Fase 10 (Foto R.Ferrari).



Fase 10 (sezione) (Disegno E.Ferrari).

Fase 11 - Sagomatura dei tronchi trasversali troppo sporgenti (eventualmente seguendo con il taglio l'inclinazione della parete frontale), realizzazione di raccordi con la morfologia preesistente (nelle zone laterali e sommitale della struttura onde evitare pericolosi inneschi erosivi), asporto di detriti e scarti di lavorazione (eventuali residui organici quali rami, ramaglia, legno possono essere mischiati al materiale di riempimento, facendo però attenzione che non provochino il formarsi di pericolosi vuoti in fase di costipamento), pulizia totale del sito. Tali operazioni vengono effettuate mediante l'utilizzo del mezzo meccanico e completate manualmente.



Fase 11 (Foto R.Ferrari).

Cosa succede dopo il cantiere

Appena terminata la realizzazione, la struttura è in grado di assolvere alle necessità per le quali è stata progettata e costruita: appesantimento al piede di scivolamento, azione di controspinta, contenimento a monte, drenaggio.

Evoluzione

E' però nel tempo che la Palificata viva doppia si differenzia da analoghi interventi che non si avvalgono di componenti vegetali vivi.

Appena superato il periodo di riposo vegetativo, inizia l'emissione delle parti radicali (e di quelle aeree) dando il via a quel procedimento continuo di consolidamento della struttura e di interconnessione della stessa al substrato che sopperirà poi al decadimento della componente lignea portante (la durata del legname viene stimata mediamente in alcune decine di anni e dipende dalle specie usate e dalle condizioni fisiche del sito). Già nella prima stagione vegetativa i getti possono raggiungere lunghezze anche superiori al metro, testimoniando un perfetto attecchimento ed un idoneo sviluppo radicale, anche se questo dipende sia dalle specie impiegate sia da fattori esterni quali quelli legati all'ubicazione dell'intervento (substrato, quota, esposizione), nonché quelli climatici e meteorologici.



Emissione di getti apicali (in opera) (Foto R.Ferrari).

Manutenzione

In particolar modo durante il primo anno dalla realizzazione è necessaria una manutenzione attenta e mirata.

Manutenzione ordinaria:

- irrigazione durante il periodo di cantiere
- irrigazione alla fine del cantiere
- potatura (durante gli idonei periodi, mediante sistemi non invasivi)



Intervento manutentorio di potatura (post operam) (Foto R.Ferrari).

Manutenzione straordinaria:

- ripristino di eventuali locali svuotamenti dovuti ad erosioni a seguito di forti precipitazioni
- ripascimento di eventuali assestamenti gravitativi dovuti a costipamento naturale
- sostituzione di parte del materiale vegetale originariamente vivo che non ha attecchito (relativamente agli astoni questi non possono essere sostituiti con altrettanti risistemati nella posizione utile ed ottimale a contatto con il substrato al retro della struttura, ma devono essere vicariati da talee più corte: questo comporta tempi più lunghi ed una minore efficacia nel consolidamento per opera dell'apparato radicale)
- diradamento
- irrigazione di soccorso durante periodi particolarmente critici

Insuccessi

Sempre durante il primo anno dalla realizzazione si vengono a determinare le maggiori possibilità di insuccesso non facilmente generalizzabili, ma comunque ascrivibili quasi sempre alla non osservanza delle necessità vitali del materiale vegetale vivo durante la sua manipolazione nella fase costruttiva e soprattutto quelle derivate da manutenzioni effettuate senza le dovute cure; da non sottovalutare inoltre i danni spesso irreparabili dovuti all'azione di animali selvatici e non.

APPROFONDIMENTI BIBLIOGRAFICI

FERRARI R., 2006 – *Quaderni di cantiere, Vol. 1-12*. Regione Lazio - Assessorato all'Ambiente e Cooperazione tra i Popoli - Direzione Ambiente e Cooperazione tra i Popoli - Area Difesa del Suolo, Novembre 2006, Regione Lazio, Roma.

FERRARI R., 2008 – *Quaderni di cantiere, Vol. 13-18*. Regione Lazio - Assessorato all'Ambiente e Cooperazione tra i Popoli - Direzione Ambiente e Cooperazione tra i Popoli - Area Difesa del Suolo, Gennaio 2008, Regione Lazio, Roma.

PRINCIPALI SETTORI DI INTERVENTO DELL'INGEGNERIA NATURALISTICA

Di seguito vengono esaminati i principali settori di applicazione dell'IN riportando le metodologie di intervento unitamente a interventi esemplari.

IDRAULICA

Vengono di seguito esposti i criteri e le problematiche relativi alla progettazione di un intervento di IN in ambito idraulico.

Criteri di progettazione naturalistica

Gli interventi di sistemazione idraulica con le tecniche di IN vanno concepiti con approccio sistemico a livello di bacino idrografico, nell'ambito della rinaturazione dei corsi d'acqua che deve comprendere non solo interventi antiersivi con tecniche vive, ma anche interventi di diversificazione morfologica nel tracciato o nella sezione dell'alveo, con l'obiettivo dell'aumento della biodiversità e della connessione delle reti ecologiche.

Gli interventi sull'asta fluviale vanno, quindi, progettati secondo il principio che la diversità morfologica si traduce in biodiversità, incrementando le aree di pertinenza del corso d'acqua e rifiutando la rettificazione e la cementificazione dell'alveo; la vegetazione igrofila, in tale approccio, non va più considerata un ostacolo al deflusso delle acque, ma una risorsa di interesse idraulico per la protezione flessibile delle sponde.

L'analisi delle varie componenti ambientali e delle loro interazioni con le caratteristiche idrauliche dovrà quindi valutare, iniziando da monte ed impiegando i criteri e le tecniche dell'ingegneria naturalistica, ove porre in atto i seguenti interventi:



Interventi di rivegetazione per la protezione antierosiva dei versanti per consentire l'aumento del tempo di corrivazione delle acque (il tempo impiegato da una goccia d'acqua di pioggia caduta nella parte più alta del bacino idrografico a raggiungere il fondovalle) e la diminuzione del trasporto solido a valle. Questo comporta una onda di piena ridotta e meno devastante.

Versanti boscati di M.Rufeno (VT) (Foto P.Cornellini).



Interventi nella parte alta del bacino per la realizzazione di tratti con massi (raschi) alternati con pozze, per incrementare la variabilità morfologica e quindi la biodiversità Fiume Po sotto il Monviso (CU) (Foto P.Cornellini).



Interventi sul corso d'acqua tesi a diminuirne l'energia cinetica tramite la riduzione della pendenza. Al posto delle briglie in cemento, in molti casi si possono impiegare le briglie in legno e pietrame combinate nelle parti non esposte al flusso idrico con elementi vivi quali le talee di salice; per garantire poi la continuità biologica ai pesci, ove le caratteristiche morfologiche dell'alveo lo consentano, è possibile realizzare, al posto delle briglie, le rampe in pietrame per la risalita dei pesci. Rampe in pietrame sul F.Tanagro (SA) (Foto P.Cornellini).



Realizzazione di casse d'espansione, per laminare i volumi di piena riducendone i picchi, ottenendo aree a vocazione naturalistica per l'aumento della biodiversità. Cassa di espansione Dese Sile (VE) (Foto P.Cornellini).



Realizzazione di aree inondabili in corrispondenza dell'alveo, ampliando le sezioni idrauliche con la creazione di un alveo di magra con portata idraulica ed uno di piena allagato periodicamente.

Lana (BZ) (Foto C. Bonelli)



Interventi antierosivi e di consolidamento sull'asta fluviale concepiti anche invertendo la tendenza alla riduzione delle aree di pertinenza del corso d'acqua.

Sistemazione con tecniche IN a distanza di due anni. Cellere (VT) (Foto P.Cornellini).



Interventi tesi ad eliminare i tratti rettificati dell'alveo che possono comportare un aumento dell'erosione a monte e del deposito a valle, con conseguente pericolo di esondazione, nonché la perdita di habitat e la riduzione della biodiversità; va favorita la meandricazione del corso d'acqua nei tratti compatibili, con conseguente asimmetria della sezione idraulica per riproporre la morfologia naturale e aumentare le capacità depurative del corso d'acqua.

Demolizione tratti rettificati F. Emmen (Svizzera, foto sopra) per realizzare un alveo libero alla meandricazione (foto sotto) (Foto P.Cornellini).





Eliminazione dei tratti cementificati per spezzare l'isolamento tra l'acqua ed il substrato, ricostituendo il rapporto con la falda e rendendo possibile la rivitalizzazione del corso d'acqua.

Tratto cementificato demolito del F.Tanagro, in fase di rinaturalizzazione spontanea (Foto P.Cornelini).



Realizzazione, ove possibile, di aree umide in corrispondenza delle immissioni dei canali di drenaggio o dei fossi affluenti. Popolamenti elofitici presso Ardea (RM) (Foto P.Cornelini).



Realizzazione, soprattutto nelle aree di pianura ad agricoltura intensiva, di fasce tampone di almeno 5 m a lato delle rive per intercettare i nutrienti percolati dalle aree agricole. Fasce ripariali F.Reno (BO) (Foto P.Cornelini).



Realizzazione, anche al di fuori dell'alveo di piena, di boschetti e cespuglieti per una riqualificazione naturalistica e paesaggistica del corso d'acqua con ricostruzione di elementi della rete ecologica.

Realizzazione boschetti igrofilo fuori alveo. Mergozzo (Foto Imp. Lazzarotto)



Lavori per l'aumento della biodiversità all'interno dell'alveo del Rio Fontanelle (FR) (2002) (Foto P. Cornellini).



Pianificazione degli interventi di manutenzione non considerando, ove possibile, la vegetazione igrofila un ostacolo al rapido deflusso delle acque, bensì una risorsa non solo naturalistica, ma anche di interesse idraulico per la protezione flessibile dall'erosione (DPR 14 aprile 1993).
Manutenzione idraulica effettuata sul F. Foglia (PU) con i criteri del DPR 14 aprile 1993 (Foto P. Cornellini).



La manutenzione della vegetazione ripariale, intesa come taglio dei fusti oltre 4-5 cm di diametro è fondamentale per mantenerne l'elasticità. Diametri superiori sono rigidi, si spezzano con le sollecitazioni delle piene e formano un tappo al primo ponte, provocando esondazioni.
F. Aniene dopo Subiaco (RM) (Foto P. Cornellini).

Scheda di valutazione della qualità ambientale di un corso d'acqua

Nei progetti di sistemazione idraulica è necessaria, oltre alla descrizione dell'ambiente circostante, una valutazione della sua qualità ambientale al fine di meglio orientare le scelte progettuali. Se, ad esempio, l'individuazione di tratti con presenza di vegetazione ripariale di pregio pone il problema della loro salvaguardia e conservazione, all'opposto, l'individuazione di tratti con forte degrado antropico pone il problema della loro riqualificazione ambientale. Nasce quindi l'esigenza di cartografare i vari tratti di un corso d'acqua secondo una gerarchia della qualità ambientale.

La scheda seguente (Cornellini e Sauli in Manuale 1 Regione Lazio,) si propone quale ulteriore contributo alla valutazione della qualità ambientale di un corso d'acqua; tale scheda, che trae utili riferimenti da precedenti ricerche (Petersen, 1987, Siligardi e Maiolini, 1993, Indice di Funzionalità Fluviale dell'A.N.P.A., 2001) propone una indagine semplificata e speditiva per valutare l'ambito di un intervento di IN nel territorio.

La scheda, che vale per le acque dolci correnti, contiene otto domande per le quali è prevista una sola risposta (la più rispondente alla realtà), nella consapevolezza della impossibilità di interpretare tutte le articolazioni emerse nel rilevamento.

I valori numerici sono espressi in scala esponenziale; tale scelta, puramente soggettiva, deriva da una verifica pluriennale nell'attività professionale di tale scala (Sartori, 1986) nelle valutazioni della qualità ambientale.

La scheda di otto domande sulle caratteristiche biotiche ed abiotiche, considera la vegetazione come il principale indicatore ecologico del valore ambientale del corso d'acqua. Oltre a quelle sulla vegetazione (domande n.1-5) si trovano una domanda sul regime idraulico (n.6) e due (n.7 e 8) sulla morfologia della sezione trasversale e del corso longitudinale.

Per la compilazione si richiedono soprattutto conoscenze naturalistico-vegetazionali.

La classe di qualità va calcolata sia per la sponda DX che per la SX, sommando ai relativi valori di ogni sponda quelli dell'alveo che va, quindi, computato due volte con un punteggio MAX per ogni sponda di 120 e MIN di 8.

Il risultato degli studi va riportato su cartografie in scala 1:10.000 rappresentando lungo le sponde destra e sinistra due linee con i colori della classe corrispondente.

SCHEDA DI VALUTAZIONE DELLA QUALITÀ AMBIENTALE DI UN CORSO D'ACQUA (CORNELINI E SAULI 2002)					
Scheda n°	Foto n°	Data	Corso d'acqua	Comune	
Località	Altitudine	Lunghezza tratto esaminato			
Osservazioni					
Sponda				Sx	Dx
1 territorio terrestre circostante					
Boschi autoctoni, vegetazione potenziale				16	16
Cespuglieti, boscaglie autoctone				8	8
Incolti, prati pascoli, formazioni legnose sinantropiche				4	4
Colture agrarie				2	2
Aree urbanizzate				1	1
2 vegetazione fasce ripariali					
2.1 formazioni arboree ripariali autoctone (saliceti, ontaneti, pioppeti)				16	16
2.2 formazioni arbustive ripariali autoctone (saliceti, cespuglieti igrofilii), popolamenti elofitici, cariceti, formazioni erbacee igrofile, formazioni arboree sinantropiche con significative presenze di esemplari di 2.1				8	8
Incolti, prati pascoli, formazioni sinantropiche (robinieti, roveti, canneti ad Arundo donax)				4	4
Colture agrarie				2	2
Assenza di vegetazione per cause naturali o antropiche				1	1
3 ampiezza fascia ripariale					
Fascia ripariale autoctona (2.1,2.2) maggiore di 30 m				16	16
Fascia ripariale autoctona (2.1,2.2) 5 -30 m				8	8
Fascia ripariale autoctona (2.1,2.2) 1 -5 m				4	4
Assenza fascia ripariale autoctona (2.1,2.2)				1	1
4 continuità fascia ripariale					
Fascia ripariale autoctona (2.1,2.2) senza interruzioni				16	16
Fascia ripariale autoctona (2.1,2.2) con interruzioni saltuarie				8	8
Fascia ripariale autoctona (2.1,2.2) con interruzioni frequenti				4	4
Assenza fascia ripariale autoctona (2.1,2.2)				1	1
				alveo	
5 vegetazione nell'alveo bagnato					
Assenza di vegetazione per elevate velocità dell'acqua o presenza di macrofite acquatiche non indicatrici di carico organico, acque non inquinate				8	
Presenza di macrofite acquatiche indicatrici di carico organico, acque mediamente inquinate				4	

Elevata copertura di macrofite eutrofiche , acque altamente inquinate	1
6 regime idraulico	
Alveo di morbida con portata continua durante tutto l'anno	16
Alveo di morbida con portata discontinua	8
Alveo in secca per la maggior parte dell'anno	1
7 naturalità della struttura morfologica della sezione trasversale	
Sezione completamente naturale	16
Sezione con limitati elementi artificiali ormai inseriti nell'ambiente, briglie distanziate, argini in terra lontani dall'alveo	8
Sezione con evidenti elementi artificiali, briglie ravvicinate, argini in terra prossimi all'alveo	4
Sezione completamente artificiale (cementificata, a sezione geometrica, etc)	1
8 diversificazione morfologica del tracciato longitudinale	
Meandri o raschi , pozze ben distinti e ricorrenti	16
Meandri o raschi, pozze presenti, ma discontinui	8
Corso canalizzato, ma non rettificato	4
Corso d'acqua rettificato	1
Totale	
Classe di qualità	

CLASSE DI QUALITÀ	VALORI	GIUDIZIO	COLORE
V	8-30	Pessima	Rosso
IV	31-52	Bassa	Arancio
III	53-74	Media	Giallo
II	75-96	Buona	Verde
I	97-120	Elevata	Blu

La compilazione prevede, nella parte del corso d'acqua interessato dagli interventi di sistemazione idraulica, la identificazione di tratti di caratteristiche omogenee per ognuno dei quali va compilata una scheda con relativa foto.

Tali tratti, dato lo scopo di fornire una lettura di insieme per orientare le scelte progettuali e la scala di restituzione 1:10.000, non devono essere troppo brevi (minimo 40-50 m) e devono ignorare le discontinuità puntuali, quali un ponte od altre opere idrauliche. La scheda, oltre che per una valutazione *ante operam*, è indicata anche per una valutazione *post operam*, per verificare l'aumento di qualità ambientale a seguito di interventi di ingegneria naturalistica.

Un esempio di applicazione della scheda è riportato nella figura seguente relativa alla valutazione della qualità ambientale del Fosso Ponton del Castrato a Santa Marinella (Roma) (tesi di laurea ing. Dario Colusso).

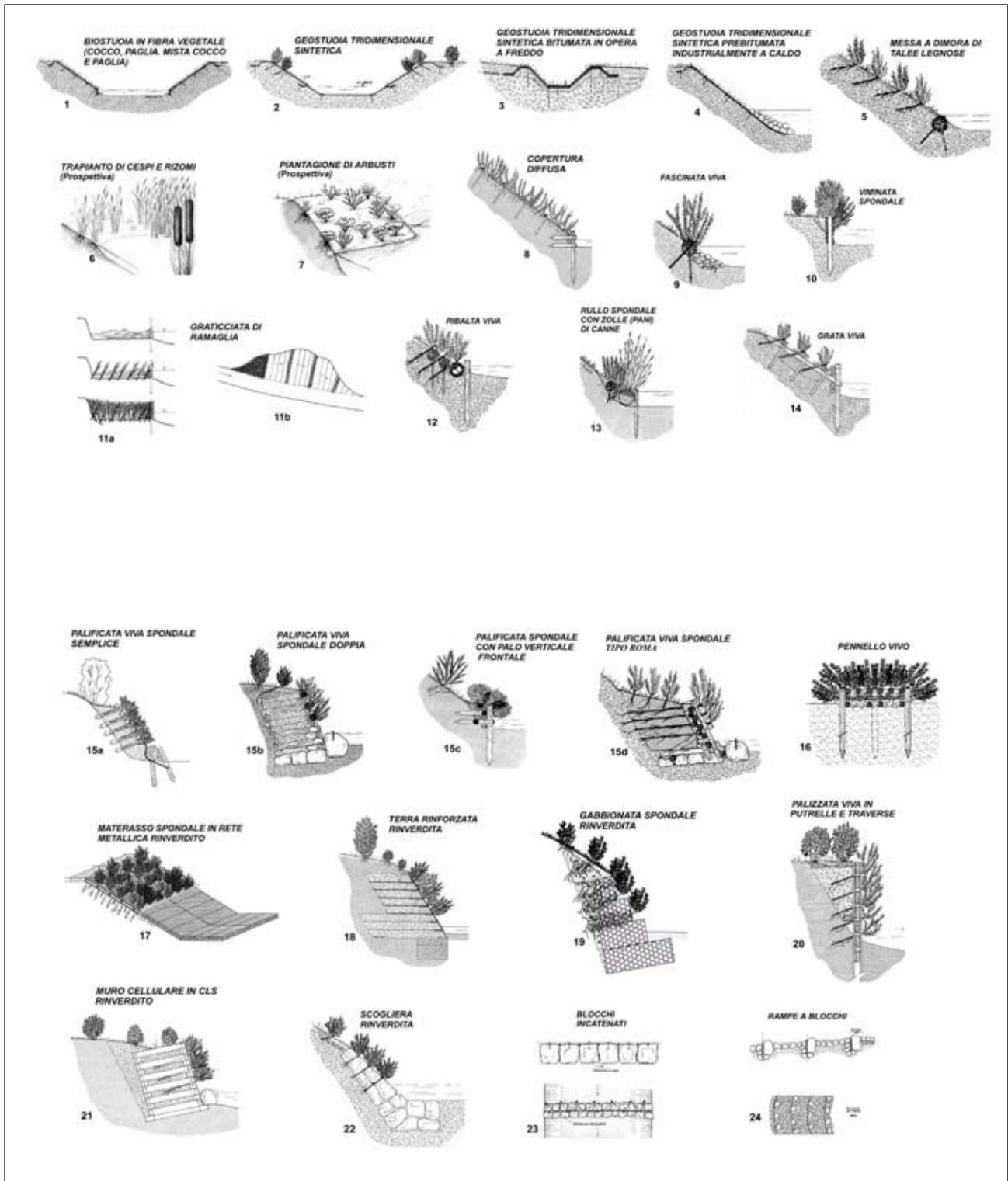


ESERCITAZIONE PRATICA

Si applichi la scheda della qualità ambientale alle situazioni delle foto seguenti.



Valutare la sponda a sinistra nelle foto (Foto P.Cornelini).



Schemi grafici degli interventi IN in ambito idraulico (Disegno G. Sauli e L. Cocianchich)

Scelta delle tipologie di intervento

Gli interventi su un corso d'acqua possono essere suddivisi sinteticamente in interventi di regimazione ed interventi di sistemazione. I primi tendono a modificare il regime delle portate del corso d'acqua e comprendono le arginature, le dighe, le casse di espansione, i diversivi e gli scolmatori. I secondi tendono invece a modificare e/o a consolidare l'alveo per il raggiungimento di uno stabile assetto plano-altimetrico mediante le opere di difesa delle sponde e di stabilizzazione dell'alveo, la risagomatura delle sezioni, la riprofilatura del tracciato planimetrico.

Le opere di difesa di sponda si suddividono in opere di difesa longitudinali (o radenti), disposte nella direzione della corrente con trascurabile interferenza sulle condizioni del deflusso, e opere di difesa trasversali (o repellenti) che viceversa possono modificare sostanzialmente le condizioni del deflusso (Preti, in "Manuale delle sistemazioni idrauliche della Regione Lazio").

La scelta e la collocazione degli interventi è in funzione di vari parametri tra cui i principali possono ricondursi alla velocità di deflusso (correlata con la pendenza del fondo) ed al diametro del trasporto solido.

Nelle zone montane in alveo, sono possibili interventi solo con opere rigide o con massi o pietrame, mentre sui versanti instabili sono validi gli interventi con opere vive stabilizzanti (gradonate vive, fascinate vive, etc.) o combinate (palificate, grate vive, etc), che aumentano i tempi di corrivazione e riducono il trasporto solido.

Nei tratti mediano e inferiore del corso d'acqua, con la diminuzione della velocità e del trasporto solido, aumenta progressivamente la gamma delle tecniche naturalistiche da impiegare, comunque, secondo il principio della tecnica a minor impegno tecnico e pari risultato.



In questo tratto del corso d'acqua è impossibile usare tecniche vive di IN in alveo, perché sarebbero distrutte dall'energia delle acque. E', invece, auspicabile la stabilizzazione dei versanti, per la riduzione del trasporto solido e per l'aumento del tempo di corrivazione.

Limite all'uso delle tecniche di IN (Foto P.Cornelini).



La pendenza del 3% circa rappresenta il limite superiore all'uso delle tecniche di IN, unitamente ad un diametro del trasporto solido di circa 20 cm.

Al di sotto di tali valori si possono usare, ad esempio, le palificate vive.

Parco Nazionale Gran Paradiso (AO) (Foto P.Cornelini).



Un altro limite all'uso delle piante vive, oltre a quello della resistenza all'erosione, è di natura biologica.

Anche in acque calme le piante, se vengono sommerse per un periodo superiore a 7 giorni, muoiono per asfissia.

F.Aniene (RM) (Foto P.Cornelini).



Verso la foce i corsi d'acqua hanno velocità basse, quindi gli interventi antierosivi di IN sulle sponde non hanno senso. Vanno privilegiati interventi per l'aumento della biodiversità con la ricostruzione di biotopi umidi

Parco Delta del Po presso Codigoro(FE) (Foto P.Cornelini).

Nella tabella seguente si riporta una selezione delle tecniche in funzione della velocità della corrente

VELOCITÀ DELLA CORRENTE	CONSOLIDAMENTO/RIVESTIMENTO SPONDE CON TECNICHE DI I.N.
	Biostuoia in fibra vegetale Geostuoia tridimensionale sintetica Geostuoia tridimensionale sintetica bitumata in opera a freddo Geostuoia tridimensionale sintetica prebitumata industrialmente a caldo Messa a dimora di talee legnose Trapianto di cespi e rizomi Piantagione di arbusti Copertura diffusa Fascinata viva
< 3 m/sec	Viminata spondale
	Graticciata di ramaglia Ribalta viva Rullo spondale Grata viva A - palificata viva spondale semplice B - palificata viva spondale doppia C - palificata spondale con palo verticale D - palificata viva spondale tipo Roma Pennello vivo Materasso spondale rinverdito
3÷6 m/sec	Terra rinforzata rinverdità
	Gabbionata spondale rinverdità Palizzata viva in putrelle e traverse Muro cellulare in cls rinverdito
> 6 m/sec	Scogliera rinverdità
	Blocchi incatenati Rampa a blocchi

Valutazione della scabrezza in presenza di vegetazione

Le sistemazioni idrauliche pongono alcuni classici problemi di potenziale interferenza tra la presenza di vegetazione sulle sponde ed il deflusso delle acque.

Da una parte la vegetazione migliora la resistenza delle sponde nei confronti delle sollecitazioni idrauliche, dall'altra riduce la sezione di deflusso con possibile interferenza negativa, specie nelle sezioni medio-piccole, per l'aumento del coefficiente di scabrezza.

Ne deriva che, in molti casi, per intervenire efficacemente con le tecniche di sistemazione naturalistica è necessario adottare una strategia di ampliamento delle sezioni e di riappropriazione degli spazi golenali, sottratti dall'agricoltura intensiva e dalla realizzazione di infrastrutture.

Il problema principale nella valutazione della scabrezza dell'alveo in presenza di vegetazione è quello di dover considerare una sezione di deflusso a geometria composita e costituita da materiali a scabrezza diversa.

Nel Manuale 1 di sistemazioni idrauliche della Regione Lazio del 2002 sono riportati alcuni valori del coefficiente di scabrezza nonché i metodi proposti in letteratura per il calcolo della scabrezza equivalente della sezione (Chow, 1959, Armanini, 1999) unitamente ai parametri idrologici da considerare nel calcolo delle opere di IN.

Calcoli di verifica delle sezioni idrauliche

In funzione della portata di piena, della geometria dell'alveo e del tracciato longitudinale del corso d'acqua, si possono ricavare le tensioni tangenziali massime agenti sulle opere secondo il metodo delle tensioni di trascinamento partendo dalla formula $\tau_w = \gamma R i$ ove:

τ_w = tensioni di trascinamento Kg/mq

γ = peso specifico dell'acqua Kg/mc

R = raggio idraulico m

i = pendenza dell'alveo (valori per cento)

o, per sezioni con un rapporto tra larghezza e profondità superiore a 30, $\tau_w = \gamma h i$

con h altezza del pelo libero, tenendo ovviamente conto dei coefficienti correttivi per l'aumento delle tensioni tangenziali nei tratti in curva.

Tali valori vanno confrontati nei vari tratti dell'alveo con le massime tensioni tangenziali resistenti ammissibili per le strutture di progetto verificando sempre che sia $\tau_r > \tau_w$, cioè che il tratto di sezione protetto da opere di IN presenti una resistenza superiore (τ_r) all'energia erosiva delle acque (τ_w).

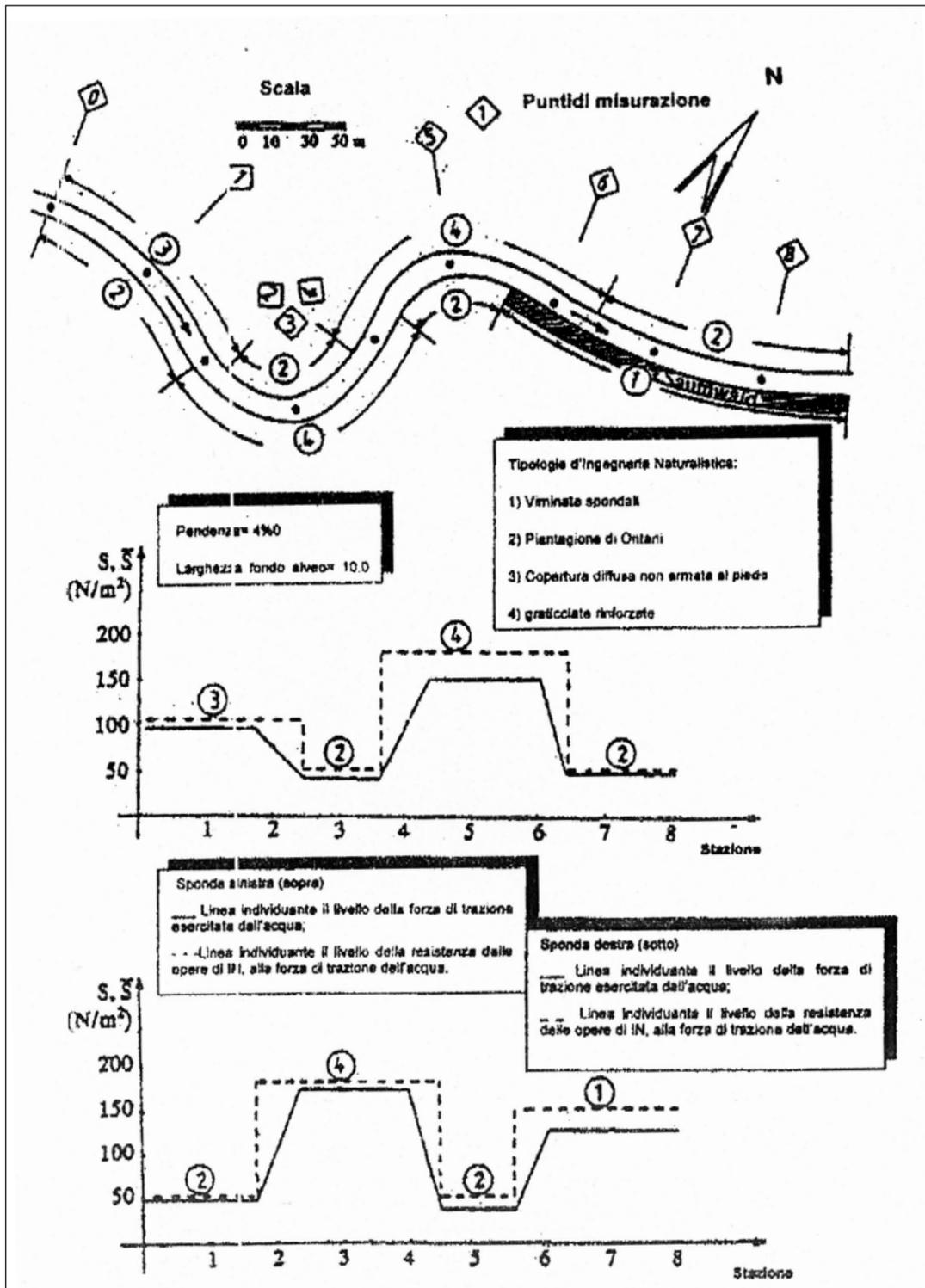
Per quanto riguarda i valori della massima resistenza al trascinamento τ_r delle opere di ingegneria naturalistica, si riportano i valori di tabella ricavati da dati bibliografici e da sperimentazioni.

TIPOLOGIA INTERVENTO	τ max sopportabili dalla struttura appena realizzata senza lo sviluppo delle piante vive N/m ²		τ max sopportabili dalla struttura con le piante vive sviluppate dopo il terzo periodo vegetativo N/m ²	
Cotico erboso	20 P		25 P	40 G
			30 M	
Talee	10 M P		150 I	60 M P
			100 G	
Copertura diffusa	50 M	150 P	300 M F P	
Viminate	10 M P		20 P	50 M
Pali con fascine			250 F	
Gradonata viva	20 P		120 F P	
Fascinate vive	20 P	70 G (morta)	80 I	100 G
			60 P	
Palificata doppia	500 P		600 P	
Gabbionate vive	340 M		400 M	
Materassi rinverditi	200-320 M		400 M	
Scogliera rinverdita con talee di salice	100 P		300 M P	

Segle:

- (F) Florineth Acer 4, 1999
- (M) Maccaferri - Programma Macra 1996
- (P) Palmeri, Cald - 1996
- (G) Gertsgraser - Convegno EFIB Trieste 1999
- (I) Cornolini, Crivelli, Palmeri, Sauli - Acer 2, 2001

Si riporta in proposito lo schema grafico che mostra una applicazione di quanto esposto (Johannsen modificato, Manuale di Ingegneria Naturalistica Prov. Terri).



Nella progettazione con le opere vive vanno tenuti in conto due fattori:

- la resistenza dell'opera di ingegneria naturalistica a fine lavori con le piante non sviluppate e, quindi, non in grado di fornire il contributo della parte viva alla resistenza della struttura; tale situazione, nella verifica della portata idrica transitabile nella sezione, è quella più favorevole ai fini della scabrezza.
- la resistenza dell'opera di ingegneria naturalistica dopo circa 2 anni con le piante sviluppate nelle radici e nella parte aerea, in grado di fornire il contributo della parte viva alla resistenza della struttura; tale situazione, nella verifica della portata transitabile nella sezione, è quella più sfavorevole per l'aumento della scabrezza indotto dalla presenza delle piante.

Esempio applicativo

Sia dato un tratto di corso d'acqua con una pendenza dell' 1,5 per cento, con alveo largo 15 m e un'altezza del pelo libero della piena di riferimento di 0,45 m.

Essendo il rapporto tra larghezza e la profondità dell'acqua superiore a 30, vale, per il calcolo della forza erosiva dell'acqua la formula $\tau_w = \gamma h i$ ove

$$\gamma = \text{peso specifico dell'acqua} = 1100 \quad \text{Kg/mc}$$

$$h = \text{altezza del pelo libero} = 0,45 \text{ m}$$

$$i = \text{pendenza dell'alveo} = 0,015$$

quindi

$$\tau_w = \text{tensioni di trascinamento} = 1100 \times 0,45 \times 0,015 = 7,42 \text{ Kg/mq pari a } 74 \text{ N/ mq}$$

Dalla tabella delle τ_r risulta che le tecniche con τ max sopportabili dalla struttura appena realizzata, senza lo sviluppo delle piante vive, di valore superiore a 74 N/ mq sono la gabbionata viva (340 N/mq) e la palificata viva (500 N/mq). Tra le due sceglieremo la tecnica più coerente con la situazione ambientale locale (disponibilità dei materiali locali (pietrame o tronchi), coerenza litologica e geomorfologia, inserimento paesaggistico, etc.)

SCHEDA: UN INTERVENTO TIPO DI SISTEMAZIONE IDRAULICA SECONDO I PRINCIPI DELL'IN
Rio Inferno (FR)
Specificità dell'intervento
La sistemazione idraulica del Rio Inferno rappresenta uno dei primi casi del Lazio dove l'ingegnere idraulico è stato affiancato dall'esperto di ingegneria naturalistica nella sistemazione dei tratti mediano e inferiore di un corso d'acqua mediterraneo. Gli interventi di rinaturazione e di ingegneria naturalistica sono stati definiti nei vari tratti a seguito delle indagini vegetazionali, della valutazione dello stato della qualità ambientale dell'alveo e dell'analisi delle caratteristiche idrauliche con l'obiettivo, oltre che di sistemazione idraulica, dell'aumento della biodiversità del territorio attraversato dall'alveo e del miglioramento della rete ecologica esistente.
Provincia/ Comune/ Località
FR / Cassino / Rio Inferno
Altitudine slm / Inclinazione longitudinale alveo/ Q progetto
50 m / 1,5-1,8% / 70 mc/sec
Lineamenti vegetazionali
Coltivi prevalenti con lembi residui di macchia mediterranea, di lecceta e di querceti a prevalenza di caducifoglie.
Obiettivo dell'intervento
Consolidamento delle sponde a protezione della viabilità Risagomatura e ampliamento della sezione per il ripristino della funzionalità idraulica dell'alveo Rinaturalizzazione del corso d'acqua, aumento della biodiversità e miglioramento delle reti ecologiche
Tipologie e dimensioni dell'intervento
Nel tratto superiore: allargamento e meandrazione dell'alveo esistente e rivestimento con pietrame del fondo (L 100 m) soglie in massi (L 50 m) massi rinverditi con talee (250 mc) palificata viva a parete doppia h 1 m (L 70 m) Nel tratto inferiore: massi rinverditi con talee (600 mc) palificata viva a parete doppia h 2 m (L 46 m) fascinate vive spondali (L 800 m) piantazione di filari arborei idrofilo (L 500 m) manutenzione dell'alveo con l'eliminazione della vegetazione sinantropica e risagomatura realizzata secondo il DPR 14 aprile 1993 (L 1000 m)
Materiali morti impiegati
Tronchi di pino calabrese D 35-40 cm; picchetti acciaio a.m. D 14 mm; massi D 0,6-0,8 m.
Specie vegetali impiegate
Talee di <i>Salix alba</i> , <i>Salix eleagnos</i> , <i>Salix purpurea</i>
Periodo dei lavori
Gennaio- Aprile 2000
Osservazioni
Gli interventi di manutenzione idraulica con taglio della vegetazione in alveo sono stati effettuati durante il periodo invernale 1999-2000, secondo le indicazioni del DPR 14 aprile 1993; già a primavera 2000, per il rinverdimento erbaceo spontaneo dell'alveo e per il mantenimento delle formazioni legnose al di sopra il livello della piena trentennale, si era verificato un buon recupero del valore naturalistico e paesaggistico dell'alveo stesso. Tutte le opere di ingegneria naturalistica hanno superato le piene primaverili del 2000, nonostante il limitato sviluppo vegetativo; le talee, le palificate doppie e le scogliere rinverdite hanno resistito alle piene autunnali di natura eccezionale del 2000, in concomitanza con gli eventi alluvionali di Soverato e del Po. Solo per le talee delle scogliere del tratto di monte, messe a dimora a fine aprile 2000, le percentuali di attecchimento sono state molto basse. Le fascinate vive della savanella centrale, realizzate con finalità naturalistica e non idraulica, sono state asportate dalle ripetute piene da settembre a dicembre 2000. Le opere sono attualmente in buona efficienza e perfettamente inserite nell'ambiente; le talee che hanno avuto sviluppi fino a 12 m di altezza con diametri di 14 cm, sono state tagliate nel 2006



Realizzazione di tratto di alveo artificiale con palificate spondali, scogliera rinverdita, fascinate vive e soglie in pietra (maggio 2001) (Foto P.Cornelini).



Intervento a distanza di un anno (aprile 2002) (Foto P.Cornelini).



Intervento a distanza di tre anni (dicembre 2004) (Foto P.Cornelini).



Monitoraggio 2007 , dopo il taglio delle talee (10-12 m altezza, 10-14 cm diametro) (Foto P.Cornelini).

SISTEMAZIONE DEI VERSANTI

Vengono prese in esame le principali tecniche di ingegneria naturalistica applicabili alla sistemazione dei versanti franosi e in erosione.

Il settore dei versanti e, in genere, degli interventi di sistemazione idrogeologica in zone montane è quello ove sono nate e si sono sviluppate le tecniche di ingegneria naturalistica nell'arco alpino, in particolare in Austria dove negli anni '50 a seguito degli eventi bellici, erano venuti a mancare materiali quali ferro e cemento, con la riscoperta, quindi, di tecniche e materiali tradizionali quali legname, pietrame, ramaglie vive di salice, etc, facilmente reperibili in loco. Da qui lo sviluppo di una serie di tecniche caratterizzate da tecnologie semplici e basso costo dei materiali e della mano d'opera (in verbis Schiechl, 1981).

Le tecniche di ingegneria naturalistica rispondono all'esigenza di una pianificazione del territorio a compatibilità ambientale e rappresentano lo strumento operativo per il raggiungimento di una manutenzione diffusa del territorio, nell'ottica della prevenzione del rischio idrogeologico. Le tecniche di IN comportano, infatti, un minore impatto ambientale delle opere, la riqualificazione paesaggistica ed

ambientale delle aree in erosione, l'aumento della biodiversità del territorio e sono particolarmente valide nelle aree collinari e montane, ove l'utilizzo di tecniche alternative a quelle tradizionali si impone per motivi naturalistici e paesaggistici, con positive ricadute in termini occupazionali in quanto ad alto impiego di manodopera

Possibilità d'impiego delle tecniche di ingegneria naturalistica nelle principali tipologie di dissesto

Per quanto riguarda le tipologie di dissesto si rimanda alla copiosa letteratura esistente ed, in particolare, al volume di "Interventi di sistemazione del territorio con tecniche di Ingegneria Naturalistica" della Regione Piemonte (2003), che presenta una valida sintesi della problematica e casistica. Nella tabella seguente (da Bicocchi, Manuale Regione Lazio³) sono correlati i principali tipi di substrato presenti nel Lazio alle varie possibilità di intervento con tecniche di IN.

TAB. Applicabilità delle tecniche di ingegneria naturalistica in funzione del substrato litologico

		Tipo di substrato						
		Sciolto	Sciolto con cemento	Coesivo	Misto	Semilapideo	Lapideo	
Tecniche di ingegneria naturalistica	Inerbimento	Semina manuale a spaglio	X	X	O	O	O	O
		Idrosemina	X	X	O	O	O	O
	Stuoie naturali e sintetiche	Biostuoie rinverdate	X	X	X	X	-	-
		Geostuoie rinverdate	X	X	X	X	-	-
	Messa a dimora di specie arbustive		X	X	X	X	O	O
	Canalette	Canalette in legname o pietrame	X	X	X	X	-	-
		Canalette in terra inerbite	X	X	X	X	-	-
		Canalette in legno	X	X	X	X	-	-
	Drenaggi	Cunei filtranti	X	X	-	X	-	-
		Fascinate drenanti	X	X	X	X	O	O
	Tecniche di stabilizzazione superficiale	Gradonate vive	X	X	O	O		
		Steconate	X	X	X	X	O	O
		Viminate	X	X	X	X	O	O
		Fascinate	X	X	X	X	-	-
	Palificate vive di sostegno	Palificate vive di sostegno a una parete	X	X	X	X	-	-
		Palificate vive di sostegno a doppia parete	X	X	X	X	-	-
		Palificate vive a doppia parete con ancoraggi profondi	X	X	X	X	-	-
	Grate vive		X	X	O	O	-	-
	Opere in pietrame	Murature in pietrame	X	X	O	O	X	X
		Gabbionate rinverdate	X	X	O	O	X	X
Opere in terra rinforzata rinverdate	Con funzioni di contenimento	X	X	O	O	-	-	
	Con funzioni paramassi	-	X	-	-	X	X	

X = tecnica adottabile senza particolari controindicazioni

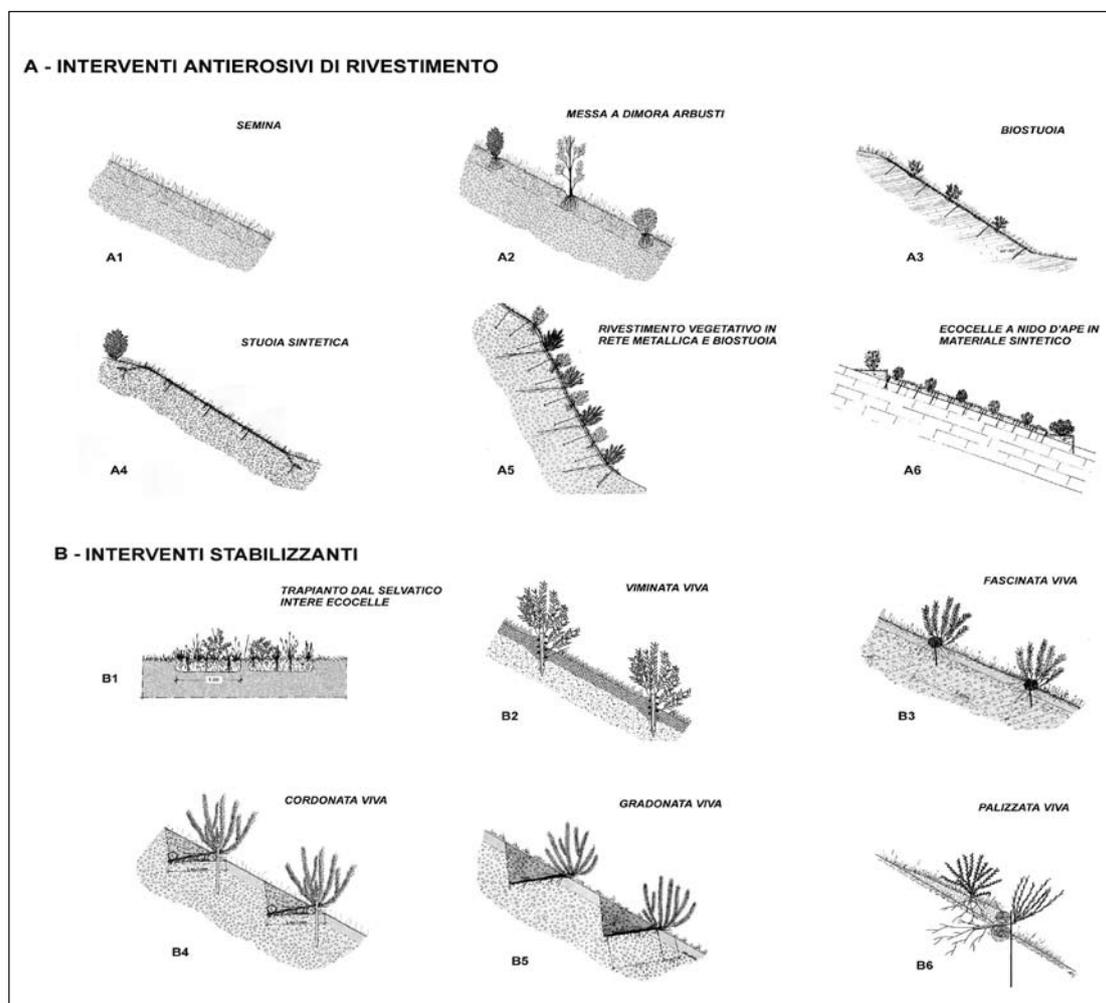
O = tecnica adottabile in particolari condizioni morfologiche, idrogeologiche o solo contestualmente ad altre tecniche

- = adozione sconsigliata per motivazioni legate alla fattibilità o alla scarsa efficacia funzionale

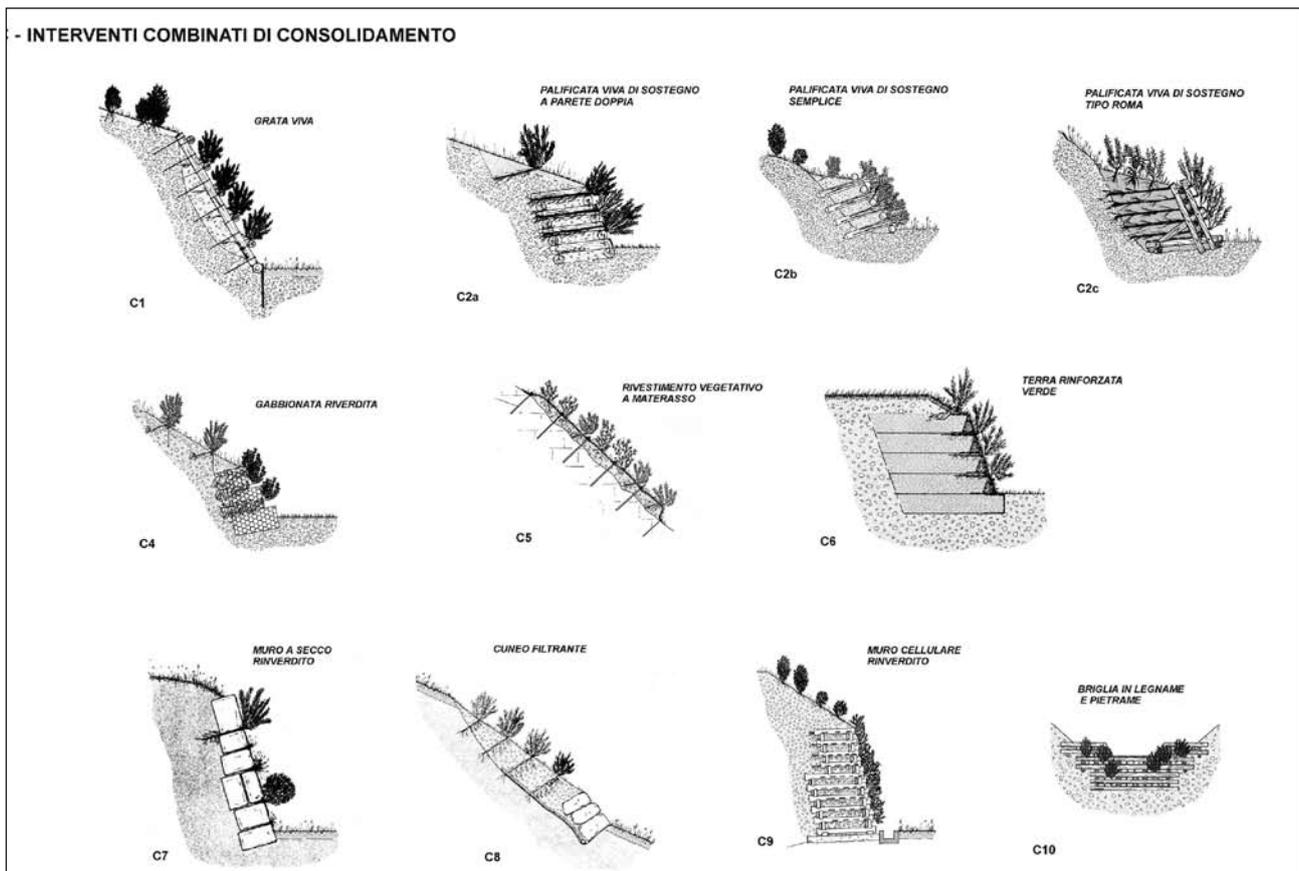
Tecniche di ingegneria naturalistica applicabili ai versanti

Negli schemi delle figure seguenti sono rappresentate le tecniche di ingegneria naturalistica applicate da molti anni in alcune regioni dell'Italia centro-nord ed applicabili anche nelle zone montane delle regioni meridionali.

Si è adottata la suddivisione classica, in interventi antierosivi, stabilizzanti e combinati di consolidamento



(Disegno G. Sauli e L. Cociancich)



(Disegno G. Sauli e L. Cocciandich)

SCHEDA La manutenzione del territorio collinare e montano per la prevenzione del rischio idrogeologico.

Nell'ambito degli interventi di risanamento del dissesto idrogeologico le tecniche di ingegneria naturalistica trovano il loro campo di applicazione non tanto nelle emergenze catastrofiche o negli interventi immediati di sistemazione dei danni, bensì nelle sistemazioni a medio e lungo termine, nonché nella prevenzione tramite la manutenzione del territorio (vedi tabella sotto).

Quale esempio di attività trentennale in cui sono state applicate sistematicamente le tecniche di I.N. su tutti i bacini montani si può citare la provincia di Bolzano, mentre, ormai da molti anni, altre regioni italiane ne stanno seguendo l'esempio.

Con interventi di tipo diffuso nelle zone montane e collinari, ove più estese ed intense sono le azioni erosive, si può ottenere una maggiore efficacia delle misure di riduzione del rischio idrogeologico, poiché si agisce sulle cause del dissesto nella parte superiore del bacino, ove il fenomeno erosivo inizia a manifestarsi, con il miglioramento delle condizioni idrauliche nelle pianure che ospitano la maggioranza della popolazione e del patrimonio pubblico e privato. Si ottiene così la diminuzione di interventi strutturali per la riduzione del rischio in quanto gli interventi diffusi nella parte superiore del bacino contrastano il fenomeno erosivo con azioni di piccola entità, ma comunque efficaci a risolvere il problema all'origine, con grande diminuzione dei costi.

Il perdurare dell'abbandono della montagna e della collina, invece, ha come conseguenza un aumento

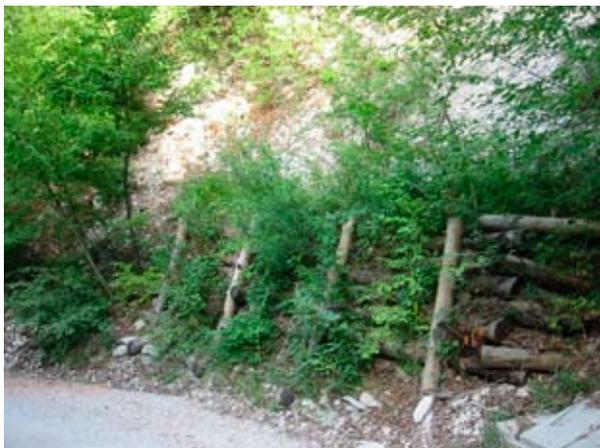
della vulnerabilità e della pericolosità del territorio anche a valle con conseguente richiesta di aumento delle difese passive (argini, casse d'espansione, ecc.) e notevole aumento dei costi diretti ed indiretti.

Oltre a quelli economici i vantaggi derivanti da un programma di manutenzione del territorio sono:



Il miglioramento dell'efficienza delle sistemazioni idraulico-forestali e idraulico-agrarie, con la riqualificazione di un patrimonio esistente, anche di notevole valore paesaggistico;

Briglie in legname e pietrame nel Casentino (AR)
(Foto P.Cornelini).



La riqualificazione ambientale delle aree in erosione con le tecniche di ingegneria naturalistica, con l'aumento della biodiversità tramite la realizzazione di fitocenosi arboree, arbustive ed erbacee.

Palificata Roma . Cà i Fabbri (PU) (Foto P.Cornelini).



Un contributo degli interventi di rivegetazione dei versanti alla lotta contro la desertificazione con effetti benefici di tipo climatico per la riduzione della CO2 immagazzinata nella biomassa vegetale (protocollo di Kyoto).

Boschi del Circeo (LT) (Foto P.Cornelini).



Il miglioramento delle condizioni socioeconomiche della montagna e della collina con la realizzazione di nuovi posti di lavoro, in quanto le tecniche dell'ingegneria naturalistica sono ad alto impiego di manodopera (il costo della manodopera è intorno al 50% del costo dei lavori). Rispetto ad un investimento tipo di circa 100 milioni di Euro di interventi per la difesa del suolo, si può stimare un indotto occupazionale diretto di circa 2000 posti di lavoro all'anno, più l'indotto indiretto.
Parco Regionale degli Aurunci (Foto P.Cornelini).

PRINCIPALI INTERVENTI DI MANUTENZIONE DEL TERRITORIO (CORNELINI, 2002)

PRINCIPALI INTERVENTI DI TIPO ESTENSIVO	INTERVENTI DI RINATURAZIONE DEI CORSI D'ACQUA	PRINCIPALI INTERVENTI DI TIPO INTENSIVO
<p>Imboschimenti e miglioramento dei boschi esistenti imboschimenti nelle zone marginali di montagna e collina con impiego di specie autoctone miglioramento dell'altofusto e riconversione dei cedui riconversione colturale degli impianti di resinose con sfoltimenti e inserimento delle latifoglie autoctone</p> <p>Sistemazioni idraulico-forestali estensive: interventi antierosivi e stabilizzanti privilegiando l'uso delle specie erbacee ed arbustive autoctone rinaturazione aree abbandonate dall'agricoltura realizzazione di drenaggi superficiali</p> <p>Sistemazioni idraulico-agrarie: realizzazione delle fosse livellari realizzazione dei drenaggi superficiali realizzazione di fasce erbose di separazione delle colture erbacee e nei frutteti e vigneti con pericolo di erosione sistemazione delle aree con fenomeni erosivi e ricostituzione del cotico erboso ricostruzione della rete delle siepi campestri</p>	<p>Rinaturazione dei corsi d'acqua e ricostituzione delle fasce di vegetazione ripariale</p> <p>Ripristino delle sezioni di deflusso, con l'eventuale taglio della vegetazione in alveo salvaguardandone il ruolo nella difesa e conservazione delle sponde secondo quanto previsto nel DPR 14 aprile 1993</p>	<p>Sistemazione di frane ed aree instabili</p> <p>Sistemazioni idraulico-forestali intensive per la regimazione dei corsi d'acqua montani: manutenzione delle opere trasversali (briglie, soglie, rampe) e longitudinali (argini, opere di protezione e consolidamento spondale) esistenti con sostituzione, ove possibile, di quelle in calcestruzzo con opere realizzate con tecniche di ingegneria naturalistica; realizzazione di nuove opere trasversali e longitudinali utilizzando, ove possibile, le tecniche di ingegneria naturalistica</p> <p>Realizzazione di casse d'espansione di piccole dimensioni nei sottobacini ottenendo aree da sistemare secondo principi naturalistici</p>

Criteria di scelta delle tecniche

Si riportano due diagrammi a chiave analitica che forniscono un primo criterio di selezione della tecnica da impiegare su scarpate in erosione. I quesiti che ci si deve porre riguardano:

- la presenza o meno di acqua nella scarpata che, a seconda della sua profondità, può essere risolta con drenaggi superficiali biotecnici, oppure con drenaggi tecnici più profondi
- un pericolo di erosione, superficiale (risolvibile con semine) o più profondo, ma sempre nella sfera

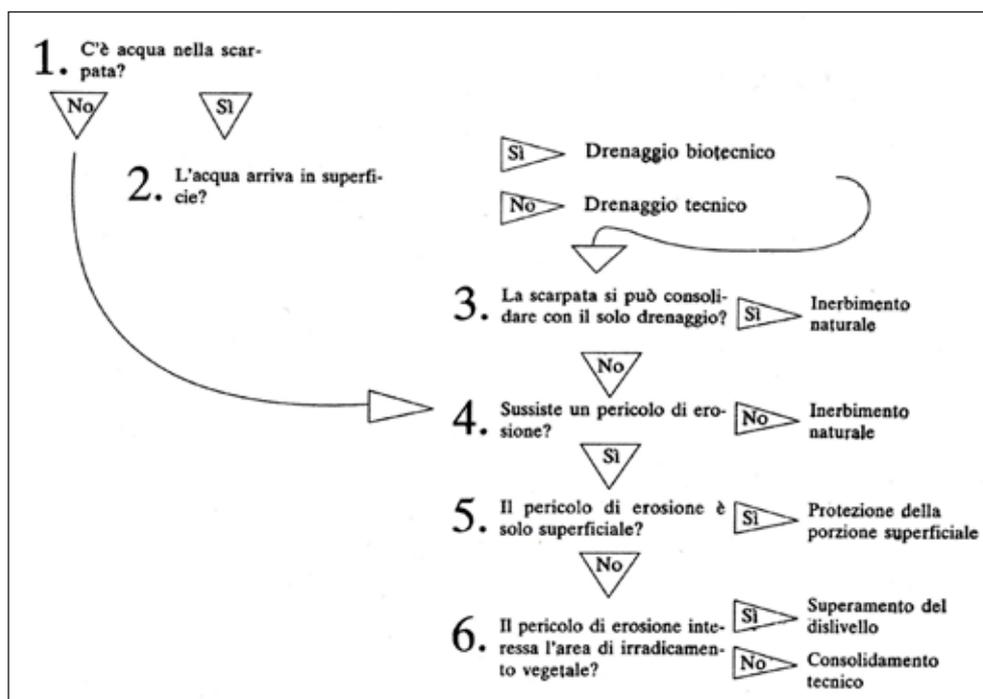
della radicazione delle piante, oppure al di fuori di essa e che richiede, quindi, interventi tecnici;
 Anche nel caso dell'erosione che interessa la sfera di radicazione delle piante le possibilità sono due:
 a) bastano gli interventi con il solo uso delle piante (semine messa a dimora di talee, arbusti, alberi, gradonate); b) servono tecniche combinate di IN;

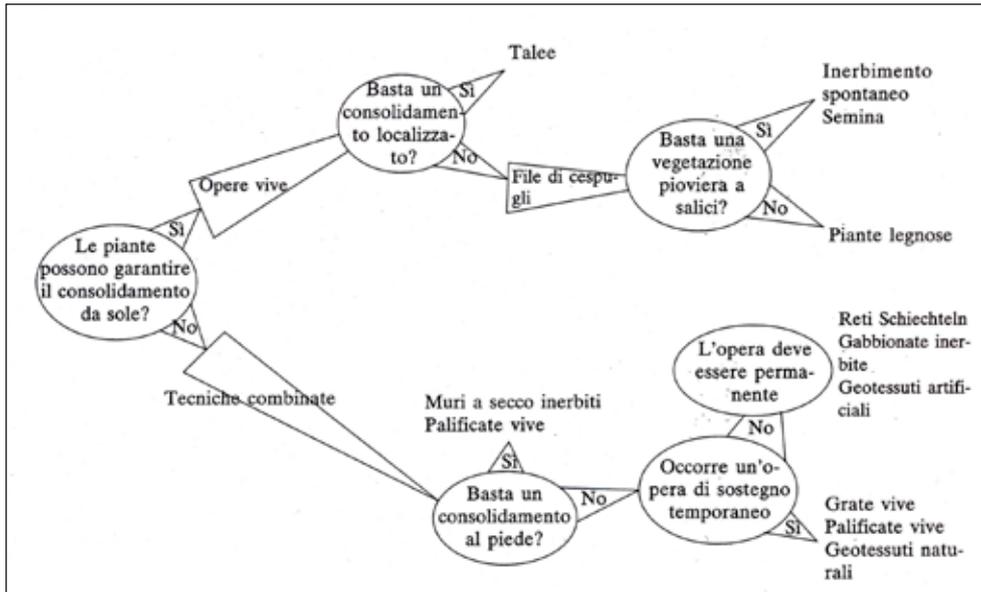
in quest'ultimo caso ci si deve chiedere:

- basta il consolidamento al piede (palificate basse, muretti a secco inerbiti)?;
- servono opere temporanee di sostegno (palificate, grate)?;
- servono opere permanenti (gabbionate, terre rinforzate)?.



Calanchi di San Marino: vista frontale della bonifica del bacino di Fosso del Re dopo l'idrosemina (ottobre 2002) (Foto Archivi Dipartimento Territorio e Ambiente RSM)





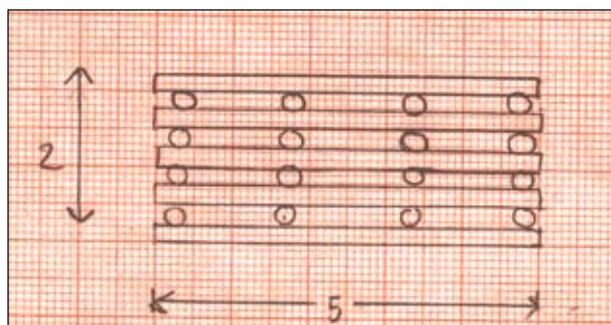
Da H. Zeh, stabilizzazione di scarpate con metodi di Ingegneria Naturalistica nella realizzazione di strade nel Cantone di Berna (Svizzera) - Congresso Internazionale - Lignano Sabbiadoro (UD) 21-23 Maggio 1992

SCHEMA CALCOLO SEMPLIFICATO DI STABILITA' DI UNA PALIFICATA VIVA

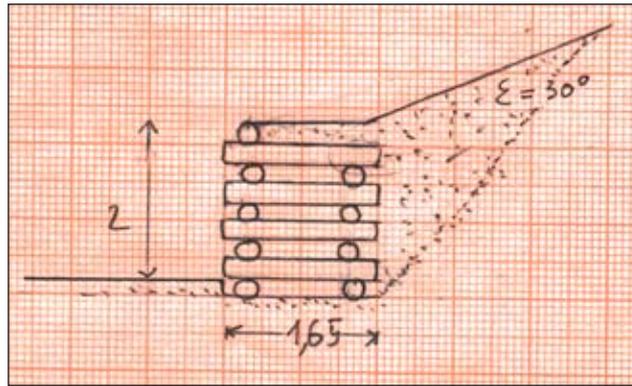
Si effettua, a titolo di esempio, il calcolo di verifica di una palificata viva alta 2 metri e con spessore di 1,65 m., funzionante come opera di sostegno al piede di una scarpata.

Si adotta l'ipotesi semplificativa, ma, comunque, a favore della stabilità, di una palificata a paramento verticale e poggiata orizzontalmente sul terreno, mentre in realtà l'opera, come noto, è realizzata con una inclinazione sia sul fronte che sul fondo ed è incassata con il primo corrente nel terreno. Nel trascurare, a favore della stabilità, la spinta passiva a cui è sottoposto il primo corrente della fondazione, si considera come altezza di calcolo della spinta, quella dello scavo a partire dal piano di campagna.

Si fa riferimento alla figure seguenti, considerando una palificata lunga 5 m.



Prospetto



Sezione

Analisi dei carichi

$$\gamma_t = 1900 \text{ kg/mc}$$

$$\gamma_l = 700 \text{ kg/mc (peso specifico del legno)}$$

P_t = peso del terreno

P_l = peso del legno

Il numero dei tronchi da 5 m necessari, considerando che la lunghezza dei trasversi in questo caso è 1/3 di quella del tronco, è:

$$n = 8 + 1 + 16/3 = 14,3$$

impiegando tronchi del diametro di 0,25 m., si ha che il volume totale del legno è:

$$V_l = 3,14 \times 0,125^2 \times 14,3 \times 5 = 3,51 \text{ mc}$$

e, per un metro lineare

$$3,51/5 = 0,7 \text{ mc/m}$$

Il peso del legno è:

$$P_l = \gamma_l \times V_l$$

quindi, per un ml di palificata

$$P_l = 700 \times 0,7 = 490 \text{ Kg/m}$$

Il peso del terreno di riempimento, considerando a favore della stabilità, la palificata con un paramento verticale è dato da:

$$P_t = \gamma_t \times V_t$$

ove, per un ml

$$V_t = (2 \times 1,65) - 0,7 = 2,6 \text{ mc/m}$$

$$P_t = 1900 \times 2,6 = 4940 \text{ Kg/m}$$

Il peso di un ml di palificata è quindi

$$P = P_{\text{legno}} + P_{\text{terra}} = 490 + 4940 = 5430 \text{ Kg/m}$$

La spinta del terreno, considerando il caso di terre coerenti con angolo di attrito φ e coesione c , con una pendenza ε della scarpata a monte di 30° , un'altezza del fronte pari a 2 m e trascurando, a favore della stabilità, la componente verticale della spinta, è data da:

$$\varphi = 33^\circ$$

$$\varepsilon = 30^\circ$$

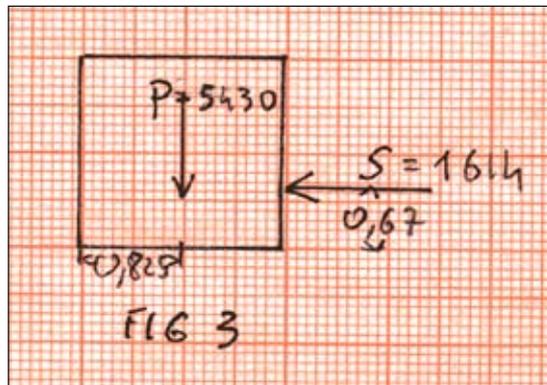
$$c = 150 \text{ Kg/m}^2$$

$$K_a = \cos^2 \varphi / (1 + V \sin \varphi \sin(\varphi - \varepsilon) / \cos \varepsilon)^2 = 0,54$$

$$S = \frac{1}{2} \gamma t h^2 K_a - 2 c h V^{-k_a}$$

$$S_{\text{terra}} = \frac{1}{2} 1900 \times 4 \times 0,54 - 150 \times 2 \times 2 \times 0,73 = 2052 - 438 = 1614 \text{ kg/m}$$

applicata ad 1/3 dell'altezza h, cioè a 0,67 m. da terra.



Schema statico

Verifica statica

La verifica viene effettuata secondo le norme tecniche contenute nel D.M. 11 marzo 1988, riguardanti le prescrizioni per la progettazione delle opere di sostegno.

Calcolo dei momenti

$$M_{\text{stabilizzante}} = 5430 \times 0,825 = 4480 \text{ Kgm.}$$

$$M_{\text{ribaltante}} = 1614 \times 0,67 = 1081 \text{ Kgm}$$

Si eseguono le seguenti verifiche statiche, trascurando la stabilità globale opera-terreno e le verifiche interne della struttura:

Verifica alla traslazione sul piano di posa (art.D.4.2.)

Il rapporto fra la somma delle forze resistenti nella direzione dello slittamento, costituite dalle forze di attrito e la somma delle componenti nella stessa direzione delle azioni sull'opera, costituite dalla spinta del terreno, non deve essere, per la sicurezza, inferiore a 1,3.

$$f = \tan \varphi = 0,65$$

con f = coefficiente di attrito tra la base della palificata e la fondazione.

$$fP / S = (0,65 \times 5430) / 1614 = 2,19 > 1,3$$

Verifica al ribaltamento intorno allo spigolo di base (art.D.4.3.)

Il rapporto tra il momento delle forze stabilizzanti e quello delle forze ribaltanti non deve essere, per la sicurezza, inferiore a 1,5.

$$M_s / M_r = 4480 / 1081 = 4,14 > 1,5$$

Verifica allo schiacciamento (, art.D.4.4.)

La risultante del peso e della spinta del terreno non passa per il baricentro della base e siamo in presenza di pressione eccentrica; ne risulta che l'andamento delle pressioni sulla fondazione non è costante e quindi il diagramma non è un rettangolo, bensì un trapezio od un triangolo, finché tale risultante passa entro il terzo medio della base; se la risultante è esterna al terzo medio, il diagramma è intrecciato con tensioni negative di trazione.

Si individua per prima cosa il centro di pressione della risultante sulla fondazione, applicando il teorema di Varignon, per cui il momento della risultante rispetto ad un punto, è uguale alla somma algebrica dei momenti delle componenti. Scegliendo come polo il centro di pressione si ha:

$$R \times O = S \times a - P \times e$$

$$e = S \times a / P$$

con e = eccentricità, cioè distanza tra il baricentro ed il centro di pressione

$$e = 1081 / 5430 = 0,20 \text{ m}$$

il valore è entro il terzo medio in quanto $0,20 < 1,65 / 6 e$, in tal caso, vale la formula

$$\sigma_{\max} = (P / 100 b) \times (1 + 6e/b) \text{ in kg/cm}^2$$

ove b è la larghezza della palificata pari a 165 cm

$$\sigma_{\max} = (5430 / 100 \times 165) \times (1 + 6 \times 20 / 165) = 0,329 \times 1,73 = 0,57 \text{ kg/cm}^2$$

ipotizzando che il terreno di fondazione abbia un carico tollerabile di $1,5 \text{ kg/cm}^2$, il rapporto tra questo e il carico agente è:

$$1,5 / 0,57 = 2,6 > 2, \text{ coefficiente di sicurezza richiesto dal D.M. 11 marzo 1988.}$$

In conclusione, dai calcoli effettuati, una palificata viva risulta, in genere, una struttura che soddisfa ampiamente le condizioni di stabilità, al pari delle tradizionali opere di sostegno, alle quali si pone in alternativa.

SCHEDA: UN INTERVENTO TIPO DI SISTEMAZIONE DI SCARPATE IN EROSIONE SECONDO I PRINCIPI DELL'IN
La Leprignano (Roma)
Specificità dell'intervento
Gli interventi di sistemazione ambientale delle scarpate delle ville in località La Leprignano in comune di Maccarese (Roma), tra i primi in Italia, per estensione, in ambito urbano, si caratterizzano per l'impiego esteso delle tecniche antierosive, stabilizzanti e consolidanti dell'ingegneria naturalistica, per un incremento della qualità ambientale dell'area. Gli interventi realizzati dimostrano la preoccupazione dei responsabili dei lavori di affrontare con grande sensibilità ambientale problematiche che, usualmente, vengono risolte con opere in cemento armato e con materiali morti e intendono costituire un esempio di sperimentazione di tecniche alternative, da estendere, successivamente, a tutta la urbanizzazione dell'area.
Provincia / Comune/Località
Roma/ Maccarese/La Leprignano
Lineamenti vegetazionali
Il territorio è prevalentemente agricolo con macchia e boschi mediterranei
Lineamenti geomorfologici
Scarpate su dune continentali
Obiettivo dell'intervento
Stabilizzazione delle scarpate sabbiose in erosione
Tipologie dell'intervento
Stabilizzazione delle scarpate delle ville con palizzate in tronchi orizzontali e arbusti Stabilizzazione del piede delle scarpate delle Ville con palificate vive Roma e palificata latina Sistemazione dei solchi esistenti lungo le scarpate con fascinate drenanti su pendio e palizzate vive con paletti verticali Sistemazione antierosive del rilevato stradale con idrosemine e messa a dimora di arbusti Sistemazione delle scarpate di neoformazione con fascine vive di tamerice e messa a dimora di arbusti Idrosemina e messa a dimora di cespugli nelle terre rinforzate
Materiali morti impiegati
Tronchi di castagno D 12-20 cm per le palizzate e le palificate,;
Specie vegetali impiegate

Talee di *Tamarix spp.* e *Salix spp.*; piante radicate di latifoglie e sempreverdi: *Crataegus monogyna*, *Euonymus europaeus*, *Cornus sanguinea*, *Prunus spinosa*, *Rosmarinus officinalis*, *Cistus sp.*, *Pistacia lentiscus*, *Phillyrea latifolia*, etc..

Periodo dei lavori

Da marzo a giugno 2007; ottobre 2007

Osservazioni

Gli interventi di ingegneria naturalistica di sistemazione delle scarpate in sabbia con fascinate vive di tamerice hanno dimostrato di essere i più idonei in quelle situazioni ecologiche.



Fasi di realizzazione di palificate Roma. Fregene (Roma) 2007 (Foto P.Cornelini).



Palificate Roma di sostegno di scarpate in sabbia. 2007 (Foto P.Cornelini).



Fascinate di tamerici per la stabilizzazione di scarpate in sabbia. 2007 (Foto P.Cornelini).



Palificata latina in costruzione 2007 (Foto P.Cornelini).

STRADE E FERROVIE

Vengono trattate principalmente le opere di stabilizzazione e consolidamento delle scarpate stradali e ferroviarie nonché di mitigazione con interventi di rinaturalizzazione, rivegetazione ed ingegneria naturalistica.

Le opere di cui sopra fanno parte integrante e funzionale del progetto stradale e vanno progettate contestualmente ad esso con un grado di approfondimento proporzionale alle varie fasi del progetto stesso e non possono essere rimandate a fine progetto o, addirittura, a fine lavori come generici "interventi a verde" da far eseguire a posteriori da una ditta di opere in verde.

Gli interventi ambientali nel settore delle infrastrutture lineari si possono distinguere nelle principali categorie di opere seguenti:

- 1. opere di mitigazione vere e proprie strettamente connesse con le pertinenze stradali**
cioè quelle direttamente collegate agli impatti quali, ad esempio, la rivegetazione delle scarpate, le barriere antirumore a lato strada, le vasche di sicurezza e i presidi idraulici per intercettare i liquidi di piattaforma stradale, etc;
- 2. opere di "ottimizzazione" del progetto non strettamente connesse con le pertinenze stradali**
non sono necessariamente collegate ad un eventuale impatto su beni naturali di pregio preesistenti, ad esempio: la creazione di fasce vegetate di riambientazione lato strada, la ricucitura di corridoi ecologici, etc;
- 3. opere di compensazione**
cioè gli interventi non strettamente collegati con l'opera, che vengono realizzati a titolo di "compensazione" ambientale quali, ad esempio, la creazione di habitat umidi o zone boscate in ex cave presenti nell'area, la bonifica e rivegetazione di siti degradati, anche se non prodotti dal progetto in esame, la piantagione di aree boscate per l'assorbimento di CO₂, etc.

1) Tipologie delle principali opere di mitigazione vere e proprie strettamente connesse con le pertinenze stradali

Scarpate in rilevato

- Va previsto in generale per tutte per le scarpate in rilevato:
- il riporto di terreno vegetale;
- la formazione di cotici erbosi mediante idrosemine
- la messa a dimora di specie arbustive ed arboree con attenzione ai problemi di invasione della sagoma dei veicoli, mantenendo quindi una fascia di sgombro adeguata (da 2 a 4 m) a solo cotico erboso
- la formazione di siepi tra le carreggiate;
- la rivegetazione dei rilevati di ricomposizione morfologica (es. portali di gallerie)



I rilevati ferroviari costituiscono corridoi ecologici con una grande biodiversità (Foto P.Cornelini).



Inerbimento di rilevati ferroviari della DD Roma-Firenze (Foto P.Cornelini).

Scarpate in trincea

Sulle scarpate in trincea vanno previsti interventi a verde con tecniche di ingegneria naturalistica, non solo per problemi di inserimento paesaggistico, ma funzionali di erosione da ruscellamento nelle litologie meno compatte.

Le scarpate in trincea vanno sistemate a seconda della litologia, non soltanto in funzione della stabilità geomeccanica, ma anche del rinverdimento (vedi tabella). Rocce sciolte (ghiaie, sabbie terrazzate, marne, etc) vanno, ove non sussistano impedimenti al contorno, scavate a pendenze non superiori ai 35°, per consentire riporti di suolo e successiva rivegetazione, con beneficio anche della stabilità superficiale e durata nel tempo.



Scarpata in trincea con copertura a lupinella linea ferroviaria DD RM-FI presso Arezzo (aprile 1990) (Foto P.Cornelini).



Scarpata foto precedente a giugno 2002 (Foto P.Cornelini).

Interventi di sistemazione ambientale delle scarpate (da S.I.A. 3° corsia Orte-Fiano - Manuale 2 Regione Lazio)

LITOLOGIA	PENDENZA	INTERVENTO
Sabbie ghiaiose e ghiaie sabbiose	Angoli inferiori o uguali a 35°	Tipologia a: Ripporto di terreno vegetale + idrosemina + messa a dimora di arbusti autoctoni
	Tra 35° e 40°	Tipologia b: Ripporto di terreno vegetale + rivestimento vegetativo a stuoia con reti metalliche + messa a dimora di talee e arbusti autoctoni
Limi sabbiosi e sabbie limose a bassa plasticità	Inferiori o uguali a 30°	Tipologia a
	Tra 30° e 40°	Tipologia b
Limi sabbiosi e argillosi plastici, argille limoso-sabbiose	Inferiori o uguali a 28°	Estensione in altezza inferiore a 5 m Tipologia a + eventuale biostuoia
		Estensione in altezza superiore a 5 m Tipologia a + eventuale biostuoia + eventuale drenaggio biotecnico
	Tra 28° e 38°	Tipologia b o vimate vive + idrosemina + messa a dimora di talee e arbusti radicati
	Tra 38° e 44°	Grate vive o fascinate o vimate + idrosemina + messa a dimora di talee e arbusti radicati
Tufi litoidi conglomerati cementati	Tra 55° e 65°	Rinaturazione spontanea + eventuali locali interventi di ancoraggio con reti metalliche

Nel caso di pendenze maggiori (40° - 45°) per evitare fenomeni di ruscellamento vanno previste tecniche di rivestimento o stabilizzanti (stuoie, reti, viminate vive, etc) che consentano la permanenza in sito della terra vegetale da riportare e garantiscano quindi la crescita della vegetazione.

Vanno preferite, ove possibile dal punto di vista geotecnico, scarpate a tirata unica invece di scarpate a gradoni che presentano un antiestetico effetto geometrico; i problemi di ruscellamento superficiale vanno risolti adottando interventi antierosivi e stabilizzanti con tecniche di ingegneria naturalistica.



Interventi di consolidamento con grate e palizzate della scarpate ferroviarie della linea Savona-Torino nel 1995 e nel 2007 (Foto F. Boccalaro)

Opere di sostegno

Per quanto riguarda le opere di sostegno applicabili in ambito stradale e ferroviario sia su scarpate in rilevato che in trincea, sono ormai collaudate una serie di tecniche di ingegneria naturalistica che possono essere realizzate in sostituzione o in abbinamento con strutture tradizionali:

- Terre rinforzate rinverdite

Consentono opere di sostegno importanti di altezze anche notevoli, alternative a opere murarie in calcestruzzo, ma con migliore reinserimento paesaggistico.



Idrosemina potenziata sulla terra rinforzata rinverdita (marzo 2002) Atina (FR) (Foto P. Cornelini)



La terra rinforzata rinverdita della foto precedente a giugno 2003 (Foto P. Cornelini)

- Muri cellulari rinverditi, gabbionate rinverdite ;
- Palificate e grate vive utilizzabili per sostegno e rivegetazione di scarpate, piste laterali, etc.



Muro cellulare rinverdito Tarvisio Boscoverde (UD) (Foto P.Cornelini).



Palificata Roma SP Tarugo (PU) (Foto P.Cornelini).

Va precisato che gli interventi a verde delle opere di sostegno devono prevedere oltre alle semine anche la messa a dimora di arbusti autoctoni in zolla e/o di talee legnose (salici, tamerici).

Sono da considerarsi infatti incomplete e non collaudabili opere di ingegneria naturalistica di sostegno o miste non accompagnate dalla messa a dimora di talee e arbusti o addirittura senza semine. Ciò risponde a evidenti criteri naturalistici, ma anche funzionali sia nelle palificate in legname che nelle terre verdi rinforzate, per le funzioni antierosive e di stabilizzazione dei cunei terrosi frontali.

2) Tipologie delle opere di “ottimizzazione” del progetto non strettamente connesse con le pertinenze stradali

Rivegetazione a lato strada

Va comunque considerata l'opportunità di una riqualificazione del paesaggio mediante:

- ricostruzione di habitat
- ricostituzione di elementi della rete ecologica
- interventi di rivegetazione non strettamente connessi con le pertinenze stradali:
 1. realizzazione a lato strada di fasce di vegetazione “tamponi” con funzioni di “filtro” sia per l'inquinamento atmosferico di spessore di almeno 10 m, che come barriere visive. Tali barriere verdi non hanno, in genere, funzioni antirumore e vanno abbinate, nel caso, a barriere fonoisolanti.
 2. realizzazione con funzioni antirumore di fasce boscate molto ampie (superiori ai 25-30 m di larghezza) costituite da vegetazione arboreo-arbustiva fitta e realizzata con specie ramosi e con una componente di sempreverdi (resinose e latifoglie) di almeno il 30%.
 3. rivegetazione delle aree sotto i viadotti



Barriere visiva antiabbagliamento DD Roma-Firenze in Valdarno (Foto P.Cornelini).

3) Opere di compensazione

Vanno previsti i seguenti interventi:

- Interventi di rivegetazione a titolo compensatorio, in area più vasta, con la finalità di migliorare il tessuto delle reti ecologiche, dei corridoi faunistici ed in genere per l'aumento della biodiversità
- creazione di habitat umidi o zone boscate in ex cave presenti nell'area
- la bonifica e rivegetazione di siti degradati
- interventi di rivegetazione per l'assorbimento della CO2
- rinaturalizzazione di corsi d'acqua esterni all'opera comprendendo la rete dei fossi minori per la realizzazione di corridoi ecologici



Aree boscate di compensazione della linea ferroviaria AVRMA (Foto P.Cornelini).



Passaggio per anfibi Linea FS AV MI-TO (Foto P.Cornelini).

CAVE

Vengono riportate le più comuni casistiche di interventi di recupero di tipo naturalistico di cave in Italia, organizzate secondo le principali tipologie di scavo.

Le tecniche di rivegetazione fanno ricorso ai principi e alle metodologie dell'ingegneria naturalistica a partire dai dati delle analisi naturalistiche e geopedologiche.

Cave di pianura

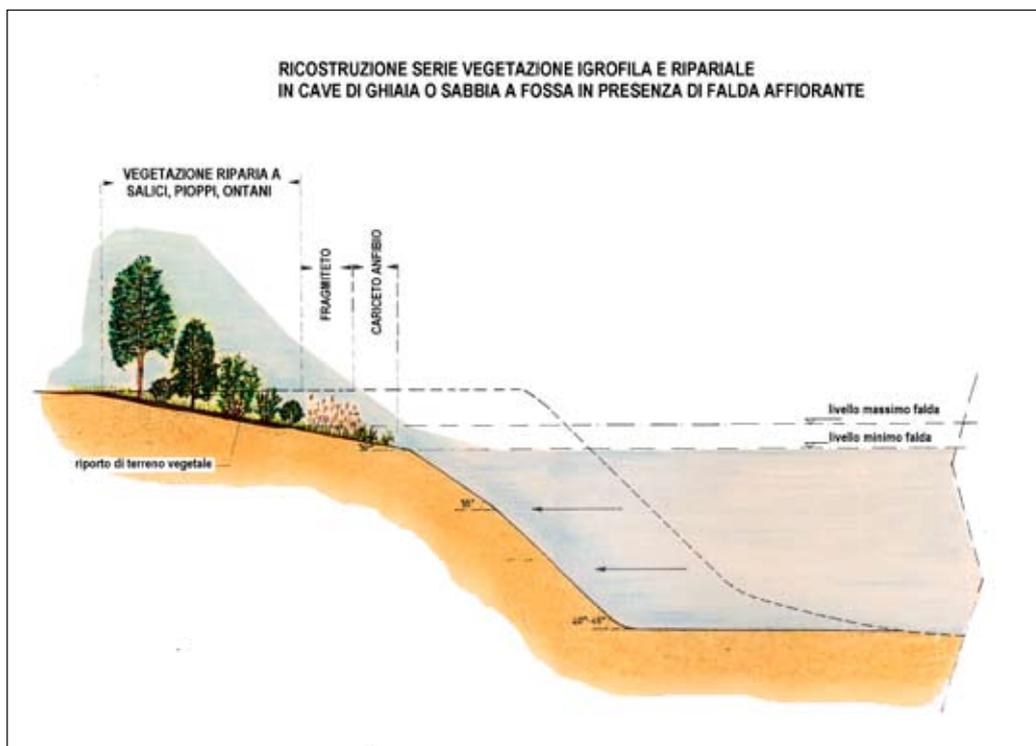
Le cave di pianura sfruttano giacimenti di ghiaie, sabbie, argille, etc., con morfologie di scavo a fossa che possono o meno interessare le falde acquifere sottostanti.

Si individuano così due tipologie di recupero:

A) Tipologie di recupero di cave in falda affiorante

Gli scavi in pianura di una certa profondità intercettano la falda freatica creando degli specchi d'acqua che si prestano a vari tipi di recupero/riutilizzo:

- laghetti di uso pesca sportiva e/o di fruizione
- aree umide con ricostruzione di ecosistemi palustri, con pendenze delle sponde molto dolci per la ricostruzione degli elementi della serie della vegetazione palustre



(Disegno G. Sauli e L. Cociancich)



Recupero fruitivo-naturalistico della ex cava di Bellaria (RN) (Foto P.Cornelini).

B) Tipologie di recupero di cave sopra la falda idrica

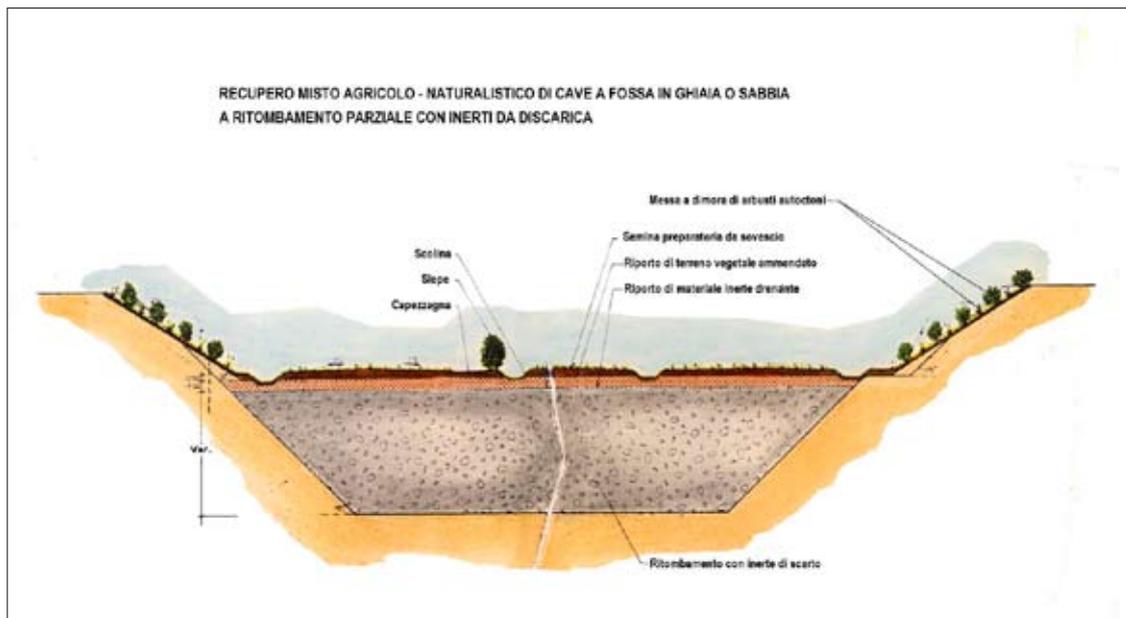
Le cave a fossa, molto diffuse in pianura, si prestano ad un recupero:

1. di **tipo naturalistico** se si riesce a ottenere pendenze delle scarpate non superiori ai 30°, ove è possibile la stesura del terreno agrario di scotico recuperato e la rivegetazione mediante semine e messa a dimora di arbusti ed alberi autoctoni con eventuale impiego di tecniche stabilizzanti (gradonate, viminate vive).



Situazione a recupero effettuato di cava in pianura sopra falda. Priverno (LT) (Foto P.Cornelini).

2. di **tipo agricolo** o misto **agricolo-naturalistico**, a seguito del deposito di inerti di scarto con un parziale o totale ritombamento .



(Disegno G. Sauli e L. Cociancich)

Cave di monte

Le cave di monte (dette anche cave in roccia o di versante) presentano grosse problematiche territoriali e di impatto ambientale.

Le possibilità di recupero delle cave di monte a fine coltivazione sono principalmente:

- recupero e riutilizzo di tipo urbanistico o industriale;
- ripristino naturalistico e paesaggistico mediante interventi morfologici e di rivegetazione.

Vengono prese in considerazione le problematiche legate alla seconda possibilità, ove vale la distinzione nelle due principali tipologie di intervento.

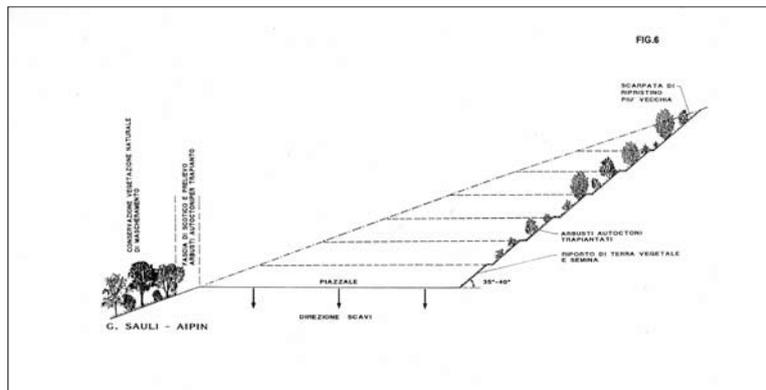
A) Coltivazioni a scarpata unica a piazzale discendente (o splateamento)

Tali coltivazioni sono da considerarsi le migliori dal punto di vista paesaggistico, naturalistico e industriale.

Viene effettuato uno scavo dall'alto verso il basso, a piazzale discendente con la viabilità tracciata alla quota massima della cava invece che alla base, come nel caso delle cave a gradoni. Le scarpate hanno una pendenza corrispondente all'angolo di stabilità della terra vegetale ed i fronti di scavo sono perpendicolari alle scarpate, consentendo la lavorazione meccanica delle superfici destinate al ripristino. E' possibile effettuare, man mano che si procede nello scavo verso il basso, riporti di terreno vegetale a fasce discendenti e interventi di semina e messa a dimora di arbusti autoctoni. Terreno ed arbusti possono essere, almeno in parte, ricavati in corso d'opera dallo scotico e dai trapianti derivanti dalle aree di scopertura. Nel corso degli anni, a partire dalle scarpate più alte (che sono le prime ad essere trattate) si verifica l'ingresso progressivo delle specie naturali dalle formazioni vegetali circostanti.

Sulla base delle esperienze degli ultimi anni i risultati si possono considerare ottimali e la metodologia

andrebbe estesa a tutte le cave di nuovo impianto ed a quelle esistenti in cui esistono i presupposti per la riconversione morfologica a scarpata unica a circa 35° mediante operazioni di scavo/riporto.



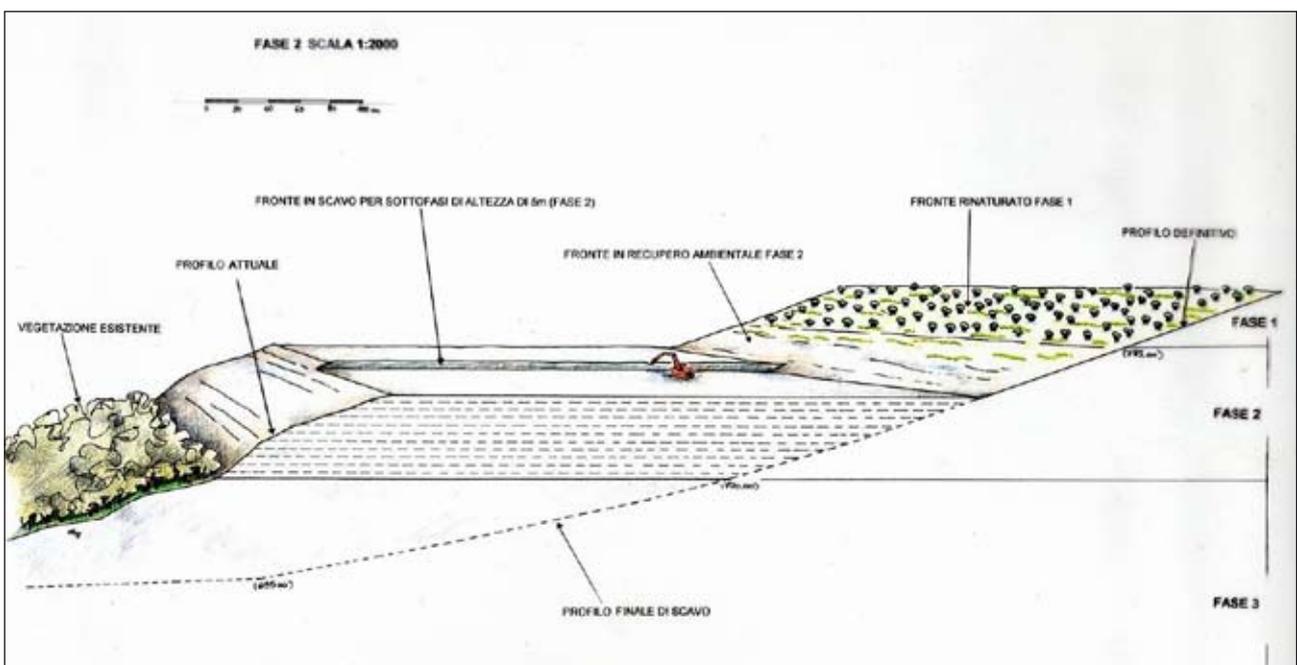
(Disegno G. Sauli e L. Cociancich)



Cava di calcare del M. S. Lorenzo di Fanna (PN) . Recupero del terreno vegetale sul piazzale discendente 1995 (Foto G. Sauli).



Recupero della cava di calcare a piazzale discendente del M. S. Lorenzo di Fanna (PN) (Foto G. Sauli).



Recupero ambientale cava di Melito (CS) a scarpata unica a piazzale discendente (Manuale 2 Regione Lazio) (Disegno O. Iacoangeli)

B) Coltivazioni a gradoni

Le coltivazioni a gradoni sono le più frequenti e consentono varie forme di recupero che sono:

1. **di una certa efficacia** se il rapporto tra alzata e pedata è tale da non superare la pendenza media complessiva di 45° . In tal caso è possibile:
 - riportare inerti di scarto sui gradoni e ricostruire superfici di scarpata in materiale sciolto rivegetabile, sufficienti a mascherare buona parte delle superfici di cava come nel caso della cava di calcare "Scoria", in provincia di Trieste, nella quale sin da metà anni '80 sono stati condotti interventi sperimentali di rivegetazione mediante semine e messa a dimora di varie specie di arbusti con specie della boscaglia termofila del Carso.

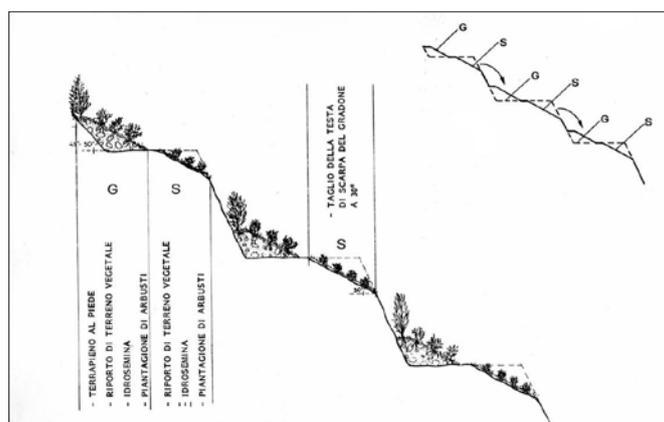


Ricomposizione morfologica su cava a gradoni Cava Scoria (TS), 1998 (Foto G. Sauli).



Rivegetazione mediante semine e piantagioni, Cava Scoria (TS), 1999 (Foto G. Sauli).

- abbattere in fase di abbandono finale le teste di scarpa dei gradoni per riempire la parte sottostante ed ottenere una serie di superfici in scavo o riporto con pendenze non superiori ai 30° - 35° che consentono riporti di terra vegetale e rinverdimenti con normali interventi di semine e messa a dimora di arbusti;



Taglio delle teste di scarpa dei gradoni per riempire la parte sottostante (Disegno G. Sauli e L. Cociancich)

2. **di difficile intervento** nei casi di fronti di cava subverticali (60° o più) con piccoli gradoni, spesso inaccessibili. Quando lo scavo è subverticale i risultati del ripristino sono alquanto

deludenti anche perché come specie ricolonizzatrici spesso si usano le conifere, mentre la circostante vegetazione è di latifoglie. Tali interventi con filari di resinose sui gradoni non danno risultati neanche di natura paesaggistica.



Recupero scadente con piantagione di resinose su gradoni, cava presso Caserta 2007 (Foto G. Sauli).

Interventi sperimentali di rivestimento subverticale con materassi rinverditi preconfezionati hanno dato scarsi risultati a fronte di notevoli costi di messa in opera e manutenzione.

Interventi di inscurimento della roccia con sostanze ossidanti danno rapidi risultati di natura visuale, ma sono da considerarsi temporanei e accessori. Veri e propri interventi di “verniciatura” sono stati sperimentati negli anni '80 in qualche cava del nord Italia e completamente abbandonati sia per gli scarsi risultati nel tempo, sia per motivi di inquinamento, sia perché da considerarsi un caso evidente di “imbroglio ecologico”.

Conclusioni

Gli interventi di rivegetazione delle cave costituiscono uno dei settori di applicazione dei metodi e principi dell'ingegneria naturalistica. Valgono alcune regole deontologico-pratiche quali:

- massimo impiego di rimodellamenti morfologici che devono, nella migliore delle ipotesi, essere strettamente collegati con gli scavi;
- utilizzo di tecniche di coltivazione che consentano ripristini contemporanei agli scavi;
- impiego di specie autoctone di arbusti ed alberi per il miglior reinserimento naturalistico e paesaggistico delle superfici denudate;
- uso limitato di tecniche con impiego di materiali artificiali;
- impiego delle tecniche più semplici a pari funzione, evitando inutili sovradimensionamenti.

Per quanto riguarda le tecniche nel recupero delle cave risultano proponibili principalmente interventi antierosivi e stabilizzanti (idrosemine, messa a dimora di arbusti ed alberi, biostuoie, viminate e fascinate). Opere costose di tipo combinato (gabbionate e materassi verdi, terre rinforzate e palificate vive, rivestimenti vegetativi in reti metalliche e stuoie, etc) sono possibili, ma vanno considerate di impiego localizzato o per casi particolari, principalmente per motivi di costo.



Inerbimento da idrosemina in una cava presso Amelia (TR) (Foto C.Bonelli).



Piantagione di arbusti in una cava presso Amelia (TR) (Foto C.Bonelli).

IL DISSESTO IDROGEOLOGICO

Giuseppe Gisotti

Presidente SIGEA Società Italiana di Geologia ambientale, www.sigeaweb.it

INTRODUZIONE

Il dissesto idrogeologico e in particolare i dissesti catastrofici minacciano il benessere e la vita delle popolazioni e sono un potente modificatore del paesaggio e dell'ambiente. L'uomo, a sua volta trasforma paesaggio e territorio con interventi indirizzati alla riduzione del rischio idrogeologico ed alla difesa del suolo,

I fenomeni di dissesto sono spesso catastrofici e la recente alluvione in provincia di Bari (22-23 ottobre 2005) ha dimostrato fino a che punto questi dissesti possano modificare il territorio ed il paesaggio.

Nella loro forma virulenta fenomeni come le frane, le inondazioni, l'erosione accelerata del suolo, sono stati definiti come "malattia della civilizzazione", perché è la civiltà dell'uomo, o meglio ancora il suo progresso tecnologico, con lo sconvolgimento apportato al tanto più lento decorso dei fenomeni naturali, che ne ha accelerato il ritmo in maniera travolgente e preoccupante.

Va comunque detto che questi fenomeni sono antichi come la Terra.

Si tratta in effetti di eventi naturali quali possono essere, ad esempio, il sollevamento rapido di alcune parti delle catene montuose; il franamento di interi versanti; lo spostamento delle linee di riva; la rapida erosione e il trasporto a valle e, in definitiva, verso il mare dei prodotti dell'erosione. Tali fenomeni fanno parte della dinamica terrestre e, quindi, non sono che episodi rilevabili di movimenti ben più cospicui, sebbene di solito lentissimi, contro i quali l'azione umana è impotente e vana.

Ciò che è possibile attuare è soltanto un'opera di "rallentamento", tale, cioè, da rendere "stabile" ai soli fini umani e, talvolta, solo per la durata di qualche generazione – cioè per attimi del tempo geologico – talune aree di crosta terrestre partecipi di più vasti fenomeni.

CAUSE DEI DISSESTI

Va detto che in molti casi l'uomo, nei tempi passati, ma specialmente oggi, ha accelerato o innescato tali processi naturali catastrofici, oppure ha trasformato il territorio rendendolo molto vulnerabile.

Infatti svariati sono gli interventi umani che hanno causato dissesti, come il sovraccarico delle pendici mediante manufatti, oppure gli sbancamenti al piede dei versanti; d'altra parte le calamità, anche quelle del tutto naturali, potrebbero avere effetti contenuti se, ad esempio, l'acqua caduta in quantità "eccezionale" trovasse a riceverla un suolo ben difeso da boschi o da opere idrauliche efficaci e opportunamente disposte, oppure se non si fosse costruito negli alvei di piena. Pertanto questi processi, specialmente quando si manifestano sotto forma di eventi catastrofici, non sempre si possono definire naturali, o almeno non del tutto tali, ed è quindi irresponsabile giustificarli come "ineluttabili", in particolare laddove si ripresentano sistematicamente a colpire il territorio e l'uomo stesso. Quegli eventi naturali che si trasformano in tragedie umane a causa dell'intervento errato, inopportuno o addirittura per il mancato intervento preventivo da parte dell'uomo, vengono definiti come *calamità naturali indotte* (dall'uomo).

Se pertanto l'uomo è spesso artefice o concausa di eventi catastrofici, ne deriva che la difesa dai rischi idrogeologici, anche da quelli su cui l'uomo non può incidere, si impone nei termini di *previsione, prevenzione e mitigazione*. È importante quindi conoscere le cause e i meccanismi dei dissesti idrogeologici, non solo allo scopo di prevederli (quando è possibile) e prevenirli, ma anche per poter intervenire con opere sistematorie quando essi si sono già manifestati.

La società civile tende a bilanciare tali pressioni con opportune "risposte", che nella fattispecie costituiscono le varie fasi di *previsione, prevenzione e mitigazione* del rischio idrogeologico, inquadrare nell'attività di Protezione Civile, e che nel senso più ampio corrispondono alla politica di *difesa del suolo* delle istituzioni.

L'obiettivo della difesa del suolo è la limitazione del dissesto del suolo e del sottosuolo, intesi sia come risorse naturali che come luogo di impianto e di sviluppo delle attività umane.

La legge quadro sulla difesa del suolo, n. 183/1989, ha giustamente ampliato il concetto di suolo e quindi di difesa del suolo, onde per suolo si intende "...il territorio, il suolo, il sottosuolo, gli abitati e le opere infrastrutturali".

L'importanza economica dei processi relativi allo squilibrio, al dissesto del sistema suolo/sottosuolo è generalmente enorme, anche se spesso sottovalutata. Nel seguito si riporteranno alcuni esempi di dissesti idrogeologici nonché di interventi mirati a controllare, contrastare tali fenomeni.

ESEMPI DI DISSESTO

Prima di presentare alcuni esempi di aree dissestate molto note, merita anzitutto accennare alle principali classificazioni dei movimenti franosi (Fig. 1).

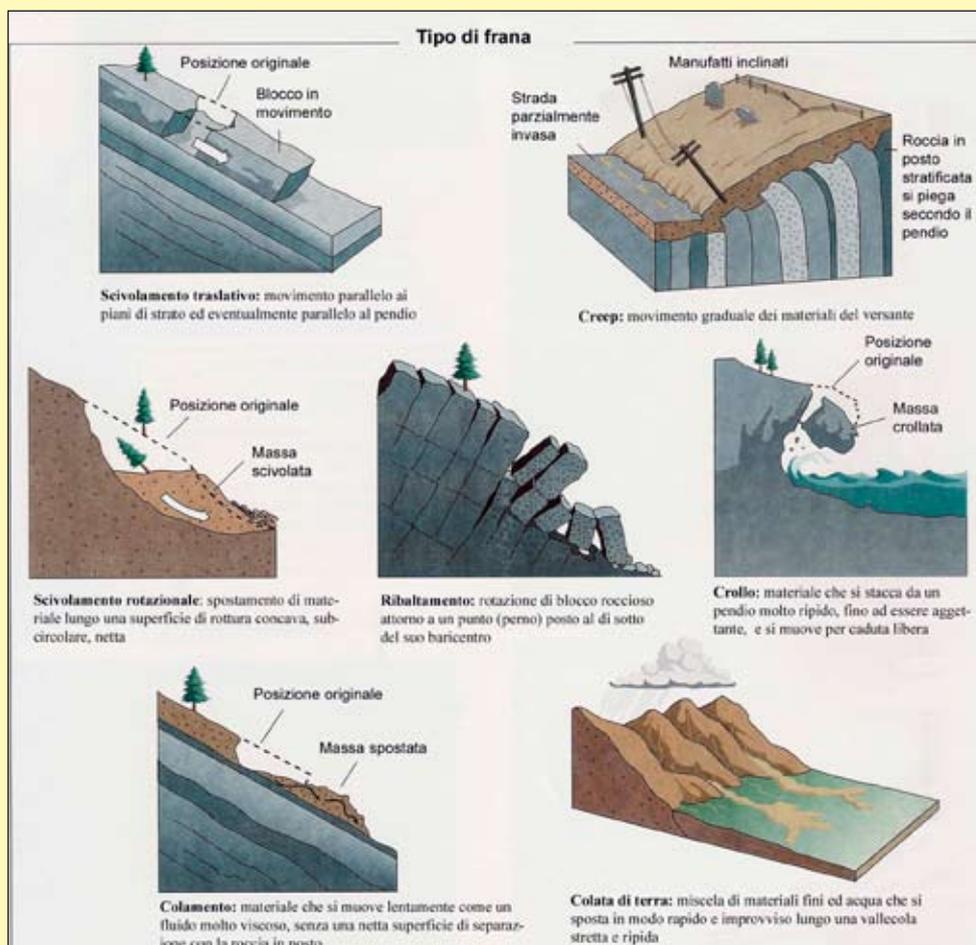


Fig. 1 – Schemi dei principali tipi di movimenti franosi.

Un esempio di frana di crollo è quella che colpisce l'abitato di Aliano, in Basilicata, il paese dove Carlo Levi esule scrisse "Cristo si è fermato ad Eboli", descrivendo la grama ma dignitosa vita di una comunità con scarsissime risorse ma aggredita da pericoli idrogeologici per essa giganteschi. L'effetto scenografico di questo dissesto è notevole e l'abitato sembra piccolo e indifeso rispetto alle dimensioni del fenomeno franoso.

Si tratta di una pila di strati di sabbie poco cementate (Formazione delle "Sabbie di Aliano", del Pliocene), molto erodibili specialmente sotto l'effetto della piovosità

Questa enorme frana, con lo sfondo di alcune casupole in cima al precipizio, condiziona pesantemente l'ambiente naturale e antropico e, nello stesso tempo, dà l'impronta al paesaggio: può essere considerata quindi un detrattore ma anche un elemento che qualifica positivamente quel paesaggio.

Si parla da tempo di fare di Aliano e del suo territorio un parco geomorfologico, avente fini scientifici ma anche educativi e didattici, dove i principali processi erosivi trovino una

dimostrazione eclatante (Fig. 2).



Fig. 2 – Abitato di Aliano (provincia di Matera), attaccato da imponenti frane di crollo (Foto: G. Gisotti).

Nel Salernitano, nell'Avellinese e nel Casertano nel maggio 1998 ha piovuto intensamente per sei giorni di seguito. I tufi vulcanici incoerenti, derivanti prevalentemente dall'eruzione del Vesuvio del 79 d.C., ricoprono i rilievi di calcare diffusi in tutta l'area e presentano una elevata mobilità se sollecitati da intense precipitazioni. Come conseguenza, dalla sommità e dai fianchi di Pizzo d'Alvano si staccarono disastrose colate rapide di fango (o di terra), che invasero numerosi centri abitati tra i quali i più colpiti risultano Sarno (con la frazione Episcopio), Quindici, Lauro, Siano, Bracigliano, San Felice a Canello (5 e 6 maggio 1998), provocando 160 morti. Eventi di questo tipo sono improvvisi e veloci, ed è difficile prevederli, ma possono essere prevenuti mediante una attenta pianificazione territoriale, ossia con un responsabile uso del territorio, usandolo senza alterarne i difficili equilibri.

Nell'ottobre 1963 una grande frana si stacca dalle pendici del monte Toc e precipita nel sottostante lago artificiale del Vajont, nel Veneto. Un'immensa ondata alta 200 metri, sollevata dall'urto del materiale franato, investe il versante opposto della valle su cui si trova l'abitato di Erto; superata la diga, l'ondata si riversa nella valle sottostante raggiungendo il Piave, dopo aver investito Longarone e altri centri. Vengono spazzati via dalle acque i due terzi di Longarone e alcuni centri minori, con oltre 2000 morti.

Il 19 luglio 1985 in Val di Fiemme, cedono gli argini di due grossi bacini di decantazione di fanghi provenienti dall'attività della miniera di Prestavel; in pochi minuti 300 mila metri cubi di acqua e detriti si riversano nella valle, travolgendo persone, case e alberghi e cancellando gli abitati di

Prestavel e Stava. 269 sono i morti.

INTERVENTI A DIFESA DEL SUOLO

Possiamo considerare qualche esempio di interventi strutturali che modificano il territorio, in termini di “risposte” adottate dalla società civile (dalle comunità locali istituzionali fino ai singoli contadini che intervengono sul loro appezzamento).

I più semplici (e forse più antichi) interventi dell'uomo per controllare l'erosione accelerata consistono nel “terrazzamento” delle pendici acclivi, tecnica che serve ad interrompere l'accennata pendenza del versante allo scopo di controllare i fenomeni erosivi dei terreni coltivabili, regimare le acque e creare strutture di accumulo di terra e di acqua interstiziale, fattori chiave, questi ultimi, nelle aree mediterranee caratterizzate dalla scarsità idrica nei mesi estivi e da intense precipitazioni con effetti spesso distruttivi nei mesi invernali. L'elemento base costruttivo è il muretto in pietra a secco, senza l'utilizzo cioè di materiali leganti; esso ha funzione di contenimento allo scopo di livellare e incrementare le superfici coltivabili.

Questa tecnologia è da annoverare tra quelle “povere”, in cui l'uso dei materiali avviene senza mediazioni, in un rapporto diretto con l'ambiente e, pertanto, con un minimo apporto energetico.

Le opere di contrasto ai movimenti franosi sono generalmente più impegnative rispetto a quelle per il controllo dell'erosione accelerata, e di solito consistono in interventi per drenare le acque allo scopo di allontanarle dai terreni mobili, e/o in strutture di contenimento delle masse di terreno instabili.

Per contrastare le alluvioni, dopo la nomina di Roma Capitale, il Parlamento decise di costruire i famosi Muraglioni, muri di sponda realizzati per svariati chilometri lungo il tratto urbano del Tevere. Essi ormai fanno parte del paesaggio urbano di Roma (Fig. 3).

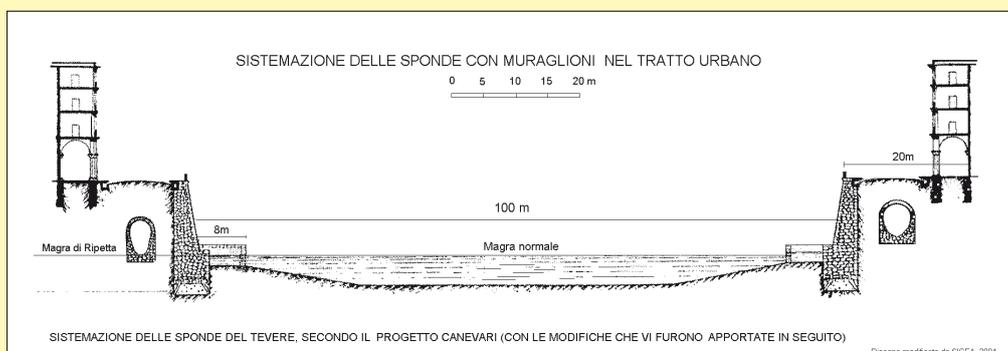


Fig. 3 - Sistemazione delle sponde del Tevere, secondo il progetto Canevari (con le modifiche che vi furono apportate in seguito).

Gli interventi di prevenzione consistono nell'apprestare il bacino idrografico a monte dell'area a rischio in modo tale da limitare l'impermeabilizzare dei suoli e di creare bacini di laminazione delle

piene (creando così zone umide a forte contenuto ecologico), mentre è necessario restituire spazio ai fiumi e recuperare la naturalità come mezzo primario per ridurre il rischio.

In conclusione, gli interventi strutturali vanno concepiti come un insieme coordinato di opere di natura idraulica-ingegneristica e di natura forestale-biologica, secondo i principi dell'ingegneria naturalistica; le une possono prevalere sulle altre solo in determinate situazioni. Ad esempio laddove un fiume attraversa una città è logico ricorrere ad alti argini in muratura che riducano il pericolo di tracimazione durante le piene; per difendere una spiaggia in erosione si è visto che i frangiflutti sono di solito inutili e che conviene fare ricorso al ripascimento con sabbia.

APPROFONDIMENTI BIBLIOGRAFICI

GISOTTI G., BENEDINI M., 2000 - *Il dissesto idrogeologico*. Carocci ed. Roma

CORNELINI P. & SAULI G., 2006 - *Geologia dell'ambiente* n.4 2006 - Numero Speciale sull'Ingegneria Naturalistica

IDRAULICA

SAULI G., CORNELINI P. & PRETI F., 2002 - *Manuale di Ingegneria Naturalistica. Applicabile al settore idraulico*. Volume 1. Capitolo 15; Regione Lazio - Assessorato per l'Ambiente - Dipartimento Ambiente e protezione Civile, Naturstudio P.s.c.r.l., Università degli Studi della Tuscia, Febbraio 2002, Regione Lazio, Roma.

SISTEMAZIONE DEI VERSANTI

SAULI G., CORNELINI P. & PRETI F., 2005 - *Manuale di Ingegneria Naturalistica. Sistemazione dei versanti*. Volume 3. Capitoli 9, 10, 11, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 25, 26; Regione Lazio - Assessorato all'Ambiente e Cooperazione tra i Popoli - Direzione Regionale Ambiente e Cooperazione tra i Popoli, Naturstudio P.s.c.r.l., Università degli Studi della Tuscia, Gennaio 2006, Regione Lazio, Roma.

STRADE E FERROVIE

SAULI G., CORNELINI P. & PRETI F., 2003 - *Manuale di Ingegneria Naturalistica. Applicabile ai settori delle strade, cave, discariche e coste sabbiose*. Volume 2. Capitoli 18, 21, 22, Regione Lazio - Assessorato per l'Ambiente - Dipartimento Ambiente e Protezione Civile, Naturstudio P.s.c.r.l., Università degli Studi della Tuscia, Dicembre 2003, Regione Lazio, Roma.

CAVE

SAULI G., CORNELINI P. & PRETI F., 2003 - *Manuale di Ingegneria Naturalistica. Applicabile ai settori delle strade, cave, discariche e coste sabbiose*. Volume 2. Capitoli 16, 22, Regione Lazio - Assessorato per l'Ambiente - Dipartimento Ambiente e Protezione Civile, Naturstudio P.s.c.r.l., Università degli Studi della Tuscia, Dicembre 2003, Regione Lazio, Roma.

PRINCIPALI MATERIALI

Tutti i materiali utilizzati nella realizzazione delle tipologie proprie dell'Ingegneria Naturalistica traggono la loro origine da svariati altri tipi di utilizzo e lavorazioni; diventano altresì caratteristici ed indispensabili qualora siano utilizzati, talvolta anche singolarmente, ma più comunemente abbinati in varie combinazioni, per il raggiungimento delle finalità proprie dell'Ingegneria Naturalistica.

Per tale motivo un elenco non potrà essere esaustivo e sebbene possano essere suddivisi e catalogati secondo vari ordini e possibilità, qui viene seguito un ordine che si basa, nonostante i limiti e le eccezioni, sull'origine e sulla natura dei materiali stessi:

- **Gruppo dei MATERIALI NATURALI (VEGETALI) VIVI**

Costituiscono l'elemento caratterizzante e distintivo che permette di distinguere un intervento di Ingegneria Naturalistica da uno tradizionale. Sono rappresentati da piante o parti di piante autoctone talune delle quali con capacità di riproduzione vegetativa. Le caratteristiche ottimali richieste possono essere individuate principalmente con

- specie autoctone
- specie di provenienza locale
- specie pioniere
- specie con capacità di riproduzione vegetativa
- specie con elevate attitudini biotecniche
- specie a crescita rapida

utilizzo: in tutte le tipologie

caratteristiche: specie con capacità di riproduzione vegetativa, specie con elevate attitudini biotecniche, specie a crescita rapida

requisiti: specie autoctone, specie pioniere, esemplari di provenienza locale

accorgimenti particolari: manipolazione nei periodi idonei, cure durante tutte le fasi di lavorazione, (prelievo, stoccaggio, posa, manutenzione)

reperibilità: dal selvatico, in situ, in commercio



Tra i materiali naturali (vegetali) vivi le talee sono in assoluto quelli più rappresentativi ed utilizzati: talee di *SALIX PURPUREA* (Foto R.Ferrari).

- **Gruppo dei MATERIALI NATURALI (VEGETALI) MORTI**

Sono rappresentati da varie forme vegetali morte, dalle fibre a parti intere di tronchi, ed il loro utilizzo è molto vario, da quello di protezione del suoli a quello di elementi strutturali portanti.

utilizzo: possibile in tutte le tipologie

caratteristiche: degradabilità nel tempo

requisiti: a seconda della tipologia ed ai parametri fisici del sito di intervento

accorgimenti particolari: scelta idonea relativamente alla tipologia ed ai parametri fisici del sito di intervento

reperibilità: dal selvatico, in situ, in commercio



Tra i materiali naturali (vegetali) morti i tronchi rappresentano l'elemento strutturale più caratteristico: tronchi di larice (Foto R.Ferrari).

- **Gruppo dei MATERIALI NATURALI INERTI**

Sono rappresentati da materiali terrosi e litoidi di varie granulometrie e pezzature ed il loro utilizzo è mirato per i riempimenti delle strutture, per i sistemi di drenaggio, per i consolidamenti al piede, per i raccordi ed i modellamenti morfologici.

utilizzo: possibile in tutte le tipologie

caratteristiche: non degradabilità nel tempo

requisiti: a seconda della tipologia ed ai parametri fisici del sito di intervento

accorgimenti particolari: scelta idonea relativamente alla tipologia ed ai parametri fisici del sito di intervento

reperibilità: in situ, in commercio



Tra i materiali naturali inerti il terreno vegetale risulta essere determinante per il corretto sviluppo della componente vegetale viva (Foto R.Ferrari).

- **Gruppo dei MATERIALI ARTIFICIALI**

Sono rappresentati da tipologie ed utilizzi molto diversi e disparati, tra i quali quelli di protezione dei suoli, di chiodature, di assemblaggi, di elementi strutturali portanti.

utilizzo: possibile in tutte le tipologie

caratteristiche: lenta o lentissima degradabilità nel tempo

requisiti: resistenza agli sforzi

accorgimenti particolari: scelta idonea relativamente alla tipologia ed ai parametri fisici del sito di intervento

reperibilità: in commercio



Le reti metalliche sono materiali artificiali molto versatili utilizzati frequentemente in abbinamento con tutti gli altri tipi di materiali: rotoli di rete metallica a doppia torsione zincata (Foto R.Ferrari).

principali Categorie e Tipi di

MATERIALI NATURALI (VEGETALI) VIVI

Semi

Rappresentano lo stadio iniziale del ciclo di sviluppo e crescita della pianta e pertanto il loro utilizzo deve tener conto del tempo necessario al loro sviluppo, che influisce sulle necessità di protezione del substrato.

Generalmente utilizzati in miscele predeterminate composte soprattutto da graminacee e leguminose.



Semi (Foto R.Ferrari).

Fiorume

Costituito dal materiale di risulta della fienagione, risulta di non semplice reperimento e pertanto il suo utilizzo è molto limitato.

Essendo il risultato di una raccolta naturale possiede tutte le caratteristiche ottimali richieste (autoctonia delle specie, provenienza degli esemplari, biodiversità, percentuale interspecifica).

Gli elementi che lo costituiscono, i semi, rappresentano lo stadio iniziale del ciclo di sviluppo e crescita della pianta e pertanto il suo utilizzo deve tener conto del tempo necessario al loro sviluppo, che influisce sulle necessità di protezione del substrato.



Fiorume (Foto R.Ferrari).

Rizomi, cespi, culmi

Costituiti da parti sotterranee di specie vegetali con capacità di generare nuovi esemplari.

Sebbene i singoli elementi rappresentino uno stadio avanzato del ciclo di sviluppo e crescita della pianta il loro utilizzo deve tener conto del tempo necessario al loro ulteriore sviluppo, che influisce sulle necessità di protezione del substrato.



Culmi di PHRAGMITES AUSTRALIS (Foto R.Ferrari).

Talee s.l.

Costituite da porzioni di parti aeree di specie con elevata capacità di riproduzione vegetativa.

Sebbene i singoli elementi rappresentino uno stadio avanzato del ciclo di sviluppo e crescita della pianta il loro utilizzo deve tener conto del tempo necessario al loro ulteriore sviluppo, che influisce sulle necessità di consolidamento del substrato, anche se in talune tipologie possono costituire da subito un non indifferente supporto strutturale.

Non fosse altro che per la diffusione e la versatilità di utilizzo rappresentano simbolicamente il concetto di Ingegneria Naturalistica.



Talee di SALIX sp.: non fosse altro che per la diffusione e la versatilità di utilizzo, rappresentano simbolicamente il concetto di Ingegneria Naturalistica (Foto R.Ferrari).

PRELIEVO, CONSERVAZIONE, PREPARAZIONE E POSA DI TALEE s.l.

Alcune specie vegetali posseggono la capacità di potersi replicare e sviluppare da rami o addirittura da parti di essi (capacità di riproduzione (o propagazione) vegetativa o riproduzione (o propagazione) agamica).



Giovane esemplare di SALIX ALBA sviluppatosi per riproduzione vegetativa da un ramo di circa 20 cm di lunghezza, risultato dallo scarto di lavorazione in un cantiere di Ingegneria Naturalistica (Foto R.Ferrari).

Nell'utilizzo pratico i singoli elementi, talee s.l., possono essere raggruppati in categorie in funzione delle diverse caratteristiche dimensionali e morfologiche. In base a queste diversità vengono impiegati con scopi e modalità spesso caratteristici per le varie tipologie e costituiscono, assieme a semi, rizomi, culmi, piante a radice nuda, piante in zolla, piante in fitocella, il materiale vegetale vivo indispensabile per interventi basati sull'Ingegneria Naturalistica.

Le specie più utilizzate appartengono ai generi Salix (*S. alba* (salice bianco), *S. purpurea* (salice rosso), *S. elaeagnos* (salice ripaiolo), *S. daphnoides* (salice barbuto), *S. pentandra* (salice odoroso), *S. cinerea* (salice cinerino), *S. apennina* (salice dell'Appennino) ed altre), Tamarix (*T. gallica* (tamerice)), Laburnum (*L. anagyroides* (maggiociondolo)), Ligustrum (*L. vulgare* (ligustro)) ed altri.

PRELIEVO

1. Effettuare il taglio rigorosamente durante il periodo di riposo vegetativo che, per quanto si possa indicativamente individuare tra Ottobre e Marzo, può variare anche significativamente nei suoi limiti estremi dipendendo da parametri locali quali latitudine, quota, esposizione, clima, condizioni meteorologiche, nonché dall'ambito ecologico. Al momento del taglio, comunque, i rami non devono avere né foglie né fiorescenze (amenti nel genere Salix).



Prelievo dal selvatico di materiale vegetale vivo (talee s.l.) (Foto R.Ferrari).



Taglio di materiale vegetale vivo (talee s.l.): alla base della ramificazione (Foto N.Canovi).

2. Eseguire il taglio alla base della ramificazione e, nelle specie arbustive quanto più possibile in prossimità del terreno.



Taglio di materiale vegetale vivo (talee s.l.): nelle specie arbustive, quanto più possibile in prossimità del terreno (Foto N.Canovi).

3. Eseguire il taglio in modo netto senza sbavature o scortecciamenti che comprometterebbero irrimediabilmente la vitalità; per questo motivo è consigliabile l'uso di motosega (anche per motivi legati al tempo di taglio) o di sega ad arco per legno. Assolutamente da evitare il taglio mediante coltello, accetta o simili, o la spezzatura a forza del ramo, in quanto tali pratiche danneggerebbero la pianta madre.

CONSERVAZIONE

1. Abbreviare il più possibile il tempo che intercorre tra il taglio e la posa definitiva.
2. Durante il trasporto prendere tutte le precauzioni possibili per evitare essiccamenti e disidratazioni mediante riparo da soleggiamenti e ventilazioni eccessive.
3. Nel periodo di stoccaggio in cantiere porre il materiale vegetale vivo all'ombra, con la parte basale immersa in acqua o quasi totalmente ricoperto da terreno umido. Da evitare comunque soleggiamenti, gelate e ventilazioni eccessivi.



Stoccaggio in cantiere di materiale vegetale vivo (talee ed astoni) con la parte basale immersa in acqua (Foto R.Ferrari).



Stoccaggio in cantiere di materiale vegetale vivo (astoni) in ombra e con la parte basale immersa in acqua (Foto R.Ferrari).



Stoccaggio in cantiere di materiale vegetale vivo (astoni) riparato da soleggiamenti, gelate e ventilazioni eccessivi (Foto R.Ferrari).

4. Evitare traumi quali scortecciature e sfibrature.
5. Nell'eventualità di un utilizzo non subitaneo del materiale vegetale vivo, stoccare e ricoprire con terriccio mantenuto umido o posare in "tagliola" con modalità del tutto simili ad analogo trattamento di piante a radice nuda. In tal caso il materiale vegetale vivo potrà essere utilizzato anche dopo diversi mesi, sottoforma di talea radicata, adottando in più le cure e le attenzioni usate per le piante a radice nuda.



Talea radicata di *SALIX ALBA VITELLINA* (Foto R.Ferrari).



Astone radicato di SALIX PURPUREA: secondo la destinazione d'uso potrà essere utilizzato in questa dimensione o suddiviso in porzioni di lunghezza inferiore (talee) (Foto R.Ferrari).

PREPARAZIONE

1. E' possibile preparare il materiale vivo prelevato in differenti " formati", a seconda della destinazione di utilizzo:
 - talea (porzione di ramo, non ramificato, L 60÷70 cm, Ø min 2 cm)
 - verga (getto flessibile, L min 150 cm, Ø min 2÷4 cm)
 - astone (getto poco o non ramificato, dritto, L max disponibile, Ø min 4÷5 cm)
 - ramaglia (parte terminale del ramo completo delle ramificazioni secondarie, generalmente derivanti dalla lavorazione per ottenere i tipi precedenti)
2. La preparazione può avvenire sia sul luogo di prelievo che, preferibilmente, sul sito di intervento.



Preparazione di materiale vegetale vivo (astoni) sul luogo di prelievo (Foto R.Ferrari).



Preparazione di materiale vegetale vivo (talee) sul sito di intervento (Foto R.Ferrari).

3. Effettuare le operazioni di diradamento dei rami secondari e di sfoltimento in generale mediante apposite forbici o cesoie da giardinaggio; possono essere utilizzati anche vari tipi di coltelli pesanti a lama dritta e nel qual caso il movimento di taglio dovrà essere impresso seguendo il verso di crescita del ramo principale, tenendo impugnato quest'ultimo dall'estremità basale (parte più grossa), evitando così scortecciature che pregiudicherebbero l'attecchimento. Assolutamente da evitare la spezzatura a mano del ramo, in quanto tale pratica danneggerebbe irrimediabilmente le parti.
4. Effettuare i tagli necessari per ridurre i rami alle dimensioni utili mediante apposite forbici o cesoie da giardinaggio o coltelli pesanti a lama dritta, usando in quest'ultimo caso un ceppo di legno come base di lavoro; in tutti i casi i tagli dovranno essere impartiti ortogonalmente alla lunghezza del ramo, in modo netto, senza sfrangiature o scortecciamenti.
5. Nel caso si renda necessario, è possibile ricavare una punta nella talea all'estremità che verrà infissa (attenzione al verso di crescita), mediante coltello pesante a lama dritta con ceppo di legno come base di lavoro. Tale pratica è assolutamente inutile nel caso di utilizzo di verga, astone e ramaglia.



Preparazione di talee con punta (Foto R.Ferrari).

POSA

1. E' assolutamente indispensabile individuare il verso di crescita dei singoli elementi che andranno inseriti o posati secondo questo criterio.
Se determinare il verso di crescita è un'operazione elementare al momento del taglio dalla pianta madre, mano a mano che si procede nello sfoltimento, diradamento e rimpicciolimento del singolo ramo, è possibile che questo diventi sempre più difficile da individuare sino talvolta risultare arduo o dubbio in talee anche di lunghezza pari a 60-70 cm. I caratteri più immediati ed utili per la corretta individuazione del verso di crescita sono:

- diversità di diametro alle estremità (generalmente il diametro più grande indica la parte basale e viceversa, ma non è un criterio infallibile, potendosi trovare anche diametri pressoché uguali o addirittura invertiti).
 - eventuali diramazioni secondarie (le tracce dei rami di ordine inferiore
 - risultano essere buoni indicatori, essendo rivolti verso la parte sommitale, ma non sempre sono presenti).
 - gemmazioni (hanno generalmente forma triangolare con il vertice rivolto verso l'alto e la base verso il basso).
2. Nella posa definitiva è determinante ai fini dell'attecchimento rispettare il verso di crescita.
- Le talee possono essere posate (assecondando il verso di crescita) sul substrato e poi ricoperte dal materiale di riempimento (talee senza punta), o inserite nel substrato o nelle strutture mediante battitura manuale con mazzetta (talee dotate di punta) e lasciate sporgere all'esterno per pochi centimetri.



Posa di talee di *SALIX DAPHNOIDES* sul substrato (Foto R.Ferrari).



Infissione di talee di *SALIX DAPHNOIDES* nella struttura (Foto R.Ferrari).



Talea di *SALIX ALBA* infissa verticalmente nel substrato (Foto R.Ferrari).

- Le verghe e gli astoni vengono posati sul substrato od inseriti nelle strutture e poi ricoperti dal materiale di riempimento (utilizzando questi “formati” il riconoscimento del verso di crescita è più agevole). Vengono lasciate sporgere all'esterno per pochi centimetri.

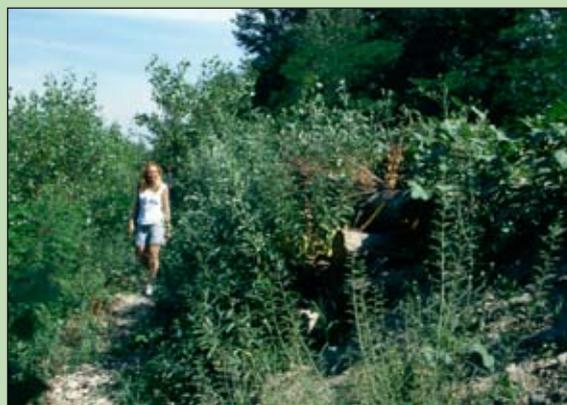


Astoni di *SALIX PURPUREA* inseriti nella costruenda struttura, prima del loro definitivo dimensionamento che fornirà altro materiale vegetale vivo idoneo (Foto R.Ferrari).

- Le ramaglie vengono posate sul substrato od inserite nelle strutture anche caoticamente e poi ricoperte dal materiale di riempimento e possono essere utilizzate per tamponare irregolarità nel riempimento o come materiale ammendante.



Ramaglie di *SALIX ALBA* inserite nella struttura (Foto R.Ferrari)



Un buon attecchimento compensa le cure e le attenzioni dedicate durante le delicate fasi della manipolazione del materiale vegetale vivo (Foto R.Ferrari).

Arbusti radicati

Sono reperibili in diverse altezze e conseguentemente con diversi sviluppi dell'apparato radicale e sebbene i singoli elementi rappresentino uno stadio avanzato del ciclo di sviluppo e crescita della pianta il loro utilizzo deve tener conto del tempo necessario al loro ulteriore sviluppo, che influisce sulle necessità di consolidamento del substrato, anche se in talune tipologie possono costituire da subito un non indifferente supporto strutturale.

Talvolta posati suborizzontalmente per assecondare la morfologia strutturale di alcune tipologie.

Possono essere reperiti

- a radice nuda
- in zolla
- in fitocella
- in contenitore



Arbusti radicati a radice nuda (Foto R.Ferrari).



Arbusti radicati in zolla (Foto R.Ferrari).



Arbusti radicati in fitocella (Foto R.Ferrari).



Arbusti radicati in contenitore (Foto R.Ferrari).

principali Categorie e Tipi di

MATERIALI NATURALI (VEGETALI) MORTI

Fibre vegetali

Alcune fibre vegetali possono essere impiegate sia sciolte sia in qualche misura legate, per diversi utilizzi.

Presentano una durabilità diversa che, comunque dipendente dalle caratteristiche del sito di intervento, può essere individuata a partire dalla più degradabile:

- *fieno*
- *paglia*
- *juta*
- *cocco*
- *legno*
- *miste*



Fibre vegetali di legno sciolte (Foto R.Ferrari).

Quando le fibre vengono assemblate, le denominazioni dei vari tipi di prodotti risultanti può generare confusione e spesso uno stesso oggetto viene catalogato diversamente; la enorme disponibilità commerciale di tipi e modelli ciascuno con una sua denominazione complica ulteriormente la distinzione.

Sebbene possano essere suddivisi e catalogati secondo vari ordini e possibilità, qui viene seguito un ordine che si basa sulla tessitura dei singoli elementi ed accorpa i tipi in:

- Biofeltri (le singole fibre sono sciolte, talvolta contenute in un leggero involucro (generalmente rete od altro a vario titolo degradabile), talvolta pressate a costituire un tutto consistente ed omogeneo senza involucro)



Biofeltro in fibre di paglia contenuto da rete in materiale sintetico degradabile (recto) (Foto R.Ferrari).



Biofeltro in fibre di cocco contenuto da rete in materiale sintetico degradabile (recto) e biofeltro sintetico (verso) (Foto R.Ferrari).



Biofeltro in fibre di legno contenuto da rete in materiale sintetico degradabile (recto) (Foto R.Ferrari).



Biostuoia in fibre di juta (Foto R.Ferrari).

- Biostuoie (le singole fibre o gruppi di fibre sono intrecciate)
- Bioreti (le singole fibre o gruppi di fibre sono solidali (mediante nodi o saldature) nei loro punti di contatto)

Biofeltri, biostuoie e bioreti vengono definiti tridimensionali quando il loro spessore varia tra 1÷2 cm circa.

Presentano alcune caratteristiche (composizione, tessitura, trama, spessore, grammatura, ...) la cui influenza reciproca risulta determinante per la completa riuscita di un intervento, coinvolgendo sia il problema della protezione del substrato (origine, granulometria, acclività, permeabilità, ...) o quello della ritenzione del materiale di riempimento (granulometria, spinte dall'interno, ...) sia il corretto sviluppo del materiale vegetale vivo (permeabilità all'apparato radicale, permeabilità all'apparato aereo, permeabilità all'acqua, ...):

- costituiti da uno o più tipi di fibre
- grado di decadimento differente
- tipo di tessitura

- dimensioni dell'intreccio
- grammatura (g/m^2)

Sono disponibili anche versioni preseminate e preseminate e concimate.



Biofeltro in fibre di juta contenuto da biostuoia in fibra di juta preseminato e concimato (recto) (Foto R.Ferrari).



Biostuoia in fibre di cocco unita a rete metallica a doppia torsione zincata (Foto R.Ferrari).

Sono disponibili anche versioni unite a reti metalliche.
Si presentano in rotoli di dimensioni standard.



Rotolo di biofeltro in fibre di paglia (Foto R.Ferrari)..



Rullo in fibre di cocco contenuto da georete (Foto R.Ferrari).

Un particolare assemblaggio di fibre di cocco sciolte che non rientra nello schema è rappresentato dal rullo in fibre di cocco.

Ramaglia

Costituita da parti legnose di specie vegetali non aventi capacità di riproduzione vegetativa.



Ramaglia (Foto R.Ferrari).



Tondame di piccolo diametro (\varnothing 8÷15 cm); tronchi di castagno (Foto R.Ferrari).

Tondame di piccolo diametro (\varnothing 8÷15 cm)

Costituito da tronchi di varie specie vegetali dimensionati in varie lunghezze e con diametri generalmente compresi tra 8 e 15 cm.

Talora tronchi divisi a metà nel senso longitudinale (mezzi tronchi).

Tondame di grande diametro (\varnothing > 15 cm)

Costituito da tronchi di varie specie vegetali dimensionati in varie lunghezze e con diametri superiori a 15 cm.



Tondame di grande diametro (\varnothing > 15 cm); tronchi di larice (Foto R.Ferrari).

UNIONE DI DUE ELEMENTI (TRONCHI) CONTIGUI

Per garantire una maggiore compattezza e resistenza della struttura lignea portante è necessario che gli elementi (tronchi) contigui vengano uniti l'uno all'altro mediante giuntura ad incastro a sormonto e chiodatura.



Unione di due tronchi contigui mediante incastro a sormonto e chiodatura (Foto R.Ferrari).

INCASTRO A SORMONTO

1. Scegliere gli elementi (tronchi) da unire sequenzialmente privilegiando la similitudine dei diametri.



Scelta dei tronchi in base alla similitudine dei diametri (Foto N.Canovi).

2. Posizionare i due elementi contigui che vanno posti uno di seguito all'altro in quella che sarà la loro posizione reciproca definitiva.

3. Eseguire il taglio del primo elemento che può essere effettuato mediante una delle seguenti possibilità:

Taglio per mezzo di motosega (a L)

Sistema veloce che implica però notevole usura della lama da taglio ed esperienza da parte dell'operatore: spesso il taglio "orizzontale" non risulta tale, ma inclinato, compromettendo il risultato.



Taglio perpendicolare all'asse longitudinale del tronco per una profondità pari a mezzo diametro. La distanza dall'estremità (per es. 20 cm) dovrà essere mantenuta costante per i successivi analoghi tagli sugli altri elementi (Foto R.Ferrari).



Taglio parallelo all'asse longitudinale del tronco sino all'intersecazione con il taglio precedente (Foto R.Ferrari).



Rifinitura finale delle superfici (Foto R.Ferrari).

Taglio per mezzo di motosega (a fette di salame)

Sistema meno veloce del precedente che però permette una più precisa esecuzione od eventuali correzioni in corso d'opera.



Taglio perpendicolare all'asse longitudinale del tronco per una profondità pari a mezzo diametro. La distanza dall'estremità (per es. 20 cm) dovrà essere mantenuta costante per i successivi analoghi tagli sugli altri elementi (Foto R.Ferrari).



Serie di tagli paralleli ed analoghi al primo ad una distanza di circa 2 cm uno dall'altro, compresi tra l'estremità ed il primo taglio (Foto R.Ferrari).



Percussione mediante mazza (o piccone) in modo da creare un "effetto domino" (Foto R.Ferrari).



Rifinitura grossolana mediante mazzetta o coltello pesante (Foto R.Ferrari).



Rifinitura finale delle superfici (Foto R.Ferrari).

Taglio per mezzo di motosega e cuneo di ferro

Sistema veloce e preciso.



Taglio perpendicolare all'asse longitudinale del tronco per una profondità pari a mezzo diametro. La distanza dall'estremità (per es. 20 cm) dovrà essere mantenuta costante per i successivi analoghi tagli sugli altri elementi (Foto R.Ferrari).



Piccola incisione parallela all'asse longitudinale del tronco per una profondità di 1+2 cm, tale da permettere l'inserimento del cuneo di ferro (Foto R.Ferrari).



Percussione mediante mazza del cuneo di ferro sino al distacco della porzione semicilindrica del tronco (Foto R.Ferrari).



Il taglio risulta essere netto e pulito, senza necessità di rifinitura finale (Foto R.Ferrari).

4. Risistemare il primo elemento nella posizione definitiva, con la superficie del taglio dell'incastro posta orizzontalmente e rivolta verso l'alto.

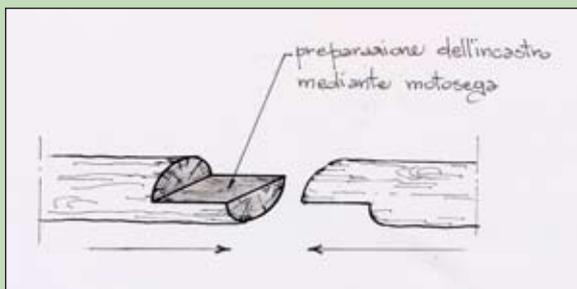


Posizionamento definitivo del primo elemento (Foto R.Ferrari).



Completamento dell'operazione di taglio sul secondo elemento (Foto R.Ferrari).

5. Ripetere l'operazione di taglio sul secondo elemento, dopo averlo ruotato di 180° .
6. Posizionare il secondo elemento mediante rotazione di 180° , con la superficie del taglio dell'incastro posta orizzontalmente e rivolta verso il basso, riportandolo nella posizione definitiva e facendolo combaciare al primo.



(Disegno E.Ferrari)



Rotazione di 180° del secondo elemento (Foto R.Ferrari).



Posizionamento definitivo del secondo elemento (Foto R.Ferrari).



Combaciamento degli elementi (Foto R.Ferrari).

CHIODATURA

1. Fissare provvisoriamente i due elementi tra loro, mediante cambre (o zanche), in modo che non subiscano movimenti durante le successive fasi operative.
2. Eseguire un foro nella parte centrale dell'incastro (a circa 10 cm dalle estremità), perpendicolarmente alle superfici dei tagli orizzontali (longitudinali) e che oltrepassi entrambi gli elementi, utilizzando un idoneo trapano elettrico (min. 1000 W) od a motore a scoppio ed una punta per legno di diametro pari a quello del tondino di ferro ad aderenza migliorata che verrà utilizzato come "chiodo" (per un diametro dei tronchi pari a 18-30 cm viene comunemente adottato un diametro preforo/chiodatura pari a 14 mm) e di lunghezza tale da poter oltrepassare contemporaneamente ed agevolmente entrambi gli elementi.

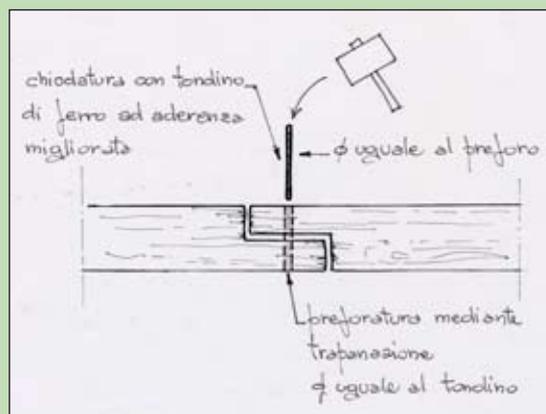


Esecuzione del foro (Foto R.Ferrari).



Battitura del "chiodo" (Foto R. Ferrari)

3. Inserire nel preforo il "chiodo" costituito da tondino di ferro ad aderenza migliorata, tagliato precedentemente in lunghezza pari al massimo diametro dei tronchi disponibili, battendolo manualmente mediante mazza sino a pareggiarlo con la superficie del tronco superiore.
4. Togliere e recuperare le cambre (o zanche) usate per il fissaggio provvisorio.
5. Tagliare, se necessario, la parte inferiore sporgente mediante smerigliatrice angolare e mola da taglio per ferro.



(Disegno E.Ferrari)

UNIONE DI DUE ELEMENTI (TRONCHI) SOVRAPPOSTI

Per garantire una maggiore compattezza e resistenza della struttura lignea portante è necessario che gli elementi (tronchi) sovrapposti vengano uniti l'uno all'altro mediante chiodatura.



Unione di tronchi sovrapposti mediante chiodatura (Foto R.Ferrari).



Esecuzione del foro (Foto R.Ferrari).

CHIODATURA

1. Posizionare l'elemento da unire alla struttura, a contatto con l'elemento a cui va unito, generalmente già solidale alla struttura stessa.
2. Fissare provvisoriamente i due elementi tra loro, mediante cambre (o zanche), in modo che non subiscano movimenti durante le successive fasi operative. Generalmente l'elemento sottostante è già solidale alla struttura.
3. Eseguire un foro nella parte centrale dell'elemento da posizionare in modo tale da interessare anche l'elemento sottostante e, perpendicolarmente ad essi, che gli oltrepassi entrambi, utilizzando un idoneo trapano elettrico (min. 1000 W) od a motore a scoppio ed una punta per legno di diametro pari a quello del tondino di ferro ad aderenza migliorata che verrà utilizzato come "chiodo" (per un diametro dei tronchi pari a 18÷30 cm viene comunemente adottato un diametro preforo/chiodatura pari a 14 mm) e di lunghezza tale da poter oltrepassare contemporaneamente ed agevolmente entrambi gli elementi.
4. Inserire nel preforo il "chiodo" costituito da tondino di ferro ad aderenza migliorata, tagliato precedentemente in lunghezza pari al massimo diametro dei tronchi disponibili, battendolo manualmente mediante mazza sino a pareggiarlo con la superficie del tronco superiore.



Battitura del "chiodo" (Foto R.Ferrari).

5. Togliere e recuperare le cambre (o zanche) usate per il fissaggio provvisorio (preferibilmente dopo aver fissato definitivamente l'elemento in almeno due punti).
6. Tagliare, se necessario, le eventuali parti sporgenti della chiodatura mediante smerigliatrice angolare e mola da taglio per ferro.

principali *Categorie e Tipi di*

MATERIALI NATURALI INERTI

Terreni vegetali

Costituiti dalla porzione più superficiale di suolo naturale.



Terreni vegetali; la posa richiede attenzioni particolari a seconda della tipologia: Grata viva semplice di versante (Foto R.Ferrari).

Elementi litoidi

Costituiti da elementi litoidi di dimensioni varie.



Elementi litoidi; il dimensionamento degli elementi deve essere idoneo alla tipologia: massi ciclopici (Foto R.Ferrari).

Materiali di riempimento

Costituiti da materiali di riporto di possibile diversa origine e provenienza.

Spesso derivato dal materiale di movimento terra del cantiere stesso.



Materiali di riempimento (Foto R.Ferrari)

principali Categorie e Tipi di MATERIALI ARTIFICIALI

Elementi di rinforzo

Rappresentati da strutture metalliche (puntali) da applicare alle parti più deboli o più sottoposte a sforzi.

Elementi flessibili di fissaggio

Possono essere rappresentati da:

- fili di ferro



Filo di ferro zincato (Foto R.Ferrari).

- punti metallici



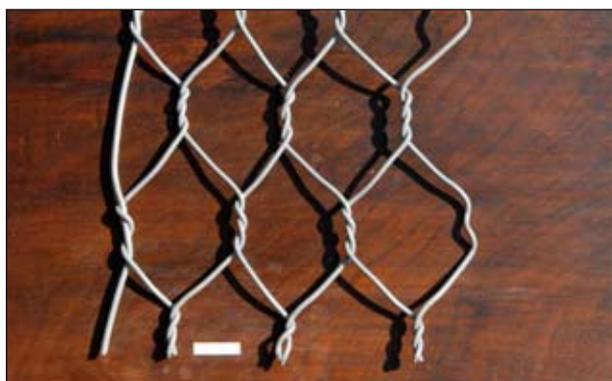
Punti metallici (Foto R.Ferrari).

Reti metalliche

Costituite da elementi uniti nei punti di contatto, generalmente con un sistema di torsione, possiedono caratteristiche di elasticità e di deformabilità mantenendo inalterate quelle di robustezza e resistenza.

Sono disponibili in versioni con vari diametri del filo e con varie dimensioni della maglia.

Sono disponibili anche versioni zincate e versioni zincate e plastificate.



Rete metallica a doppia torsione zincata e plastificata (Foto R.Ferrari).



Rete metallica a doppia torsione zincata unita a biostuoia (Foto R.Ferrari).

Sono disponibili anche versioni unite a biostuoie s.l. e georeti s.l.

Si presentano in rotoli di dimensioni standard.



Rotoli di rete metallica a doppia torsione zincata (Foto R.Ferrari).

Griglie metalliche

Costituite da elementi uniti nei punti di contatto mediante saldatura possiedono caratteristiche di rigidità, di robustezza e di resistenza.

Si presentano in pannelli di dimensioni standard.



Griglia metallica in tondino di ferro ad aderenza migliorata quale elemento strutturale principale in Terra rinforzata rinverdita (Foto R.Ferrari).

Elementi rigidi di fissaggio struttura-substrato

Possono essere rappresentati da:

- *picchetti (segmenti) in tondino di ferro variamente sagomati* (lunghezze e diametri variabili)



Picchetti (segmenti) in tondino di ferro variamente sagomati (Foto R.Ferrari).



Barre in tondino di ferro ad aderenza migliorata con testa filettata ed anello di tenuta (Foto R.Ferrari).

- *picchetti (segmenti) in ferro ad aderenza migliorata variamente sagomati (lunghezze e diametri variabili)*
- *barre in tondino di ferro ad aderenza migliorata con testa filettata ed anello di tenuta (lunghezze e diametri variabili)*
- *chiodi da falegnameria*
- *elementi speciali*

Elementi rigidi di fissaggio definitivo legno-legno

Possono essere rappresentati da:

- *chiodi in ferro con testa*
 - *a sezione circolare*
 - *a sezione quadrata*
- *chiodi (segmenti) in tondino di ferro*
 - *senza punta*
 - *con punta*
- *chiodi (segmenti) in tondino di ferro con testa*
 - *senza punta*
 - *con punta*
- *chiodi (segmenti) in tondino di ferro ad aderenza migliorata*
 - *senza punta*
 - *con punta*



Chiodi (segmenti) in tondino di ferro ad aderenza migliorata senza punta (Foto R.Ferrari).



Chiodi (segmenti) in tondino di ferro ad aderenza migliorata con testa e con punta: possibile utilizzo, a seconda del tipo, in tutte le tipologie di interventi combinati di consolidamento che implicano l'impiego ed il fissaggio reciproco di tronchi (Foto R.Ferrari).

- chiodi (segmenti) in tondino di ferro ad aderenza migliorata con testa
 - senza punta
 - con punta
- barre filettate con rondelle e dadi
- chiodi da falegnameria

Fibre sintetiche

Molte fibre sintetiche possono essere impiegate per la realizzazione di prodotti adatti alla protezione del suolo ed al contenimento di materiali inerti.

Questi costituiscono un gruppo estremamente eterogeneo sia per quanto relativo agli elementi di origine sia per quanto relativo ai tipi di tessitura e conseguentemente di prodotto finito.

Largamente utilizzati in sistemazioni tradizionali, alcuni tipi trovano impiego anche in talune tipologie di Ingegneria Naturalistica.

Sebbene possano essere suddivisi e catalogati secondo vari ordini e possibilità, qui viene seguito un ordine che si basa sulla tessitura dei singoli elementi ed accorpa i tipi in:

- Geostuoie (le singole fibre o gruppi di fibre sono intrecciate)
- Georeti (le singole fibre o gruppi di fibre sono solidali (saldature) nei loro punti di contatto)



Georete tridimensionale in fibre sintetiche (Foto R.Ferrari).

- Geocelle (le singole fibre o gruppi di fibre sono solidali (saldature) nei loro punti di contatto, ma presentano differenti caratteristiche morfologiche e di utilizzo)

Geostuoie e georeti vengono definite tridimensionali quando il loro spessore varia tra 1÷2 cm circa. Presentano alcune caratteristiche (composizione, tessitura, trama, spessore, grammatura, ...) la cui influenza reciproca risulta determinante per la completa riuscita di un intervento, coinvolgendo sia il problema della protezione del substrato (origine, granulometria, acclività, permeabilità, ...) o quello della ritenzione del materiale di riempimento (granulometria, spinte dall'interno, ...) sia il corretto sviluppo del materiale vegetale vivo (permeabilità all'apparato radicale, permeabilità all'apparato aereo, permeabilità all'acqua, ...):

- Costituiti da uno o più tipi di fibre
- Grado di decadimento differente, comunque ininfluenza per l'estrema durabilità
- Tipo di tessitura
- Dimensioni dell'intreccio
- Grammatura (g/m²)

Sono disponibili anche versioni unite a reti metalliche ed altre georeti s.l.

Una versione particolare è rappresentata da georete prebituminata.

Si presentano in rotoli di dimensioni standard.

UN VIVAIO DI SPECIE AUTOCTONE NEL PARCO NATURALE DEI MONTI AURUNCI

Ivo Schiappa

Nel 2001 l'Ente Regionale Parco dei Monti Aurunci ha attivato il "Programma Triennale di Tutela Ambientale '94-'96 - Intervento 210", finanziato dal Ministero dell' Ambiente e dall' Assessorato all' Ambiente della Regione Lazio, finalizzato prioritariamente alla realizzazione di interventi di recupero e di riqualificazione ambientale del territorio dell' area protetta.

Nell'ambito di questo programma è stata intrapresa anche un'iniziativa a carattere sperimentale attraverso la realizzazione e gestione di un "Vivaio di specie autoctone del Parco Naturale dei Monti Aurunci" Itri (LT).

Tra le motivazioni che hanno suggerito di iniziare una attività vivaistica così specializzata:

- conservare e tutelare il patrimonio genotipico di alcune tra le circa 1900 specie che costituiscono la flora di tutto il comprensorio dei Monti Aurunci;
- ottenere materiale propagativo con caratteristiche che possano garantire maggiori percentuali di attecchimento, in quanto derivante da piante madri che nel tempo hanno sviluppato capacità di adattamento alle condizioni pedoclimatiche delle aree di intervento;
- recuperare aree degradate e dissestate con tecniche a basso impatto ambientale, utilizzando anche i metodi dell'ingegneria naturalistica;
- creare personale specializzato, con competenze specifiche e capacità professionali elevate, in grado di progettare e realizzare interventi non solo nel Parco Naturale dei Monti Aurunci ma anche nel sistema delle aree protette del Lazio e in tutti quegli ambiti territoriali interessati da attività di recupero e rinaturazione di aree degradate.

La fase iniziale di attivazione del Vivaio è stata caratterizzata da una buona dose di pionierismo e sperimentazione; l'identificazione, sul territorio del Parco, delle specie da riprodurre e la successiva raccolta di frutti e semi è stato il punto di partenza dell'attività.

L'operazione successiva è consistita nella lavorazione del prodotto raccolto: i frutti, sia secchi che carnosì, sono stati lavorati a mano con l'ausilio di rudimentali piccole macchine.

La fase di stratificazione, ovvero il miscuglio dei semi con torba e sabbia calcarea, è stata la prima tappa del percorso; la rimozione della dormienza, che di fatto impedisce la germinazione dei semi, è una procedura assai controversa, e la durata dei tempi di stratificazione a freddo (vernalizzazione 5°) e a caldo (estivazione 20°) in ambienti difficili da monitorare, ha reso tutta l'operazione complessa e con un grado di incertezza a volte frustrante.



Semi raccolti dal selvatico nel Parco dei Monti Aurunci (Foto P. Cornolini).

Le prime semine, effettuate in vasetti di PVC e in cassoni di legno - realizzati recuperando la materia prima da diradamenti di alcune pinete - e le successive germinazioni hanno provato infine la correttezza delle procedure seguite.

Un caso esemplare è stato il carrubo (*Ceratonia siliqua*), specie leguminosa con semi ad elevata dormienza e come tale bisognosa, per una pronta germinazione, di un passaggio in acqua calda (80°): i nostri semi non sottoposti ad alcun trattamento in acqua calda ma conservati in un contenitore di vetro hanno sviluppato un naturale processo di fermentazione; successivamente seminati hanno dato una alta percentuale di germinazione (superiore al 90%).

Tra le specie riprodotte va ricordato l' *Ulmus minor*, grazie al contributo in semi fomiti dall'Olmo pluricentenario situato nella piazza centrale di Campodimele, un esemplare ormai famoso e attentamente monitorato dal Comune e ora anche dal Parco.

Al termine del primo anno di attività le piantine coltivate nel vivaio hanno raggiunto la cifra di circa centomila esemplari appartenenti a diverse decine di specie (sia arboree che arbustive). Nel corso di questi anni abbiamo avuto modo di verificare la giustezza della nostra iniziativa, visto l'interesse creatosi attorno ad essa e la notevole quantità di piantine vendute (diverse decine di migliaia).

L'esperienza vivaistica, sia pure tra mille difficoltà, è continuata arricchendosi ogni volta di nuove

conoscenze e metodi per la germinazione dei semi ed è stata anche veicolo di formazione per alcuni operatori del Parco .



Il vivaio del Parco (Foto P. Cornelini).

APPROFONDIMENTI BIBLIOGRAFICI

FERRARI R., 2006 – *Quaderni di cantiere, Vol. 1-12. Regione Lazio - Assessorato all'Ambiente e Cooperazione tra i Popoli - Direzione Ambiente e Cooperazione tra i Popoli - Area Difesa del Suolo, Novembre 2006, Regione Lazio, Roma.*

FERRARI R., 2008 – *Quaderni di cantiere, Vol. 13-18. Regione Lazio - Assessorato all'Ambiente e Cooperazione tra i Popoli - Direzione Ambiente e Cooperazione tra i Popoli - Area Difesa del Suolo, Gennaio 2008, Regione Lazio, Roma.*

PRINCIPALI ATTREZZATURE

Tutte le attrezzature utilizzate nella realizzazione delle tipologie proprie dell'Ingegneria Naturalistica traggono la loro origine da svariati altri tipi di utilizzo e lavorazioni; diventano altresì caratteristiche ed indispensabili qualora siano utilizzate, talvolta anche singolarmente ma più comunemente abbinata in varie combinazioni, per il raggiungimento delle finalità proprie dell'Ingegneria Naturalistica.

Per tale motivo un elenco non potrà essere esaustivo e sebbene possano essere suddivise e catalogate secondo vari ordini e possibilità, qui viene seguito un ordine che si basa, nonostante i limiti e le eccezioni, sulla finalità di utilizzo:

- **Gruppo delle ATTREZZATURE PER RILEVAMENTO SPEDITIVO IN CAMPAGNA, CONTROLLO IN CANTIERE, MONITORAGGIO**
- **Gruppo delle ATTREZZATURE PER TRASPORTO**
- **Gruppo delle ATTREZZATURE PER MOVIMENTAZIONE**
- **Gruppo delle ATTREZZATURE PER SCAVO**
- **Gruppo delle ATTREZZATURE PER TAGLIO**
- **Gruppo delle ATTREZZATURE PER PERFORAZIONE**
- **Gruppo delle ATTREZZATURE PER INFISSIONE**
- **Gruppo delle ATTREZZATURE PER SUPPORTO**
- **Gruppo delle ATTREZZATURE PARTICOLARI**
- **Gruppo delle ATTREZZATURE PER MANUTENZIONE**
- **Gruppo delle ATTREZZATURE PER SICUREZZA INDIVIDUALE**

Fatto caratteristico ed interessante è che la denominazione delle singole attrezzature talvolta cambia notevolmente a seconda del luogo geografico, cosicché una terminologia ufficiale ed univoca in molti casi risulta di difficile compilazione e per questo motivo molte delle attrezzature vengono qui citate con le denominazioni più comuni nel linguaggio cantieristico od in base a loro caratteristiche morfologiche o di utilizzo.

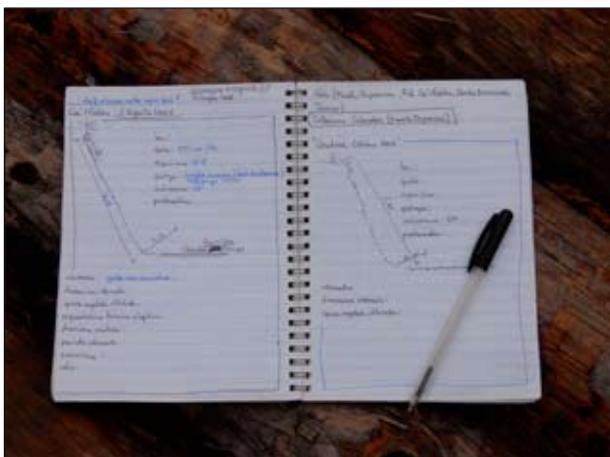
principali Categorie e Tipi di

ATTREZZATURE PER RILEVAMENTO SPEDITIVO IN CAMPAGNA, CONTROLLO IN CANTIERE, MONITORAGGIO

Trattasi per lo più di strumentazioni idonee al rilevamento speditivo di dati quali orientazione, inclinazione, quota, ... sia delle caratteristiche originarie del sito di intervento sia di quelle risultanti dalle lavorazioni, di supporti per la raccolta degli stessi, nonché per la documentazione.

Quaderni di cantiere

Strumenti indispensabili quali supporti per la raccolta dati ed informazioni, con caratteristiche di maneggevolezza e praticità. Sempre a portata di mano: è di fondamentale importanza raccogliere e conservare tutte le informazioni relative all'intervento. Le osservazioni e l'acquisizione dati vanno completate durante le fasi di monitoraggio.



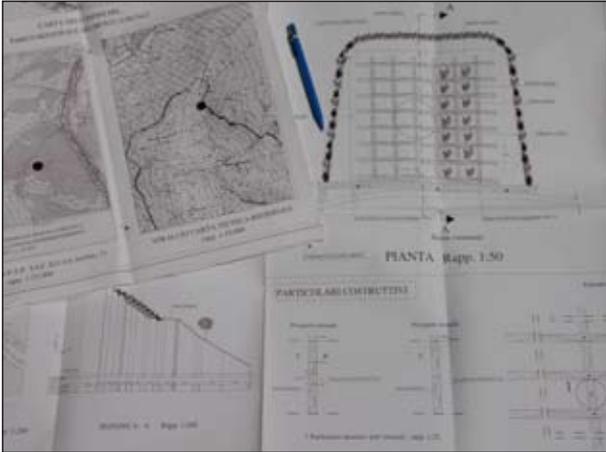
Quaderno di cantiere (Foto R.Ferrari).



Rilevamento post operam (Foto R.Ferrari).

Supporti progettuali

Strumenti indispensabili quali supporti di consultazione soprattutto relativamente alle descrizioni delle tipologie da realizzare. Sempre a portata di mano: è possibile trovare i particolari costruttivi relativi all'intervento.



Supporto progettuale (Foto R.Ferrari).



Supporto topografico (Foto R.Ferrari).

Supporti cartografici e topografici

Strumenti indispensabili quali supporti di consultazione e di ubicazione su base topografica della posizione dell'area di intervento. Con una cartografia a scala idonea è possibile ubicare topograficamente la posizione dell'intervento.

Bussole

Strumenti indispensabili per il rilevamento e la successiva ubicazione topografica. Non sono necessari tipi di bussole particolarmente sofisticati per l'acquisizione dei dati utili. L'esposizione (orientamento) dell'intervento è un dato di importanza fondamentale che condiziona sia lo sviluppo della componente vegetale viva sia la durata dei materiali.



Bussola (Foto R.Ferrari).

Clinometri

Strumenti indispensabili per il rilevamento ed il successivo controllo delle inclinazioni. L'inclinazione (pendenza) del substrato e/o delle strutture portanti molto spesso è decisivo per la scelta della tipologia. Le misurazioni devono essere effettuate in più punti su substrati rettificati.



Clinometro (Foto R.Ferrari).



Rilevamento dell'inclinazione del substrato ante operam (Foto R.Ferrari).

Livelle

Strumenti utili soprattutto nelle fasi iniziali di preparazione delle sedi di posa quando queste devono presentare caratteristiche di orizzontalità su lunghi fronti. L'utilizzo complementare alle livelle a bolla consente la precisione necessaria in alcune fasi costruttive.



Rilevamento dell'inclinazione della sede di posa in opera (Foto R.Ferrari).

Livelle a bolla

Strumenti utili in tutte le fasi costruttive per il controllo delle inclinazioni soprattutto di elementi strutturali. L'utilizzo consente il controllo della precisione necessaria in alcune fasi costruttive.



Livella a bolla (Foto R.Ferrari).

Cordelle metriche

Strumenti utili in tutte le fasi operative, a prescindere dalla tipologia. Generalmente le lunghezze utili possono variare tra 20÷50 m.



Cordella metrica (Foto R.Ferrari).

Metri snodabili

Strumenti utili in tutte le fasi operative, a prescindere dalla tipologia. Generalmente la lunghezza standard è 2 m.



Metro snodabile (Foto R.Ferrari).

Paline

Utilizzate per rilevamento topografico, dimensionamento e limitazione zone di intervento, segnalamento punti di particolare importanza durante le fasi costruttive. Utilizzo limitato soprattutto alle fasi costruttive iniziali.



Palina (Foto R.Ferrari).

Attrezzature fotografiche

Rappresentate da un corredo fotografico pratico, di pronto utilizzo. Sempre a portata di mano. Un'attrezzatura fotografica idonea è indispensabile per un'accurata documentazione durante le fasi operative di cantiere e durante le fasi di monitoraggio.



Attrezzatura fotografica (Foto R.Ferrari).



Rilevamento fotografico post operam (Foto R.Ferrari).

principali Categorie e Tipi di

ATTREZZATURE PER TRASPORTO

Trattasi di attrezzature adatte al trasporto dei vari tipi di materiali utilizzati, sia nell'ambito sia extra cantiere, sia manuali che motorizzate.

Secchi

Possono essere rappresentati da innumerevoli tipi (da muratore, a svuotamento manuale, a svuotamento semiautomatico, per elitransporto, ...) adatte sia ai materiali da trasportare sia ai sistemi di movimentazione sia alle caratteristiche del cantiere.



Secchio a svuotamento semiautomatico con attacco per sollevamento meccanico (Foto R.Ferrari).



Secchio a svuotamento manuale dal fondo con attacco per sollevamento meccanico (Foto R.Ferrari)

Carriole

Generalmente poco utilizzate a causa delle scarse possibilità di manovre nei cantieri dovute a forti pendenze, grandi distanze, substrati cedevoli, ...



Carriola. (Foto R.Ferrari)

Mezzi da trasporto terrestri

Gruppo molto eterogeneo per quanto relativo ai tipi (trattori, autocarri, ...), agli utilizzi, alle dimensioni. Indispensabili in tutti i cantieri in ambito terrestre per ogni tipo di trasporto.



Trattore agricolo (Foto R.Ferrari).



Autocarro leggero (Foto R.Ferrari).

Mezzi da trasporto acquatici

Gruppo molto eterogeneo relativamente alle tipologie (a propulsione manuale, a motore, ...), agli utilizzi, alle dimensioni. Indispensabili in tutti i cantieri in ambito acquatico non raggiungibili dalla terraferma, per ogni tipo di trasporto.



Imbarcazione a motore (Foto R.Ferrari).



Elicottero (Foto R.Ferrari).

Mezzi da trasporto aerei

Rappresentati da elicotteri che permettono varie operatività, quali trasporto, posizionamento e recupero di materiali in zone non altrimenti raggiungibili.

principali Categorie e Tipi di

ATTREZZATURE PER MOVIMENTAZIONE

Trattasi di attrezzature idonee alla movimentazione dei materiali utilizzati nell'ambito cantiere, sia di uso manuale sia motorizzate che in abbinamento a queste.

Leve

Utilizzate durante le fasi di pulizia e disaggio, nonché per piccole movimentazioni manuali di materiali pesanti e/o ingombranti.



Operazioni di disaggio in parete mediante leva (Foto R.Ferrari).



Gli zappini sono utensili molto utili ma poco conosciuti (Foto R.Ferrari).

Zappini

Utilizzati per smistamento e movimentazione veloce di tronchi.

Gira-tronchi

Utilizzati per movimentazione di tronchi, specialmente durante le fasi costruttive.



Modello di gira-tronchi con manici in legno (Foto R.Ferrari).



Modello manuale di pinze solleva-tronchi (Foto R.Ferrari).

Pinze solleva-tronchi

Utilizzate per piccoli spostamenti manuali di tronchi.

Corde

Utilizzate in modo molto vario in molteplici situazioni, anche di piccola emergenza.



Tipi e diametri delle corde devono essere idonei agli utilizzi, ma i nodi sono altrettanto importanti sia per la funzionalità sia per la sicurezza (Foto R.Ferrari).



Catene e ganci in ferro (Foto R.Ferrari).

Braghe, catene, ganci

Utilizzati quale collegamento alle prese di forza nella movimentazione di materiali pesanti e/o ingombranti.

Argani

Utilizzati per modeste movimentazioni di materiali pesanti e/o ingombranti.



Posizionamento di argano a motore alla sommità dell'intervento (Foto R.Ferrari).



Teleferica mobile (Foto R.Ferrari).

Teleferiche

Utilizzate per grandi movimentazioni di quantità elevate di materiali pesanti ed ingombranti in situazioni morfologiche particolari, dove risulta non vantaggiosa la scelta del trasporto a mezzo elicottero.

principali Categorie e Tipi di

ATTREZZATURE PER SCAVO

Trattasi di attrezzature idonee allo scavo ed al movimento terra nell'ambito cantiere, sia manuali sia motorizzate.

Pale e Picconi

Utilizzati in modo continuo, indispensabili in qualsiasi situazione.



Pala e piccone (Foto R.Ferrari).

Macchine movimento terra

Categoria molto eterogenea relativamente ai tipi, agli utilizzi, alle dimensioni. Indispensabili in tutti i cantieri per molti tipi di lavorazioni, non solo relative agli scavi ma anche per piccoli spostamenti di materiali pesanti e/o ingombranti e per assistenza in varie fasi operative.

Pale meccaniche

Utilizzate soprattutto per movimentazione di grandi quantità di materiali su vaste superfici piane, non compatibili generalmente con le caratteristiche morfologiche dei siti di intervento.



Pala meccanica (Foto R.Ferrari).

Scavatori meccanici

Utilizzati in modo primario per attività di scavo, ma adattabilissimi a molte operazioni anche apparentemente delicate relative a varie fasi operative (scavo, riempimento, rimodellamento, smistamento, movimentazione attrezzature, movimentazione materiali, posizionamento elementi strutturali, infissione elementi strutturali, prelievo materiale vegetale vivo).



Mini scavatore meccanico cingolato adibito al prelievo di cespi di PHRAGMITES AUSTRALIS (Foto R.Ferrari).



Scavatore meccanico gommato adibito a ricoprimento di Copertura diffusa con terreno vegetale (Foto R.Ferrari).



Scavatore meccanico cingolato adibito a trasporto e posizionamento di tondame di grosso diametro in Briglia viva in legname e pietrame (Foto R.Ferrari).

Terne

Utilizzate in modo primario per attività di scavo, ma adattabilissime a molte operazioni anche apparentemente delicate relative a varie fasi operative (scavo, riempimento, rimodellamento, smistamento, movimentazione attrezzature, movimentazione materiali, posizionamento elementi strutturali, infissione elementi strutturali, prelievo materiale vegetale vivo). Rispetto al gruppo degli

scavatori meccanici presentano una notevole mobilità che consente maggiore operatività.



Terna adibita a preparazione della sede di posa di Grata viva semplice di versante (Foto R.Ferrari).



Terna adibita a trasporto di materiale vegetale vivo (talee s.l.) (Foto R.Ferrari).

Ragni meccanici

Utilizzati esclusivamente in situazioni di acclività estrema, con caratteristiche e compiti operativi simili ai precedenti tipi.



Ragno meccanico adibito a preparazione della sede di posa di Palizzata viva (Foto R.Ferrari).



Benne di diverse larghezze (Foto R.Ferrari).

Tipi di Benne

Utilizzate in vari tipi e dimensioni a seconda delle lavorazioni da eseguire.

principali Categorie e Tipi di ATTREZZATURE PER TAGLIO

Trattasi di attrezzature sia manuali che motorizzate atte al taglio dei materiali utilizzati.

Coltelli

Categoria molto eterogenea relativamente ai tipi (a lama dritta, a lama curva, ...), agli utilizzi, alle dimensioni. La maneggevolezza e la conformazione permettono tagli ottimali nelle fasi di preparazione del materiale vegetale vivo (talee s.l.). Sono riconoscibili vari tipi spesso con forme e denominazioni caratteristiche a seconda dell'areale regionale di origine



Coltello a lama dritta (Foto R.Ferrari).

Forbici da giardinaggio e Cesoie a manici lunghi

Utilizzate nelle fasi di raccolta, preparazione e manutenzione del materiale vegetale vivo (talee s.l.).



Forbici da giardinaggio comunemente utilizzate nelle fasi di preparazione e manutenzione del materiale vegetale vivo (Foto R.Ferrari).



Cesoie a manici lunghi comunemente utilizzate nelle fasi di raccolta, preparazione e manutenzione del materiale vegetale vivo (talee s.l.) (Foto R.Ferrari).

Tipi di Lama

Utilizzati vari tipi e dimensioni di ricambi specifici.



Lama si ricambio specifica (Foto R.Ferrari).

Seghe

Categoria molto eterogenea relativamente ai tipi (manuali, a motore a scoppio, a motore elettrico, ...), alle dimensioni, agli utilizzi. Utilizzate soprattutto nelle fasi di raccolta, preparazione e manutenzione del materiale vegetale vivo, preparazione di picchetti in parti legnose, preparazione e rifinitura di picchetti e/o chiodi in tondino di ferro, preparazione e sagomatura di tondame di piccolo e grande diametro.



Sega ad arco per legno (Foto R.Ferrari).



Motosega (Foto R.Ferrari).

Tipi di Lama

Utilizzati ricambi specifici di vari tipi e dimensioni.



Lama di ricambio specifica per motosega (Foto R.Ferrari).



Tenaglia (Foto R.Ferrari).

Tenaglie

Utilizzate soprattutto nelle fasi di lavorazione che prevedono l'impiego di fili di ferro. I manici lunghi consentono meno sforzo al taglio ed inoltre possono essere utilizzati in operazioni di legatura dei fili di ferro

principali Categorie e Tipi di

ATTREZZATURE PER PERFORAZIONE

Trattasi di attrezzature idonee alla perforazioni sia dei substrati sia delle componenti strutturali, sia manuali sia motorizzate.

Perforatrici ad aria

Utilizzate per perforazioni in substrati rocciosi.



Perforatrice ad aria manuale (Foto R.Ferrari).



Punte di perforazione specifiche per roccia (Foto R.Ferrari).

Tipi di Punta di perforazione per roccia

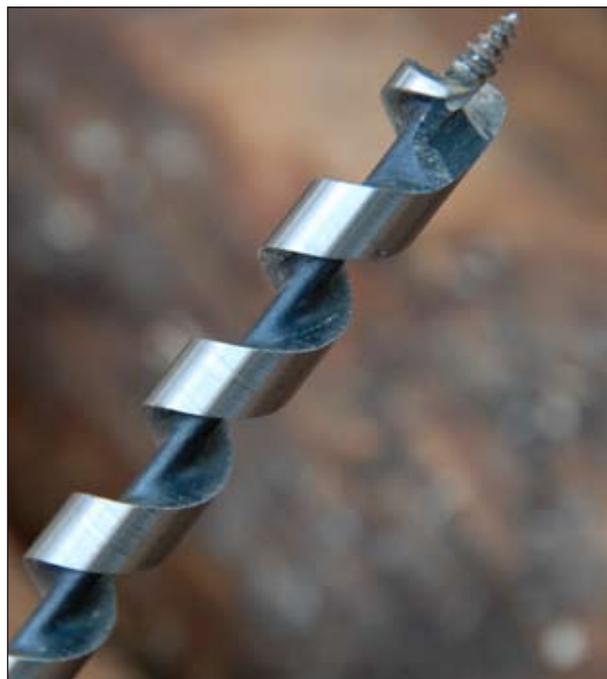
Utilizzati varie tipologie specifiche, di lunghezze e diametri idonei.

Trapani

Categoria molto eterogenea relativamente ai tipi (a motore a scoppio, a motore elettrico, ...), alle dimensioni. Utilizzati soprattutto nelle fasi di assemblaggio di tonde di piccolo e grande diametro.



Trapano elettrico (Foto R.Ferrari).



Punta di perforazione per legno specifica (Foto R.Ferrari).

Tipi di Punta di perforazione per legno

Utilizzati vari tipi specifici, di lunghezze e diametri idonei.

principali Categorie e Tipi di

ATTREZZATURE PER INFISSIONE

Trattasi di attrezzature idonee all'infissione di elementi costruttivi sia nei substrati sia nelle componenti strutturali, sia manuali sia motorizzate.

Mazze

Utilizzate per tutti i tipi di infissioni manuali a percussione.



Mazze. Mazzetta manico corto (1,5 kg) e mazza manico lungo (5 kg) (Foto R.Ferrari).



Testa battipalo applicata a scavatore meccanico gommato adibito ad infissione di tondame di grosso diametro in Repellente vivo di ramaglia a strati su sponda di canale (Foto R.Ferrari).

Battipali

Utilizzati nelle fasi di infissione nei substrati di tondame di grande diametro. Molto spesso dotati di dispositivo per la presa ed il posizionamento del tronco.

principali Categorie e Tipi di

ATTREZZATURE PER SUPPORTO

Trattasi di attrezzature indispensabili per la funzionalità di alcuni utensili, quali fornitrice o trasportatrici delle energie necessarie.

Generatori elettrici, Cavi elettrici, Raccordi elettrici

Utilizzo obbligato con utensili che richiedono energia elettrica, dove questa non è altrimenti reperibile. Disponibili di varie dimensioni e potenze.



Generatore elettrico portatile di piccole dimensioni di potenza sufficiente per un'attrezzatura di base (Foto R.Ferrari).

Compressori d'aria, Tubazioni flessibili per aria, Raccordi pneumatici

Utilizzo obbligato con utensili che richiedono circolazione di aria in pressione. Disponibili di varie dimensioni e potenze.



Compressore d'aria portatile di medie dimensioni (Foto R.Ferrari).



Serbatoio per carburante di grandi dimensioni elitrasportabile (Foto R.Ferrari).



Le tubazioni flessibili per aria consentono un notevole raggio d'azione anche in condizioni estreme (Foto R.Ferrari).

Contenitori per liquidi

Utilizzati quali serbatoi per carburanti, olii e lubrificanti.

principali Categorie e Tipi di

ATTREZZATURE PARTICOLARI

Trattasi di attrezzature specifiche per utilizzi particolari.

Idrosemiatrici

Utilizzo specifico per idrosemine.



Idroseminatrice montata su carro rimorchio (Foto R.Ferrari)..



Scorteccia-tronchi manuale (Foto R.Ferrari).

Scorteccia-tronchi

Utilizzo specifico per scortecciamento manuale. Di utilizzo limitatissimo, quasi esclusivamente per scopi didattici e dimostrativi

Calotte metalliche di protezione testa palo

Utilizzo specifico quale protezione testa palo durante operazioni di infissione a percussione.



Calotta metallica di protezione testa palo posizionata su tronco di grande diametro (Foto R.Ferrari).



Leva tendi-rete adibita a chiusura di gabbioni in rete metallica (Foto R.Ferrari).

Leve tendi-reti

Utilizzo specifico nelle operazioni di chiusura di gabbioni in rete metallica e di tesatura di reti metalliche.

Botti per acqua

Utilizzo specifico nelle operazioni di manutenzione ordinaria e straordinaria.



Botte per acqua montata su autocarro pesante adibita ad irrigazione in intervento di manutenzione (Foto R.Ferrari).

principali Categorie e Tipi di

ATTREZZATURE PER MANUTENZIONE

Trattasi di utensili per la manutenzione ordinaria delle attrezzature in uso cantiere.

Cassette attrezzi

Utilizzo nelle operazioni di manutenzione e prima emergenza relativamente alle attrezzature in corso di impiego, devono comprendere tutti gli utensili e ricambi idonei per piccole riparazioni in cantiere.

principali Categorie e Tipi di

ATTREZZATURE PER SICUREZZA INDIVIDUALE

Trattasi di attrezzatura individuale per la sicurezza generica, anche se molte attrezzature prevedono e richiedono un'attrezzatura di protezione individuale specifica.

APPROFONDIMENTI BIBLIOGRAFICI

FERRARI R., 2006 – *Quaderni di cantiere, Vol. 1-12*. Regione Lazio - Assessorato all'Ambiente e Cooperazione tra i Popoli - Direzione Ambiente e Cooperazione tra i Popoli - Area Difesa del Suolo, Novembre 2006, Regione Lazio, Roma.

FERRARI R., 2008 – *Quaderni di cantiere, Vol. 13-18*. Regione Lazio - Assessorato all'Ambiente e Cooperazione tra i Popoli - Direzione Ambiente e Cooperazione tra i Popoli - Area Difesa del Suolo, Gennaio 2008, Regione Lazio, Roma.

ERRORI IN FASE REALIZZATIVA

Da quasi quindici anni ormai l'Ingegneria Naturalistica è conosciuta ed applicata in Italia come valida alternativa agli interventi tradizionali nella risoluzione di molteplici situazioni derivanti da problemi di dissesto del territorio.

Fermi restando i limiti di questa disciplina i risultati ottenuti vanno ben al di là del "solo" consolidamento del suolo, innescando processi di rinaturalizzazione, creando biodiversità, contribuendo alla formazione di corridoi ecologici.

Tutto ciò ha portato, in questo breve intervallo temporale, ad una grande ma soprattutto veloce utilizzazione delle tecniche proprie di questa disciplina: gli interventi sul territorio nazionale sono oramai innumerevoli e coprono tutti gli ambienti e tutti gli ambiti in cui possono essere applicate le molteplici tipologie di cui la disciplina stessa si avvale.

Sebbene questo successo così grande e rapido, sia a livello di pensiero che di applicazione, e forse causa stessa, molte delle opere e degli interventi eseguiti non risultano essere esenti da errori molto spesso determinanti per il raggiungimento dell'obiettivo prefissato.

Nonostante l'ormai grande diffusione di manuali, linee guida, articoli, convegni ed addirittura corsi specifici sull'argomento, molti interventi risultano privi dei requisiti basilari per poter essere classificati come interventi di Ingegneria Naturalistica: le piante, peculiarità che contraddistingue e caratterizza questa disciplina dalle tecniche tradizionali, sono spesso del tutto assenti o secche o di specie non idonee; le strutture molte volte non risultano costruite seguendo le sperimentate metodologie che ne garantiscono la stabilità e la funzione; i materiali vengono talvolta utilizzati in modo improprio o non corretto.

La idonea esecuzione di un'opera o di un intervento di Ingegneria Naturalistica si avvale di alcune, per altro semplici, regole imprescindibili, che però, se non correttamente osservate, ne determinano l'insuccesso.

Considerando qui il progetto relativo rispondente ai requisiti richiesti dall'Ingegneria Naturalistica - gli errori progettuali non sono oggetto di queste note - di seguito vengono riportati alcuni casi tra i più comuni riscontrabili frequentemente sia durante la fase di cantiere, sia, purtroppo spesso, a lavori ultimati e quasi tutti per altro riconducibili ad una mancanza di conoscenza di base e ad una superficiale pianificazione.

ERRORI DERIVANTI DALLA NON CORRETTA GESTIONE DEL SITO DI INTERVENTO

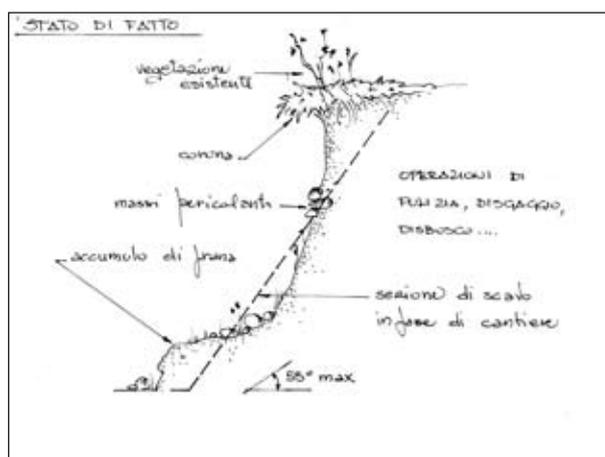
La gestione del sito d'intervento all'inizio, durante ed alla fine dei lavori, è di fondamentale importanza per l'evoluzione morfologica e di conseguenza biologica che il sito stesso avrà nel tempo.

“Scoronamento” sommitale

La zona sommitale della nicchia, detta *corona*, è fonte continua di erosione e conseguente arretramento ed ampliamento del dissesto. La mancata, parziale o comunque incompleta asportazione di detta zona (viene realizzata mediante scavo ed abbattimento della pendenza) non solo non blocca il fenomeno in atto consentendo all'erosione di avanzare, ma mette a rischio la validità dell'intervento a valle.



Lo “scoronamento” sommitale è spesso trascurato o evitato (Grata viva di versante, in opera) (Foto R.Ferrari).



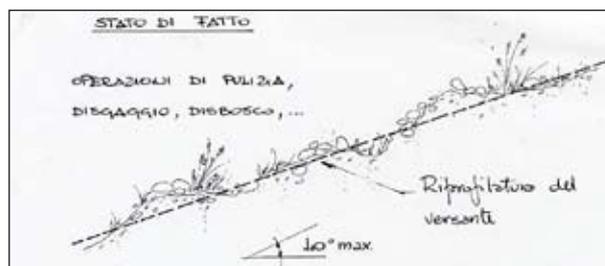
“Scoronamento” sommitale (Disegno E.Ferrari).

Adeguamento delle superfici e delle inclinazioni

La superficie oggetto dell'intervento deve essere regolarizzata, per quanto possibile, livellando i dislivelli negativi e positivi ed asportando eventuali massi sporgenti e pericolanti (disgaggio e bonifica), mantenendo o realizzando inclinazioni compatibili con le tipologie da eseguire. Se ciò non viene osservato vengono vanificati i vantaggi sia delle tipologie stesse sia dei materiali, in quanto vengono a crearsi o si mantengono situazioni favorevoli all'erosione.



L'adeguamento delle superfici e delle inclinazioni è spesso trascurato o evitato (Palizzata viva, ante operam) (Foto R.Ferrari).



Adeguamento delle superfici e delle inclinazioni (Disegno E.Ferrari).

Raccordo tra opera e substrato

Le opere, di qualsiasi tipo, necessitano di un raccordo al substrato. Ciò può essere realizzato mediante il proseguimento delle estremità della struttura stessa per una certa profondità nel versante o, soprattutto, nella sponda; sempre consigliabile comunque l'utilizzo di elementi naturali (massi, tronchi, zolle) a disposizione in loco. La mancata esecuzione di raccordi comporta iniziali infiltrazioni ai margini delle singole opere che procedono in modo invasivo sino allo svuotamento e smembramento totale delle stesse.



Mancata esecuzione di un adeguato raccordo tra opera e substrato e scarsa aderenza dei materiali utilizzati alla superficie morfologica: l'erosione è già in atto (Rivestimento vegetativo in rete metallica zincata e biostuoia s.l., post operam) (Foto R.Ferrari).



Mancata esecuzione di un adeguato raccordo tra opera e substrato: l'erosione crea scorrimenti preferenziali (Terra rinforzata rinverditata di versante, post operam) (Foto R.Ferrari).



Mancata esecuzione di un adeguato raccordo tra opera e substrato: l'erosione crea scorrimenti preferenziali che tendono a svuotare la struttura (Terra rinforzata rinverditata di versante, post operam) (Foto R.Ferrari).

Realizzazione di adeguato drenaggio

Un idoneo sistema di drenaggio sia superficiale che, se necessario, profondo, garantisce la stabilità dei terreni interessati dall'intervento. Tali drenaggi possono essere realizzati mediante sistemi tradizionali od anche, in taluni casi, mediante tipologie proprie dell'Ingegneria Naturalistica. Al di là delle metodologie utilizzate, se le acque meteoriche e/o vadosi non vengono intercettate ed allontanate dal sito, questo rimane a rischio unitamente alla stabilità e funzionalità delle opere stesse.



Mancata esecuzione di un adeguato drenaggio alla sommità dell'intervento tra opera e substrato: l'erosione crea scorrimenti preferenziali che tendono a svuotare la struttura (Grata viva di versante, post operam) (Foto R.Ferrari).

Manutenzione

Subito dopo la fine dei lavori, ma talvolta anche durante gli stessi, è necessario prevedere alcuni fondamentali interventi di manutenzione riguardanti soprattutto la componente “viva” dell'intervento quali, tra gli altri, irrigazione (puntuale, di soccorso, permanente), falciatura, eliminazione di specie infestanti, potatura, sfoltimento, sostituzione delle fallanze, nonché eventuali apporti di terreno e ripristini delle strutture. A tutti gli effetti la manutenzione viene raramente contemplata ed ancor più raramente effettuata o, se ciò avviene, lo è in modo insufficiente e superficiale se non addirittura in modo completamente errato (manutenzione delle infrastrutture e non degli interventi di Ingegneria Naturalistica preposti alla loro protezione, che vengono addirittura penalizzati) cosicché si assiste, per esempio, a diserbamenti chimici generalizzati e potature fuori stagione e/o con mezzi non idonei che danneggiano in modo spesso irreversibile le specie utilizzate.



Inadeguato intervento manutentorio di potatura effettuato con mezzi meccanici non idonei che ha intaccato la struttura lignea e danneggiato irreparabilmente la componente vegetale viva (Palificata viva doppia di versante, post operam) (Foto R.Ferrari).



Inadeguato intervento manutentorio di sfalcatura effettuato con mezzi meccanici non idonei che rischia di compromettere l'efficacia strutturale dell'intervento (Rivestimento vegetativo in rete metallica zincata e biostuoia s.l., post operam) (Foto R.Ferrari).

ERRORI DERIVANTI DAL NON CORRETTO UTILIZZO DI MATERIALE NATURALE VIVO

Essendo la pianta l'elemento che contraddistingue un intervento di Ingegneria Naturalistica da uno tradizionale, se questa non viene inserita come parte strutturale delle opere o non si sviluppa nei modi dovuti o muore, l'intervento non è ascrivibile in questa categoria.

Paradossalmente sono proprio queste le principali cause di insuccesso negli interventi a basso impatto: la "novità" rappresentata dal materiale vivo unitamente ad una scarsa conoscenza delle sue esigenze ne determinano spesso un errato utilizzo.

Semi, miscele di sementi

I semi di specie erbacee ed arbustive vengono utilizzati mediante spargimento manuale o per mezzo di idrosemina, sia direttamente sul terreno che su vari supporti naturali o sintetici. Gli insuccessi più frequenti derivano soprattutto dall'utilizzo in stagioni o periodi non idonei, di specie non autoctone o di provenienza molto diversa dal luogo di impiego, di specie non previste in progetto e quindi non idonee, in quantità non sufficiente relativamente alla superficie d'intervento, di miscele scadute e, relativamente all'idrosemina, di apparecchiature non specifiche.

Specie vegetali con capacità di propagazione vegetativa

Le talee sono parti di specie con alta capacità di propagazione vegetativa; possono essere impiegate singolarmente o inserite in strutture di origine naturale o sintetica e queste differenti utilizzazioni ne caratterizzano le dimensioni e le quantità. Senza considerare la causa prima di insuccesso dovuta alla assoluta mancanza di utilizzo di materiale vivo (fatto purtroppo comunissimo), il primo rischio di errore, peraltro determinante, è rappresentato dall'utilizzo di specie non aventi la capacità di ripresa vegetativa ma, al di là di ciò, le talee sono drasticamente sensibili al periodo (riposo vegetativo) di manipolazione (prelievo, eventuale stoccaggio, messa a dimora) e da questa caratteristica derivano i più frequenti casi di insuccesso; altri fattori di grande rischio sono rappresentati dal taglio eseguito non in modo netto, dal non rispetto della polarità (verso di crescita) al momento della posa, dalle dimensioni minime (diametro, lunghezza) non sufficienti, da inserimenti traumatici, da porzioni troppo sporgenti fuori terra, da stress di stoccaggio (disidratazione, gelo). Rimane sempre evidente l'errore di utilizzare specie non autoctone o non previste in progetto.



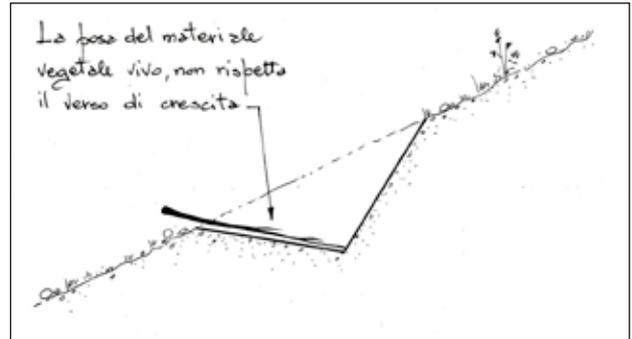
Totale assenza della componente vegetale viva ed inadeguata inclinazione della parete esterna, prossima alla verticale: non può essere considerato un intervento di Ingegneria Naturalistica (Palificata ?viva doppia di versante, post operam) (Foto R.Ferrari).



Utilizzo di specie vegetali non aventi capacità di ripresa vegetativa (Gabbionata in rete metallica zincata ?rinverdita, post operam) (Foto R.Ferrari).



Talea di *SALIX ELEAGNOS* traumatizzata irrimediabilmente in fase di inserimento (in opera) (Foto R.Ferrari).



Posa non rispettosa del verso di crescita del materiale vegetale vivo (Disegno E.Ferrari).

Specie arbustive ed arboree

Possono venir utilizzate piante a radice nuda in zolla od in fitocella a seconda della necessità o più spesso della reperibilità. Gli errori sono dovuti principalmente alla scelta delle specie (non autoctone, non idonee alla stazione, non rispondenti al tipo di stabilizzazione richiesta), al periodo di manipolazione, alla mancanza di manutenzione (irrigazione, protezione anti-fauna).

ERRORI DERIVANTI DAL NON CORRETTO UTILIZZO DI MATERIALE NATURALE MORTO

Il materiale naturale morto utilizzato in Ingegneria Naturalistica può avere funzione protettiva (biostuoie s.s.) o strutturale (legname).

Biofeltri, biostuoie, bioreti

A seconda del materiale d'origine (paglia, juta, cocco, miste) hanno diversa durabilità e ciò implica utilizzazioni diverse a seconda del tipo di dissesto e dell'obiettivo preposto. A questo si unisce una grandissima varietà per quanto riguarda la tessitura, le dimensioni della maglia e la grammatura che nei casi limite influiscono negativamente sia sull'azione protettiva al substrato sia sulla possibilità di sviluppo delle specie vegetali. Possibili errori derivano quindi dal tipo adoperato considerando oltretutto

che sul mercato esistono innumerevoli possibilità con classificazioni non standardizzate: è molto facile quindi generare equivoci tra le indicazioni di progetto e la realtà operativa. Altro fattore di rischio è dato dalle modalità di posa: questi materiali spesso non risultano ben fissati né tra i loro componenti né al substrato (che deve essere preventivamente regolato) permettendo il formarsi di zone di vuoti dove l'erosione continua il suo processo e le componenti vegetali non riescono ad attecchire.

Legname

L'uso di tronchi per la costruzione di strutture pesanti (grata viva, palificata viva s.s., ...) è molto frequente. Inoltre elementi di dimensioni minori sono molto utilizzati quali supporti a strutture stabilizzanti (viminata viva, fascinata viva, cordonata, palizzata viva, ...) o quale elemento di picchettatura in genere. Anche se si tratta di materiali morti una scelta errata delle specie impiegate, come l'uso di legni "teneri" o "dolci" quali per esempio Abete e Pioppo, porta a conseguenze negative relativamente alla stabilità e durata dell'opera; talvolta anche l'utilizzo di specie con caratteristiche apparentemente adatte quale per esempio la Robinia, può portare a conseguenze inaspettate quando il legno non è stagionato bensì appena tagliato, con conseguente emissione di rami e radici. Gli errori classici e purtroppo frequentissimi riscontrabili in queste tipologie restano comunque legati alle dimensioni (diametro, lunghezza) degli elementi nonché soprattutto alle modalità di assemblaggio degli stessi, non sempre corrispondenti alle indicazioni fornite da manuali e linee guida.



Chiodatura effettuata senza trapanazione (Palificata viva doppia, post operam) (Foto R.Ferrari).



Errata sovrapposizione di tronchi trasversali e relative chiodature nella zona di contatto tra due tronchi longitudinali (correnti), peraltro privi di incastro, e relative chiodature; inoltre errata sovrapposizione di tronchi trasversali senza sfalsatura rispetto a quelli degli ordini precedenti ed inadeguata inclinazione (prossima alla verticale) della parete esterna (Palificata viva doppia, post operam) (Foto R.Ferrari).



Chiodatura assolutamente inadeguata sia tipologicamente sia dimensionalmente (Palificata viva doppia, post operam) (Foto R.Ferrari).

ERRORI DERIVANTI DAL NON CORRETTO UTILIZZO DI MATERIALE INERTE

Gli inerti naturali sono largamente utilizzati per il riempimento delle strutture e/o a protezione delle stesse.

Terreno vegetale

E' indispensabile per integrare, arricchire o ricoprire substrati sterili o a granulometria non compatibile alle necessità vitali delle piante. Il costo elevato del terreno vegetale unitamente all'energia necessaria per la posa molto spesso ne limitano l'utilizzo determinando situazioni critiche: ghiaioni, detriti di falda, riporti sterili semplicemente ricoperti con biostuoie sono errori frequentissimi. Molto spesso "dimenticato" è anche uno spessore di terreno vegetale tra il paramento esterno di terre rinforzate ed il materiale di riempimento vero proprio oppure, quando c'è, non è sufficientemente compattato: nel primo caso irreparabilmente penalizzata risulta la componente vegetale, mentre nel secondo è la struttura a risentirne gli effetti.



Mancanza di un adeguato strato di terreno vegetale tra il substrato sterile (detrito di falda) e l'intervento: la vegetazione è, naturalmente, del tutto assente (Rivestimento vegetativo in biofeltro di paglia e cocco, post operam) (Foto R.Ferrari).

Materiale di riempimento

Non devono essere assolutamente utilizzati materiali con scadenti caratteristiche geotecniche:

spesso vengono usati gli stessi materiali collassati o ad alta percentuale argillosa. Anche in questo caso fattori prettamente economici giocano un ruolo decisivo nell'utilizzazione di materiali più consoni o per migliorare quelli disponibili.



Effetti dovuti a riempimento con materiale inerte di riporto con caratteristiche geotecniche non rispondenti alla necessità, nonché fondamentale errore di sovrastima nella scelta del materiale vegetale vivo utilizzato (idrosemina) (Grata viva doppia di versante, post operam) (Foto R.Ferrari).



Parziale svuotamento del materiale di riempimento sottodimensionato relativamente alle dimensioni dell'intervento e delle energie agenti (Palificata viva doppia spondale, post operam) (Foto R.Ferrari).

Massi

Questi inerti vengono generalmente utilizzati in sistemazioni spondali, sia sciolti sia legati da funi di acciaio a costituire una struttura elastica. I più comuni errori sono rappresentati dalle inadeguate dimensioni dei singoli elementi (non idonee a contrastare le forze presenti), ai metodi di legatura (\emptyset fune, tipo e dimensione dei chiodi ad occhiello, disposizione non lineare della fune) ma soprattutto alla posa dei singoli massi (senza affogamento di parte dell'elemento nell'alveo). Tutti questi fattori negativi portano, anche singolarmente, al disarticolamento ed allo scalzamento della struttura.



Legatura a zig-zag di massi: non ne è garantita la reciproca stabilità (Scogliera rinverdita, post operam) (Foto R. Ferrari)



Posa di massi senza loro parziale affogatura nell'alveo: l'acqua ha già approfondito ed intaccato il piano di appoggio (Scogliera rinverdita, post operam) (Foto R.Ferrari).

ERRORI DERIVANTI DAL NON CORRETTO UTILIZZO DI MATERIALE TRADIZIONALE E SINTETICO

In linea di massima vale quanto visto relativamente ai materiali naturali morti ma, a differenza di quelli, biodegradabili nel tempo, i materiali tradizionali e sintetici sono molto duraturi e, a fronte di lavorazioni effettuate con poca cura o non correttamente (non aderenza al substrato, insufficiente chiodatura, mancanza di terreno vegetale, insufficiente compattazione del materiale di riempimento, . . .), gli elementi portanti e strutturali risultano visibili in assoluta predominanza su una vegetazione stentata o, più spesso, del tutto assente.



Scelta dei materiali non ottimale in relazione allo sviluppo della componente vegetale viva (Terra rinforzata ?rinverdita, post operam) (Foto R.Ferrari).

ERRORI COMUNI NELLA REALIZZAZIONE GENERALE

Esistono inoltre alcune situazioni d'errore che accomunano gli interventi, spesso riscontrabili in moltissime situazioni.

Mancato sincronismo costruttivo tra struttura e componente vegetale viva

Un errore grossolano e molto frequente, quasi un "vizio" non giustificato neanche dal problema stagionale, è quello di costruire la struttura (riempimento compreso) e rimandare l'inserimento delle talee. Questo modo d'intervenire non solo è antieconomico, ma soprattutto non raggiunge l'obiettivo tecnico preposto. L'inserimento o posa della componente vegetale viva va assolutamente sempre eseguito contestualmente alle altre operazioni di costruzione.



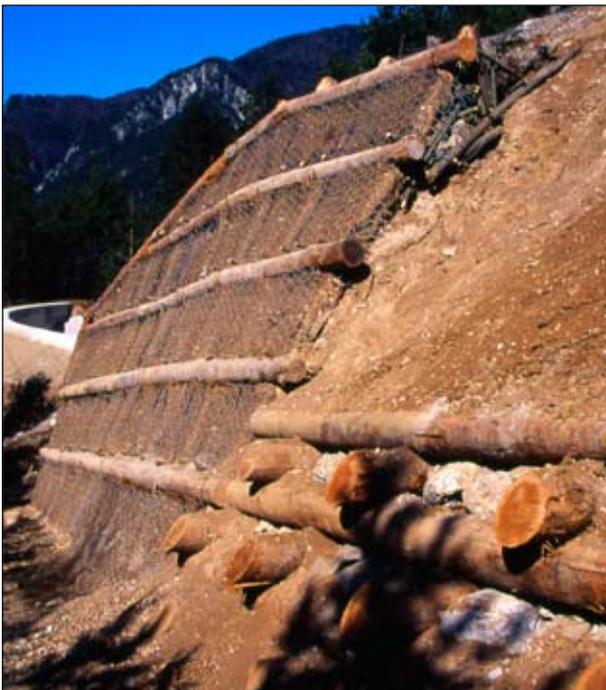
Mancato sincronismo costruttivo tra struttura, riempimento e componente vegetale viva (Palificata ?viva doppia, in opera) (Foto R.Ferrari).



Mancato sincronismo costruttivo tra struttura e componente vegetale viva o totale "dimenticanza di quest'ultimo? (Palificata ?viva doppia spondale, in opera) (Foto R.Ferrari).

Variazioni costruttive

Il dimensionamento e le proporzioni relative di alcune tipologie (grata viva, palificata viva s.s., ...) non possono essere variate oltre certi limiti: altezza, profondità, inclinazione non devono mai superare i valori prescritti. Questo purtroppo avviene di frequente, mutando le caratteristiche di stabilità e di funzionalità delle strutture nonché inibendo le potenzialità di attecchimento e successiva crescita della componente vegetale viva.



Inclinazione molto superiore agli standard della tipologia, mancato adeguato raccordo tra struttura e substrato, totale mancanza della componente vegetale viva: un destino segnato (Grata ?viva semplice, post operam) (Foto R.Ferrari).

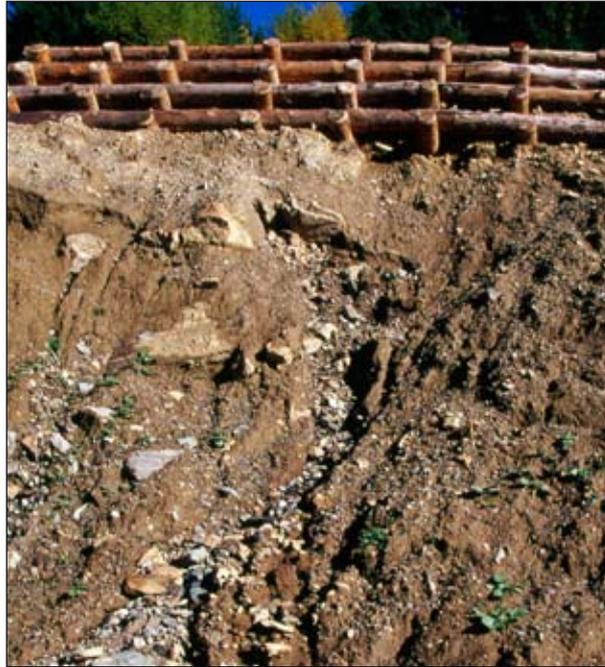


Inclinazione e rapporto altezza/profondità molto superiori agli standard della tipologia, mancato adeguato raccordo tra struttura e substrato, totale mancanza della componente vegetale viva: a rischio la stabilità totale dell'intervento a monte (Palificata ?viva doppia, post operam) (Foto R.Ferrari).

Posizionamento delle opere

Molto evidente la necessità, non sempre rispettata, dell'esatta ubicazione delle opere rispetto alla

situazione fisica del sito. Relativamente agli ambiti acquatici che presentano evidenti dinamismi nei livelli è indispensabile determinare il livello medio dell'acqua: materiali vegetali vivi sottoposti a prolungata immersione non sopravvivono e di conseguenza viene a mancare il loro contributo consolidante nel tempo.



Ubicazione della tipologia non compatibile con le caratteristiche fisiche del sito e totale mancanza della componente vegetale viva (Palificata ?viva doppia di versante, post operam) (Foto R.Ferrari).

Regolarità e geometrismo

Soprattutto la parte viva (piante o parti di esse) ma anche talune tipologie e strutture minori, non devono mai essere ubicate con regolarità a formare filari od aiuole, ma al contrario sistemate con disposizione casuale, disordinata ad imitare il più possibile una situazione naturale. Di tutti gli errori visti e non, questo è certamente quello meno grave che non comporta assolutamente pericoli alle strutture, non limita l'azione consolidante delle piante né compromette lo sviluppo delle stesse, ma il danno è limitato ad un disturbo alla sensibilità estetica.



Un inutile virtuosismo: sarebbe stato molto meglio un'ideale posa di materiale vegetale vivo nelle palificate (Infissione di talee e Palificata ?viva doppia di versante, post operam) (Foto R.Ferrari).

Gli errori in cui si può incappare durante la realizzazione di un intervento di Ingegneria Naturalistica sono davvero tanti, ma analizzando il problema ci si rende conto che sono dovuti esclusivamente alla poca conoscenza della materia.

Naturalmente il fatto che questi interventi richiedano conoscenze ed esperienze in diversi campi talora poco conosciuti, aumenta la possibilità di errore, ma con un minimo di disponibilità e di apertura verso questi nuovi temi i successi non possono mancare. A conferma di ciò basti un'attenta osservazione di ciò che è stato realizzato sul territorio nazionale in neanche quindici anni: addirittura sistemazioni spondali tradizionali in calcestruzzo demolite e sostituite con opere di Ingegneria Naturalistica.

In fin dei conti si tratta di osservare semplici regole naturali, spesso addirittura istintive, e sostituire la fredda abitudine alle cose conosciute con un po' di quella sensibilità che gli organismi vivi richiedono, credendo soprattutto in ciò che si fa.

Errare humanum est, perseverare diabolicum!

NON E' INGEGNERIA NATURALISTICA

La definizione e le finalità dell'Ingegneria Naturalistica devono essere sempre considerate quando si è in presenza di un intervento sul territorio o nell'eventualità di apprestarsi ad una progettazione o ad una realizzazione.

La caratteristica fondamentale - **utilizzo di materiale vegetale vivo autoctono** - e l'obiettivo - **risolvere problemi legati ad erosioni e stabilizzazioni dei substrati** - devono essere sempre considerati quali discriminanti per poter a buon titolo considerare un intervento come Ingegneria Naturalistica.

Da questa considerazione è possibile affermare che il mancato od errato utilizzo di materiale vegetale vivo autoctono è in assoluto l'errore più grave, tale da escludere la possibilità di considerare un intervento come Ingegneria Naturalistica.

Tutti gli altri errori possono essere catalogati in una scala di valori di gravità e comunque non inficiano sulla catalogazione dell'intervento.

Nella realtà, purtroppo, questo concetto non è molto capito.

In moltissimi casi la componente vegetale viva è completamente assente dall'inizio, in quanto materiale sconosciuto, e/o considerata inutile, antieconomica e di difficile gestione durante le fasi di lavorazione e di manutenzione.

In altri moltissimi casi, sebbene la componente vegetale viva venga utilizzata, errori fondamentali nella scelta delle specie e/o di gestione in fase realizzativa portano al mancato sviluppo delle piante stesse.

In entrambi i casi l'intervento risulta non "vivo" e come tale la sua efficacia non potrà svilupparsi nel tempo, subendo anzi un degrado che intaccherà dapprima le strutture e poi i substrati, riportando il sito alle condizioni di esposizione alle erosioni ed ai dissesti iniziali.

Il considerare come Ingegneria Naturalistica qualsiasi intervento che non utilizzi cementi

e/o calcestruzzi è un rischio totalmente fuorviante ed altamente pericoloso: una struttura esclusivamente in legname e pietrame è destinata ad un deperimento relativamente veloce e, sebbene inizialmente esteticamente di gran lunga migliore di una analoga in materiali tradizionali, può rappresentare solamente una fase di sistemazione provvisoria destinata a divenire potenzialmente pericolosa nel tempo.

Purtroppo questo rischio è altissimo e basta osservare gli interventi che esistono sul territorio per rendersene conto: si tratta di ignoranza o pigrizia?



Realizzazione con materiale vegetale morto e comunque senza gli accorgimenti particolari propri della versione "viva", Luglio 1998 (Viminata s.l., post operam) (Foto R.Ferrari).



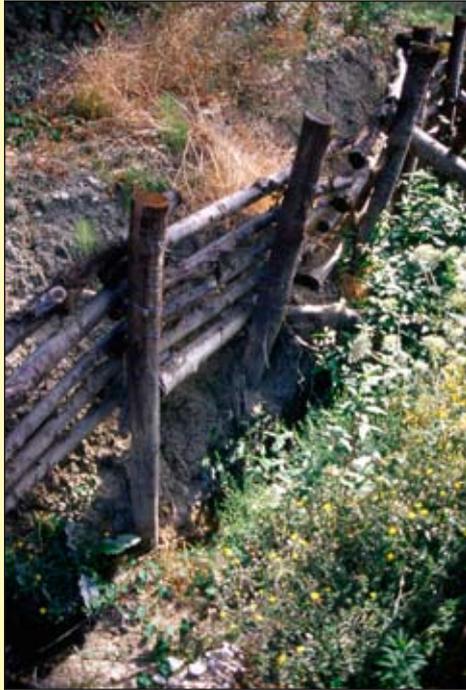
Realizzazione con materiale vegetale morto e comunque senza gli accorgimenti particolari propri della versione "viva", Aprile 2003: la struttura presenta notevoli cedimenti ed il contesto geomorfologico del sito presenta un'avanzata dei fenomeni di dissesto (Viminata s.l., post operam) (Foto R.Ferrari).



Realizzazione con materiale vegetale morto e comunque senza gli accorgimenti particolari propri della versione "viva", Ottobre 2007: la struttura è in completo stato di degrado (Viminata s.l., post operam) (Foto R.Ferrari).



L'utilizzo di solo legname e pietrame non è sinonimo di Ingegneria Naturalistica (Palificata s.l., post operam) (Foto R.Ferrari).



L'utilizzo di solo legneme non è sinonimo di Ingegneria Naturalistica (Palizzata s.l., post operam) (Foto R.Ferrari).



L'utilizzo di solo legneme non è sinonimo di Ingegneria Naturalistica (Palificata spondale a gradini s.l., post operam) (Foto R.Ferrari).



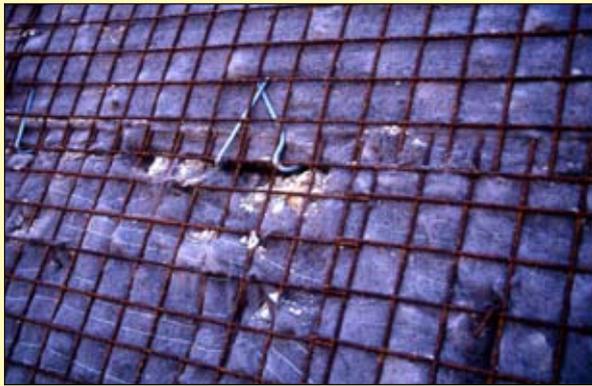
L'utilizzo di solo pietrame non è sinonimo di Ingegneria Naturalistica (Briglia s.l., post operam) (Foto R.Ferrari).



L'utilizzo di soli materiali artificiali non è sinonimo di Ingegneria Naturalistica (Rete s.l., post operam) (Foto R.Ferrari).



Da non confondere interventi e tipologie tradizionali di regimazione idraulica con interventi e tipologie di Ingegneria Naturalistica, anche se le due categorie non si escludono a vicenda (Canale presidiato s.l., post operam) (Foto R.Ferrari).



Non offrire al materiale vegetale vivo substrati e condizioni idonee allo sviluppo equivale, tecnicamente, a non utilizzarlo (Terra rinforzata ?rinverdita, post operam) (Foto R.Ferrari).



Struttura di recinzione al di fuori di ogni definizione e finalità proprie dell'Ingegneria Naturalistica (Palificata s.l., post operam) (Foto R.Ferrari).



Struttura di recinzione al di fuori di ogni definizione e finalità proprie dell'Ingegneria Naturalistica (Palificata s.l., post operam) (Foto R.Ferrari).

Le immagini proposte rappresentano purtroppo quasi la normalità dei casi: la drammaticità consiste però nel fatto che gli artefici di queste realizzazioni – a livello di progetto, di realizzazione, di direzione – sono convinti ed orgogliosi di aver operato nel campo e per l'Ingegneria Naturalistica.

APPROFONDIMENTI BIBLIOGRAFICI

FERRARI R., 2006 – *Quaderni di cantiere, Vol. 1-12*. Regione Lazio - Assessorato all'Ambiente e Cooperazione tra i Popoli - Direzione Ambiente e Cooperazione tra i Popoli - Area Difesa del Suolo, Novembre 2006, Regione Lazio, Roma.

FERRARI R., 2008 – *Quaderni di cantiere, Vol. 13-18*. Regione Lazio - Assessorato all'Ambiente e Cooperazione tra i Popoli - Direzione Ambiente e Cooperazione tra i Popoli - Area Difesa del Suolo, Gennaio 2008, Regione Lazio, Roma.

MANUTENZIONE

La fase operativa non si esaurisce nella realizzazione finale di un intervento di Ingegneria Naturalistica, ma continua nel tempo, tramite la manutenzione, per garantire un adeguato sviluppo della componente vegetale viva anche considerandone i rapporti con la parte strutturale e con il contesto ambientale in cui l'intervento stesso è inserito.

Questo fatto, purtroppo, viene spesso interpretato come un onere aggiuntivo al quale dedicare tempo e denaro, con scarico di responsabilità tra le figure coinvolte: manutenzioni totalmente assenti, superficiali od errate sono causa di insuccessi tanto comuni quanto evitabili.

L'esigenza di adeguate cure è più sentita e necessaria quanto più gli interventi sono inseriti in contesti antropici, mentre interventi inseriti in ambiti più naturali risentono meno della necessità di manutenzioni regolari. Questo non è assolutamente legato a motivi estetici, che non sono priorità dell'Ingegneria Naturalistica, ma dipende da motivi strettamente legati ad un corretto sviluppo della componente vegetale viva in relazione alle capacità biotecniche.

In particolar modo durante il primo anno dalla realizzazione è necessaria una cura attenta e mirata mediante i più comuni interventi di:

- Manutenzione ordinaria (sempre indicata):
 - irrigazioni durante la fase realizzativa
 - irrigazioni alla fine della fase realizzativa
 - potature (durante gli idonei periodi, mediante sistemi non invasivi)
 - sfalciature (durante gli idonei periodi, mediante sistemi non invasivi)



Irrigazione dell'area di intervento ultimata la fase realizzativa, mediante pompaggio da botte (Palificata viva doppia di versante e Grata viva semplice di versante, in opera) (Foto R.Ferrari).



Irrigazione dell'area di intervento ultimata la fase realizzativa, mediante pompaggio diretto dal corso d'acqua (Rullo spondale in fibra di cocco, in opera) (Foto R.Ferrari).



Terna adibita a prelievo e trasporto di acqua per irrigazione durante la fase realizzativa di un intervento (Foto R.Ferrari).



Potatura (Palificata viva spondale con palo verticale frontale, post operam) (Foto R.Ferrari)

- Manutenzione straordinaria (in casi di necessità):
 - ripristini di eventuali locali svuotamenti, assestamenti o dislocazioni gravitative dovuti ad erosioni a seguito di forti precipitazioni e/o correnti
 - ripascimenti di eventuali assestamenti o dislocazioni gravitative dovuti a costipamento naturale
 - sostituzioni di parte del materiale vegetale originariamente vivo che non ha attecchito (relativamente agli astoni questi non possono essere sostituiti con altrettanti risistemati nella posizione utile ed ottimale a contatto con il substrato al retro della struttura, ma devono essere vicariati da talee più corte: questo comporta tempi più lunghi ed una minore efficacia nel consolidamento per opera dell'apparato radicale)
 - eliminazioni di specie infestanti
 - diradamenti

- irrigazioni di soccorso durante periodi particolarmente critici (anche per mezzo di impianti di irrigazione preinstallati)
- ripristini e talvolta sostituzioni di elementi strutturali danneggiati da fenomeni di trasporto solido di dimensioni superiori a quelle usuali



Parziale dislocazione gravitativa a seguito di evento meteorico eccezionale (Gradonata viva, post operam) (Foto R.Ferrari).



Ripristino a seguito di parziale dislocazione gravitativa a seguito di evento meteorico eccezionale (Gradonata viva, post operam) (Foto R.Ferrari).



Ripristino a seguito di parziale dislocazione gravitativa a seguito di evento meteorico eccezionale (Gradonata viva, post operam) (Foto R.Ferrari).



Sostituzione di parte del materiale vegetale originariamente vivo (talee di SALIX spp.) che non ha attecchito (Palificata viva doppia spondale, post operam) (Foto R.Ferrari).



Parziale dislocazione gravitativa a seguito di evento meteorico eccezionale (Gradonata viva, post operam) (Foto R.Ferrari).



Parziale assestamento e svuotamento dovuti a costipamento naturale ed erosione favoriti da uno scarsissimo attecchimento della componente vegetale viva (Terra rinforzata rinverdita, post operam) (Foto R.Ferrari).



Diradamento (Grata viva semplice di versante, post operam) (Foto R.Ferrari).



Irrigazione di soccorso mediante caduta a gravità da autobotte (Viminata viva, post operam) (Foto R.Ferrari).



Impianto di irrigazione di soccorso preinstallato (Palizzata viva, post operam) (Foto R.Ferrari).



Eventi di trasporto solido eccezionali possono danneggiare parte delle strutture (Briglia viva in legname e pietrame, in opera) (Foto R.Ferrari).

Da non sottovalutare o trascurare l'importanza e la validità che interventi di potatura ricoprono nell'approvvigionamento di materiale vegetale vivo idoneo per nuovi interventi, purchè vengano scrupolosamente rispettati e fatti coincidere i periodi ottimali.



Il prelievo di materiale vegetale vivo (*SALIX* spp.) può costituire motivo di manutenzione, e viceversa (Palificata viva spondale con palo verticale frontale, post operam) (Foto R.Ferrari).

APPROFONDIMENTI BIBLIOGRAFICI

FERRARI R., 2006 – *Quaderni di cantiere, Vol. 1-12*. Regione Lazio - Assessorato all'Ambiente e Cooperazione tra i Popoli - Direzione Ambiente e Cooperazione tra i Popoli - Area Difesa del Suolo, Novembre 2006, Regione Lazio, Roma.

FERRARI R., 2008 – *Quaderni di cantiere, Vol. 13-18*. Regione Lazio - Assessorato all'Ambiente e Cooperazione tra i Popoli - Direzione Ambiente e Cooperazione tra i Popoli - Area Difesa del Suolo, Gennaio 2008, Regione Lazio, Roma.

CANTIERI DIDATTICI

I cantieri didattici fanno parte del percorso formativo all'interno di corsi specifici sull'argomento e rappresentano la parte pratica dove la teoria viene applicata in una situazione reale.

Inizialmente, oltre alla formazione dei singoli partecipanti, hanno contribuito in modo fondamentale e decisivo alla conoscenza e diffusione fisica sul territorio dei metodi e delle tipologie classiche dell'Ingegneria Naturalistica, prima di allora sconosciute o ignorate.

Rappresentano tuttora un momento di grande impatto sia dal punto di vista didattico sia da quello psicologico, nel quale vengono esaltati conoscenza, manualità, spirito di gruppo, aggregazione, confronto.



Un piacevole momento di confronto allievi-docente (Palificata viva doppia spondale, in opera) (Foto R.Ferrari).



Uno spensierato momento di aggregazione (Palificata viva doppia spondale, in opera) (Foto R.Ferrari).



Una situazione di emergenza affrontata con spirito di gruppo (Grata viva semplice di versante, in opera) (Foto R.Ferrari).

Storia

- Luglio 1993. Svolgimento del primo cantiere didattico in Italia organizzato dalla Agenzia

Formativa I.A.L. Friuli Venezia Giulia, nell'ambito del corso per operatori "Corso nel settore della manutenzione ambientale con tecniche dell'ingegneria naturalistica" svolto a Barcis (Valcellina, Prealpi Carniche), eseguito mediante la realizzazione di due interventi su versante in località Montelonga (Valcellina, Prealpi Carniche) e Ponte della Stua (Val Settimana, Prealpi Carniche) .



Primi approcci con materiali ed attrezzature nel primo cantiere didattico svolto in Italia (Rivestimento vegetativo in biofeltro di cocco, in opera) (Foto R.Ferrari).

- Ottobre 1993. Svolgimento del primo cantiere didattico organizzato dall'A.I.P.I.N. (Associazione Italiana Per l'Ingegneria Naturalistica), nell'ambito del corso per soci "Corso teorico-pratico di sistemazioni spondali con tecniche di ingegneria naturalistica" svolto a Zurzach (Schweiz), eseguito mediante la realizzazione di alcuni interventi su sponda lungo il Rhein a Zurzach (Schweiz) ed il Birs a Zwingen (Schweiz).



Esperienze a confronto nel primo cantiere didattico organizzato dall'A.I.P.I.N. (Copertura diffusa, in opera) (Foto R.Ferrari).

- Dal 1993 il cantiere didattico di Ingegneria Naturalistica viene inserito regolarmente nei corsi organizzati da enti pubblici (regioni, parchi, scuole), agenzie formative, associazioni culturali, imprese.



Cartello esplicativo (Foto R.Ferrari).



Cartello esplicativo (Foto R.Ferrari).



Cartello esplicativo (Foto R.Ferrari).



Un momento di inusuale impegno fisico per una allieva (Fascinata viva spondale, in opera) (Foto R.Ferrari).



Un momento di diversificazione professionale per un operatore (Grata viva semplice di versante, in opera) (Foto R.Ferrari).

- Gennaio 2004. Realizzazione del primo cantiere didattico di Ingegneria Naturalistica in Nicaragua nell'ambito del corso "1era semana de la ingeniería naturalística: técnicas sostenibles y integradas para la gestión del territorio y el control de la erosión" svolto a León (Nicaragua), organizzato dall'A.U.C.S. (Associazione Universitaria per la Cooperazione e lo Sviluppo) di Viterbo nell'ambito delle attività di cooperazione promosse dalla Regione Toscana, dal Dip.to di Ingegneria agraria e forestale dell'Univ. di Firenze e dal Alcaldía de León (Unidad de Obras Horizontales).



Uno scenario tropicale decisamente insolito (Palificata viva doppia spondale, in opera) (Foto R.Ferrari).



Soddisfazione ed orgoglio non risentono di distanze e confini (Palificata viva doppia spondale, post operam) (Foto R.Ferrari).

- Dal 2004 il cantiere didattico di Ingegneria Naturalistica viene inserito in corsi specifici proposti e realizzati in Nicaragua nell'ambito di attività di cooperazione.



Le difficoltà linguistiche non sono un ostacolo (Foto A.Petrone).



L'obiettivo principale è la trasferibilità e la possibile ripetitività delle tipologie (Palificata viva doppia spondale, in opera) (Foto A.Petrone).

Obiettivi

- Formazione/approfondimento professionale



Impegno con attrezzature e metodi non abituali (Palificata viva doppia spondale, in opera) (Foto R.Ferrari).

- Realizzazione pratica



Dalla teoria alla pratica (Palificata viva doppia di versante, in opera) (Foto R.Ferrari).

Effetti collaterali

- Sperimentazione materiali (naturali (vivi e morti) e sintetici)



Un'occasione per sperimentare materiali nuovi o insoliti (Rullo spondale in rete metallica zincata e plastificata con georete e biofeltro in cocco, in opera) (Foto R.Ferrari).

- *Divulgazione delle tipologie*



Un'occasione pratica per diffondere la conoscenza (Viminata viva di versante, in opera) (Foto R.Ferrari).

- *Monitoraggio nel tempo*



Capire l'evoluzione dell'intervento (Cordonata viva, post operam) (Foto R.Ferrari).

Tipologie

- Tipo A: a seguito e completamento di corsi, generalmente di 1° livello, molto lunghi e completi (la sola parte dedicata al cantiere didattico può durare alcune settimane); indicato e rivolto al neofita.



Realizzazione di tipologie classiche (Viminata viva di versante, in opera) (Foto R.Ferrari).

- Tipo B: preceduto da uno-due giornate di teoria, di breve durata (tre giornate); indicato e rivolto all'operatore di settore ed al professionista.



Possibilità di cimentarsi con tipologie meno conosciute (Trapianto di culmi di PHRAGMITES AUSTRALIS, in opera) (Foto R.Ferrari).

- Tipo C: dedicato a tematiche particolari ed approfondimenti, di breve durata (due giornate, con approfondimenti teorici serali); indicato e rivolto all'operatore di settore ed al professionista.



Approfondimento a tematiche particolari (Terra rinforzata rinverdita spondale, in opera) (Foto R.Ferrari).

Fasi propedeutiche

- Collocazione nel periodo ottimale relativamente al percorso didattico del corso (Tipo A), tenendo in debito conto e rispettando le esigenze biologiche del materiale vegetale vivo
 - L'inizio del cantiere didattico deve avvenire dopo lo svolgimento di una cospicua parte teorica



Il materiale vegetale vivo ha imprescindibili esigenze anche relativamente al periodo di manipolazione (Infissione di talee (SALIX ELEAGNOS), post operam) (Foto R.Ferrari).

- Sopralluoghi
 - Da effettuarsi durante le fasi di localizzazione del sito di intervento e di rilevamento dati per la progettazione



Imbattersi in situazioni di dissesto idrogeologico non è certo raro; più difficile è riuscire a localizzare un sito compatibile con i limiti e le esigenze di un intervento didattico (Foto R.Ferrari).

- Localizzazione del sito di intervento
 - Individuazione del/i possibili siti di intervento
 - Scelta del/i siti di intervento (ripetizione di situazioni collaudate, sperimentazione, scelta razionale, scelta didattica)
 - Adattabilità alle esigenze didattiche
 - Idoneità alle esigenze dimensionali didattiche
 - Idoneità relativamente alla forza lavoro disponibile
 - - Idoneità relativamente alla logistica (transito persone e mezzi)
 - Eventuali vincoli (proprietà, servitù, ...)
- Progettazione
 - Rilievo topografico speditivo
 - Rilevamento dati di campagna (quota, esposizione, rilevamento geologico, rilevamento botanico, velocità, portata, ...)
 - Individuazione della/e possibili tipologie di intervento
 - Scelta della/e tipologia/e di intervento (ripetizione di tipologie collaudate, sperimentazione, scelta razionale, scelta didattica)
 - Scelta delle specie vegetali
 - Stesura del progetto



Un momento durante la fase di rilevamento dati di campagna: rilevamento dimensioni del dissesto (Foto R.Ferrari).



Un momento durante la fase di rilevamento dati di campagna: rilevamento inclinazioni del substrato (Foto R.Ferrari).



Un momento durante la fase di rilevamento dati di campagna: rilevamento botanico (Foto R.Ferrari).



Un momento durante la fase di rilevamento dati di campagna: rilevamento velocità/portata di un corso d'acqua (Foto R.Ferrari).

- Fattore economico
 - Fondi a disposizione
 - Costi attrezzature
 - Costi noleggi
 - Costi materiali
 - Costi trasporti
 - Varie (assicurazioni, ...)
 - Risparmi su alcune voci
 - Imprevisti (acquisti non previsti, riparazioni, sostituzioni, ...)

- Burocrazia
 - Permessi
 - Assicurazioni
 - Agibilità
 - Sicurezza
 - Prelievo dal selvatico di materiale vegetale vivo
 - Imprevisti (acquisti non previsti, riparazioni, sostituzioni, ...)



Nella maggior parte dei casi per gli allievi si tratta di una prima volta: essenziale offrire il massimo della sicurezza che oltretutto instaura fiducia e serenità operativa (Foto R.Ferrari).



Imprevisti di vario tipo possono mettere a dura prova la capacità di reazione e l'operatività successiva (Foto R.Ferrari).

- Logistica

- Accessi a persone e mezzi
- Distanza dalla base logistica.
- Approvvigionamento materiali ed attrezzature
- Vitto
- Ricovero temporaneo in caso di maltempo
- Mezzo di emergenza
- Pulizia cantiere e smaltimento materiali
- Reperibilità soggetti coinvolti



Sosta pranzo in cantiere: una buona organizzazione (e del buon cibo!) supplisce, rendendola anzi piacevole, alla spartanità della situazione (Foto R.Ferrari).



Un piacevole momento di ricovero "forzato" dovuto a maltempo (Foto R.Ferrari).

- Materiali

- Scelta
- Reperibilità (da non sottovalutare: provenienze, disponibilità, permessi)
- Costi
- Trasporti (da non sottovalutare: distanze, accessibilità, cure)



Talvolta c'è il rischio di trascurare i materiali più essenziali: accantonamento di terreno vegetale in previsione di un improbabile approvvigionamento per la difficile situazione logistica (Grata viva semplice di versante, in opera) (Foto R.Ferrari).

- **Attrezzature**

- Scelta
- Reperibilità (da non sottovalutare: disponibilità)
- Costi
- Trasporti (da non sottovalutare: distanze, accessibilità)



L'utilizzo di attrezzature particolari, specifiche e poco conosciute è un'ottima occasione per arricchire il percorso formativo (Palificata viva doppia di versante, in opera) (Foto R.Ferrari).

Fasi esecutive

- **Realizzazione**

- Organizzazione logistica cantiere (uomini e mezzi)
- Individuazione orari e luoghi di ritrovo
- Responsabilizzazioni e cure (materiali, attrezzature)
- Formazione di gruppi di lavoro a rotazione (a rotazione, tutti provano tutto)
- Sensibilizzazione delle professionalità coinvolte
- Formulazione di programmi da rispettare ma sempre modificabili a seconda delle esigenze e degli imprevisti
- Sperimentazione

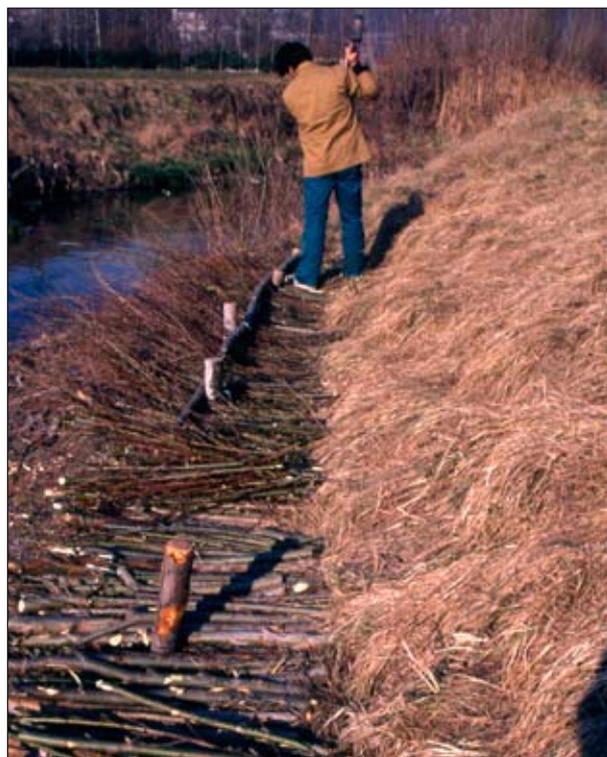
- Tempi (da calcolare su base didattica e non imprenditoriale, tenendo in debito conto momenti di discussione ed approfondimento)
- Stesura rapporto giornaliero (computi, note, schemi)
- Pulizia sito



Tutti fanno tutto (Cordonata viva, in opera) (Foto R.Ferrari).



Tutti fanno tutto (Palificata viva doppia spondale, in opera) (Foto R.Ferrari).



L'organizzazione logistica deve consentire un avanzamento continuo e lineare (Ribalta viva, in opera) (Foto R.Ferrari)



Tutti fanno tutto (Idrosemina su Briglia viva in gabbioni in rete metallica zincata e plastificata e legname, in opera) (Foto R.Ferrari).



Tutti fanno tutto (Palificata viva doppia spondale, in opera) (Foto R.Ferrari).



Tutti fanno tutto (Grata viva semplice diversante e Fascinata viva drenante, in opera) (Foto R.Ferrari).



Tutti fanno tutto (Palificata viva doppia di versante, in opera)
(Foto R.Ferrari).



Tutti fanno tutto (Grata viva semplice di versante, in opera)
(Foto R.Ferrari).

- Manutenzione
 - Irrigazione eventuale



Irrigazione nella fase finale: oltre che di indubbia utilità per l'opera stessa, contribuisce alla formazione di una particolare sensibilità verso la componente vegetale viva, non sempre scontata (Palificata viva doppia spondale, in opera) (Foto R.Ferrari).

Fasi successive

- Manutenzione (da non sottovalutare: a carico di chi? Un compromesso può essere rappresentato utilizzando un corso successivo)
 - Irrigazione
 - Potatura (con eventuale recupero di materiale vegetale)
 - Reintegro fallanze



Reintegro della componente vegetale viva in situazione di fallanza (Palificata viva doppia spondale, post operam) (Foto R.Ferrari).



Effetto di una forte ed intensa precipitazione durante la fase esecutiva: un imprevisto interessante per uno stimolante spunto didattico (Canale presidiato in legname e pietrame con Infissione di talee (SALIX spp.), in opera) (Foto R.Ferrari).

- Monitoraggio

CANTIERI IN MINIATURA DI INGEGNERIA NATURALISTICA

Uno dei problemi dei cantieri didattici di ingegneria naturalistica è rappresentato dalla difficoltà di coinvolgere tutti i partecipanti nelle operazioni di realizzazione delle opere per la impossibilità di lavorare tutti contemporaneamente per motivi di sicurezza. E' questo il motivo per cui i partecipanti non dovrebbero superare il numero di 12-15, ma anche così, come è esperienza di tutti, ci sono, comunque, dei tempi morti.

In occasione del primo cantiere didattico della Spagna mediterranea sul fiume Salt presso Girona in Catalogna, è iniziata, senza alcuna preparazione specifica, la sperimentazione di una tecnica didattica basata sul coinvolgimento di tutti i partecipanti per la realizzazione di modelli in scala delle principali tecniche di ingegneria naturalistica.

Dato l'interesse suscitato tra i partecipanti, si è proseguito nella sperimentazione dei mini cantieri di ingegneria naturalistica, sviluppati poi in occasione delle esercitazioni del corso di Ingegneria Naturalistica dell'Università della Tuscia, arrivando ad una pianificazione delle attività, con l'obiettivo di verificare, seppur in scala ridotta, tutte le reali problematiche di un intervento di ingegneria naturalistica:

- La scelta della scala di lavoro: si è optato per la scala 1:10 o 1:20 così un tronco di 5 m. diventa di 50 cm o 25 cm ed un diametro di 20 cm diventa di 2 cm o 1 cm;
- La scelta della stazione di intervento: una scarpata in terra ove con la zappa possono essere state realizzate morfologie di dissesto da sistemare;
- Il reperimento dei tronchi: vanno trovati rami di diametri adeguati nei dintorni;
- La scelta delle chiodature: chiodi di 1 mm di diametro o legatura con fil di ferro da 1 mm;

Oltre alle opere classiche consolidanti (grata viva, palificata viva doppia, palificata latina, palificata Roma) si possono realizzare anche opere stabilizzanti quali fascinata, viminata e gradonata; in questo caso risulta piuttosto significativo mostrare l'effetto dello scorrimento delle acque su una piccola scarpata che simula un versante prima e dopo la sistemazione stabilizzante.

Per quanto riguarda i materiali e gli attrezzi si fa riferimento alla tabella seguente:

ATTREZZI	STRUMENTI	MATERIALI DI CONSUMO
zappa	metro	chiodi D 1 mm
paletta	clinometro	fil di ferro cotto D 1mm
pinze		rami non contorti D 1-2 cm (ottimo il nocciolo) o bacchette di legno per modellismo D1 cm
forbici da giardiniere		bottiglie di acqua per simulare lo scorrimento e l'erosione delle acque sul versante
martello		

I costi si riducono ai materiali di consumo (chiodi e fil di ferro) cioè qualche euro o al massimo qualche decina di euro se si devono acquistare gli attrezzi, pari a circa un millesimo o un centesimo dei costi di un vero cantiere.

L'ideale per motivi didattici è lavorare al massimo in 3-4 persone su un singolo modello.

L'applicazione dei modelli in scala a cantieri veri si è dimostrata molto utile per comunicare a imprese poco esperte nel settore dell'ingegneria naturalistica le caratteristiche strutturali del progetto e nella progettazione di nuove strutture di ingegneria naturalistica, per meglio valutare le problematiche strutturali, tramite prototipi tridimensionali.



Realizzazione di opere di IN in scala ridotta (Foto P. Cornellini).



Modello di grata in scala (Foto P. Cornellini).



Modello di palificata latina (Foto P. Cornelini).



Modello di palificata Roma (Foto P. Cornelini).

APPROFONDIMENTI BIBLIOGRAFICI

FERRARI R., 1995 – *Ingegneria Naturalistica: un'esperienza didattica nelle Prealpi Carniche*. Alpi Giulie - Rassegna di attività della Società Alpina delle Giulie-Sezione di Trieste del Club Alpino Italiano, N.89/1 1995: 71-76, Società Alpina delle Giulie Editrice, Trieste.

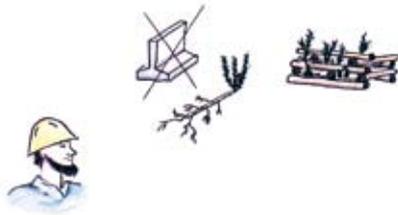
FERRARI R., 1998 – *Lavorando si impara. Cantieri didattici: prime esperienze in Italia*. Acer - Parchi, Verde Attrezzato, Recupero Ambientale (Ingegneria Naturalistica), Anno 14°, N.4 Luglio-Agosto 1998: 62-66, Il Verde Editoriale, Milano.

CORNELINI P., FERRARI R., GIACCHINI P. & SAULI G., 2001 – *La scuola del fare. Formazione sul campo all'Università nel Bosco*. Acer - Parchi, Verde Attrezzato, Recupero Ambientale (Ingegneria Naturalistica), Anno 17°, N.6 Novembre-Dicembre 2001: 63-65, Il Verde Editoriale, Milano.

FERRARI R., PETRONE A. & PRETI F., 2005 – *La riscoperta dell'America. Trasferibilità e sostenibilità di alcune tecniche in Centro America*. Acer - Parchi, Verde Attrezzato, Recupero Ambientale (Ingegneria Naturalistica), Anno 21°, N.5 Settembre-Ottobre 2005: 74-79, Il Verde Editoriale, Milano.

Capitolo 11

... E QUINDI ...



Salvatore, responsabile del procedimento, ha seguito un corso di ingegneria naturalistica



Salvatore imposta il documento preliminare per un'opera di sostegno: si chiede, in primis, se le opere vive possano raggiungere l'obiettivo progettuale



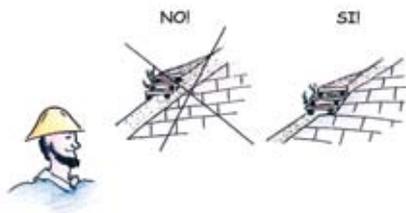
Salvatore esamina il progetto e richiede le analisi mancanti



Salvatore si assicura che il progetto botanico preveda varie specie autoctone per l'aumento della biodiversità

(Disegno O.lacoangeli).

(Disegno O.lacoangeli).

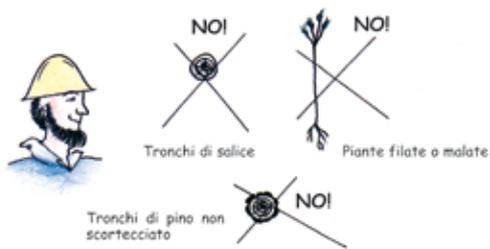


Salvatore richiede il profilo stratigrafico per verificare la fattibilità delle opere di ingegneria naturalistica riguardo le fondazioni

(Disegno O.lacoangeli).



Salvatore si assicura che il progetto degli interventi idraulici sia articolato il più possibile in funzione delle caratteristiche ecomorfologiche e che non sia basato, per pigrizia progettuale, su una sola tipologia



Salvatore si assicura che il direttore lavori controlli la qualità dei materiali vivi e morti scartando quelli inadonei

(Disegno O.lacoangeli).



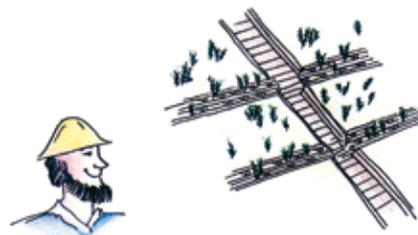
Salvatore insiste per il rispetto delle norme di sicurezza e per la corretta esecuzione dei lavori

(Disegno O.lacoangeli).



Salvatore verifica con particolare attenzione la piantagione del materiale vivo e si assicura della sua manutenzione per almeno due stagioni vegetative

(Disegno O.lacoangeli).



Alla primavera successiva, dopo le prime piogge, Salvatore è proprio soddisfatto dell'ingegneria naturalistica, ma sa che sarà necessaria la manutenzione

(Disegno O.lacoangeli).



Salvatore ora sistema quel dissesto sulla strada di casa sua con una palificata viva

(Disegno O.lacoangeli).

APPROFONDIMENTI BIBLIOGRAFICI

CORNELINI P. & SAULI G., 2005 – *Manuale di indirizzo delle scelte progettuali per interventi di ingegneria naturalistica*, Capitolo 8, Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, Ministero dell'Economia e delle Finanze (PODIS Progetto Operativo Difesa Suolo), 2005, Roma

Capitolo 12

BIBLIOGRAFIA PRINCIPALE DI RIFERIMENTO PER L'INGEGNERIA NATURALISTICA

- AA.VV., 1990 - *Tecniche di bioingegneria naturalistica negli interventi di recupero ambientale*. Acer 6
- AA.VV., 1995 - *Sistemazioni in ambito fluviale*. Quaderni di Ingegneria Naturalistica. Il Verde Editoriale
- AA.VV., 1995 - *Opere e tecniche di ingegneria naturalistica e recupero ambientale*. Regione Liguria, Ass. edilizia, Energia e Difesa del suolo.
- AA.VV., 2001 - *Interventi di Ingegneria Naturalistica nel Parco Nazionale del Vesuvio*. Ente Parco nazionale del Vesuvio.
- Bruschini, Castello, Cornelini 2006 - *Linee guida per gli interventi di riqualificazione idrogeologica e vegetazionale nelle aree percorse dal fuoco* Sito internet del Ministero dell'Ambiente
- BUR della Lombardia 9 Maggio 2000 1° supplemento straordinario al n. 9 Deliberazione Giunta Regionale 29 febbraio 2000 - N. 6/48740 Approvazione direttiva "Quaderno opere tipo di ingegneria naturalistica"
- Carbonari A., Mezzanotte M., 1993 - *Tecniche naturalistiche nella sistemazione del territorio*. Prov. Autonoma di Trento
- Cornelini, 2002 - *Criteri e tecniche per la manutenzione del territorio ai fini della prevenzione del rischio idrogeologico* - Sito internet del Ministero dell'Ambiente
- Cornelini P., Sauli G. 2006 - *Manuale di indirizzo delle scelte progettuali per interventi di difesa del suolo con tecniche di ingegneria naturalistica* - Poligrafico dello Stato
- Cornelini P., Sauli G. 2006 Capitolo "L'ingegneria naturalistica negli interventi di mitigazione e compensazione ambientale delle grandi opere infrastrutturali" del libro "Problemi e tecniche negli studi di impatto ambientale delle Grandi Opere" AA.VV. prefazione del Ministro dell'Ambiente
- De Antonis L., Molinari V.M., 2003 - *Interventi di sistemazione del territorio con tecniche di ingegneria naturalistica* - Regione Piemonte
- Ferrari R., 2006 - *Quaderni di cantiere, Vol. 1-12*. Regione Lazio - Assessorato all'Ambiente e Cooperazione tra i Popoli - Direzione Ambiente e Cooperazione tra i Popoli - Area Difesa del Suolo, Novembre 2006, Regione Lazio, Roma.
- Ferrari R., 2008 - *Quaderni di cantiere, Vol. 13-18*. Regione Lazio - Assessorato all'Ambiente e Cooperazione tra i Popoli - Direzione Ambiente e Cooperazione tra i Popoli - Area Difesa del Suolo, Gennaio 2008, Regione Lazio, Roma.
- Ministero dell'Ambiente PODIS, 2006 - *Linee guida per capitolati speciali per interventi di ingegneria naturalistica e lavori di opere a verde*. Revisione a cura AIPIN- TS
- Palmeri F. et al., 2003 - *Manuale tecnico di Ingegneria Naturalistica della Provincia di Terni. Applicabilità delle tecniche, limiti e soluzioni*. PTCP Provincia di Terni
- Regione Emilia Romagna, Assessorato all'ambiente - Regione Veneto, Assessorato Agricoltura e Foreste. (1993) - *Manuale Tecnico di Ingegneria Naturalistica*. Bologna

Regione Toscana 2000 e 2001, *Principi e Linee Guida per l'Ingegneria Naturalistica*, Voll. 1 e 2, Collana Fiumi e Territorio

Sauli G., Cornelini P., Preti F., 2002.- *Manuale 1 d'Ingegneria Naturalistica applicabile al settore idraulico*. Regione Lazio

Sauli G., Cornelini P., Preti F., 2003. - *Manuale 2 d'Ingegneria Naturalistica applicabile ai settori delle strade, cave, discariche e coste sabbiose*. Regione Lazio

Sauli G., Cornelini P., Preti F., 2006. - *Manuale 3 d'Ingegneria Naturalistica applicabile ai versanti*. Regione Lazio

Sauli G., Siben S. (a cura di), 1992.- *Tecniche di rinaturazione e di ingegneria naturalistica: esperienze europee*. Patron Edit., (BO)

Schiechtl H. M., 1985 -*Bioingegneria forestale*. Edizioni Castaldi-Feltre

Schiechtl H. M., 1992 - *I salici nell'uso pratico*. Ed. Arca.

Schiechtl H. M., Stern R., 1992 -*Ingegneria naturalistica. Manuale delle opere in terra*. Ed Castaldi (Feltre)

Schiechtl H. M., Stern R., 1994 - *Ingegneria Naturalistica – Manuale delle costruzioni idrauliche*. Edizioni ARCA Gardolo, Trento, 1994.



Un intervento di Ingegneria Naturalistica eseguito correttamente si integra totalmente all'ambiente circostante tanto da poter a malapena essere distinto da un occhio esperto: potrebbe sembrare un paradosso, ma è la maggiore soddisfazione per chi lo ha progettato e realizzato (Palificata viva doppia di versante, post operam) (Foto R.Ferrari).

INDICE

Presentazione		pag. 3
Prefazione		pag. 5
Capitolo 1	COS'È L'INGEGNERIA NATURALISTICA? LE ORIGINI STORICHE DELL'INGEGNERIA NATURALISTICA	pag. 7
Capitolo 2	PERCHÉ LE PIANTE SONO UTILI NELLA STABILIZZAZIONE DEI VERSANTI? I SALICI	pag. 17
Capitolo 3	ANALISI STAZIONALE BOTANICA: A CHE SERVE? SPECIE AUTOCTONE UTILIZZABILI NEGLI INTERVENTI DI INGEGNERIA NATURALISTICA A SEGUITO DI ANALISI STAZIONALE	pag. 27
Capitolo 4	PRINCIPALI TIPOLOGIE PALIFICATA VIVA DOPPIA DI VERSANTE	pag. 45
Capitolo 5	PRINCIPALI SETTORI DI INTERVENTO DELL'INGEGNERIA NATURALISTICA IL DISSESTO IDROGEOLOGICO	pag. 75
Capitolo 6	PRINCIPALI MATERIALI UN VIVAIO DI SPECIE AUTOCTONE NEL PARCO NATURALE DEI MONTI AURUNCI	pag. 123
Capitolo 7	PRINCIPALI ATTREZZATURE	pag. 159
Capitolo 8	PRINCIPALI ERRORI IN FASE ESECUTIVA NON È INGEGNERIA NATURALISTICA	pag. 183
Capitolo 9	MANUTENZIONE	pag. 201
Capitolo 10	CANTIERI DIDATTICI CANTIERI IN MINIATURA DI INGEGNERIA NATURALISTICA	pag. 207
Capitolo 11	...E QUINDI ...	pag. 223
Capitolo 12	BIBLIOGRAFIA PRINCIPALE DI RIFERIMENTO PER L'INGEGNERIA NATURALISTICA	pag. 225

