



REGIONE LAZIO
Assessorato alle Infrastrutture, Politiche Abitative e Ambiente

**COMPENDIO DI INGEGNERIA NATURALISTICA
PER DOCENTI E PROFESSIONISTI:
ANALISI, CASISTICA ED ELEMENTI DI PROGETTAZIONE**

Compendio di Ingegneria Naturalistica per docenti e professionisti: analisi, casistica ed elementi di progettazione

A cura di:



Assessorato alle Infrastrutture, Politiche Abitative e Ambiente: l'assessore Fabio Refrigeri

Direzione Regionale Infrastrutture, Ambiente e Politiche Abitative: il Direttore ing. Mauro Lasagna

Area Difesa del Suolo e Bonifiche: il Dirigente ad interim dott. Aldo Palombo

Responsabile del Procedimento e scientifico: Francesco Gubernale e Claudio Bicocchi

Supervisione tecnico-operativa: Simona De Bartoli

Autori:

Paolo CORNELINI

Ingegnere e Dottore Naturalista – Presidente AIPIN Sez. Lazio

Giuliano SAULI

Dottore Naturalista – Presidente Nazionale AIPIN

Contributi specialistici:

O. IACOANGELI

G. PIRRERA

S. PUGLISI

F. PRETI

L. RUGGIERI

R. SANTOLINI

Grafica:

L. COCIANCICH

O. IACOANGELI

V. ZAGO

Ringraziamenti:

Teresa Corda

Maurizio Minasi

Lorenzo Pellizzari

Tutti i colleghi e amici che hanno fornito le foto



Coordinamento Tecnico scientifico e Patrocinio

Settembre 2015 - Distribuzione gratuita

INDICE - SECONDA PARTE

12. VERSANTI.....	294
12.1 Selezione delle tecniche per la sistemazione di versanti	294
12.1.1 Possibilità d'impiego delle tecniche di ingegneria naturalistica nelle principali tipologie di dissesto	294
12.1.2 Tecniche di ingegneria naturalistica applicabili ai versanti nelle regioni del centro-sud Italia	295
12.1.3 Criteri di scelta delle tecniche.....	299
12.2 La sistemazione dei versanti calanchivi.....	301
12.2.1 La sistemazione idraulico-agraria	302
12.2.2 La sistemazione idraulico-forestale	304
12.2.3 La sistemazione con tecniche di ingegneria naturalistica	306
12.2.4 Conclusioni.....	307
12.3 Il recupero delle aree percorse dal fuoco con tecniche di Ingegneria Naturalistica	308
12.3.1 Il fuoco componente naturale dell'ecosistema mediterraneo	308
12.3.2 Problemi di dissesto idrogeologico indotti dagli incendi boschivi	308
12.3.3 Gli interventi di recupero e ricostituzione della copertura vegetazionale	312
12.3.4 Interventi per la riduzione del rischio di incendi ripetuti	313
12.3.5 Interventi di recupero della copertura vegetazionale	313
12.3.6 Interventi di difesa del suolo.....	315
12.4 Casistica degli interventi di Ingegneria Naturalistica e di rinaturazione dei versanti - SCHEDE.....	317
13. CASISTICA DEI PRINCIPALI SETTORI INFRASTRUTTURALI DI APPLICAZIONE DELL'INGEGNERIA NATURALISTICA	363
13.1 Applicabilità dell'Ingegneria Naturalistica alle cave	363
13.1.1 Peculiarità dell'attività estrattiva	363
13.1.2 Il recupero ambientale come obbligo normativo	363
13.1.3 Tipologie di cava, metodi di coltivazione	364
13.1.4 Tipologie di recupero ambientale in Italia	365
13.2 Applicabilità dell'Ingegneria Naturalistica alle strade	390
13.2.1 Modalità di progettazione degli interventi a verde e di Ingegneria Naturalistica su strade	391
13.2.2 Principali tipologie di opere d'arte	392
13.2.3 Principali tipologie di interventi a verde nelle infrastrutture viarie	396
13.2.4 Prerinverdimento	396
13.2.5 Strutture di sostegno di scarpate	406
13.2.6 Barriere verdi antirumore e di isolamento	411
13.2.7 Interventi di rivegetazione delle scarpate in ombra dei viadotti	415
13.2.8 Vasche di prima pioggia come habitat umidi o a secco	416
13.2.9 Strutture di deframmentazione di habitat faunistici	418
13.3 Applicabilità dell'Ingegneria Naturalistica alle discariche.....	421
13.3.1 Discariche di RSU	422
13.3.2 Discariche di RTN	427
13.3.3 Discariche di inerti.....	429
13.3.4 Discariche minerarie	431
13.4 Applicabilità dell'Ingegneria Naturalistica ai metanodotti	436
13.4.1 Impatto potenziale dei tracciati delle condotte interrate	437
13.4.2 Casistica di interventi di rivegetazione e ingegneria naturalistica di metanodotti	440
13.4.3 Interventi a verde nelle centrali di compressione.....	456
13.5. Applicabilità dell'Ingegneria Naturalistica al trasporto elettrico	459
13.5.1 Stazioni Elettriche di nuova realizzazione	459
13.5.2 Progettazione delle diverse tipologie di intervento ed esempi di realizzazione	460
13.5.3 Adeguamento di Stazioni Elettriche esistenti	472
13.5.4 Linee elettriche di nuova costruzione	475
13.5.5 Dismissione di linee esistenti.....	480
14. NUOVE TIPOLOGIE CONSOLIDANTI DI INGEGNERIA NATURALISTICA	483
14.1 La palificata viva "Roma"	487
14.2 La palificata viva latina	489
	292

14.3	<i>La palificata viva L'Aquila , una nuova opera di ingegneria naturalistica per le strade di montagna</i>	<i>495</i>
14.4	<i>La palificata viva loricata, opera di consolidamento di ingegneria naturalistica a struttura metallica</i>	<i>500</i>
Appendice 1 - Calcolo semplificato di stabilita' di palificate vive		506
Appendice 2 - Cantieri in miniatura di Ingegneria Naturalistica		514
Appendice 3 – Le Tecniche di Ingegneria Naturalistica		518
15.	BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA.....	519

12. VERSANTI

12.1 Selezione delle tecniche per la sistemazione di versanti

G. Sauli, P. Cornolini

Premesse

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

Quello dei versanti e in genere gli interventi di sistemazione idrogeologica in zone montane è il settore dove è nato oltre cent'anni fa in Austria l'uso tradizionale di certe tecniche di sistemazione dei versanti con tronchi, pietrame e ramaglie vive di salici, quali la palificata carniolica. Tali tecniche (che oggi chiamiamo appunto di Ingegneria Naturalistica) si sono poi sviluppate nei primi decenni del '900 nel centro – Europa, e in particolare nel dopo guerra, negli anni '50, dal momento che, a seguito degli eventi bellici, erano venuti a mancare materiali quali ferro e cemento e si riscoprirono quindi nelle sistemazioni montane tecniche e materiali tradizionali, economici e facilmente reperibili in loco. Da qui lo sviluppo di una serie di tecniche caratterizzate da tecnologie semplici, basso costo dei materiali e con una certa incidenza di mano d'opera, allora disponibile a basso costo (in verbis Schiechl 1981).

Accanto al recupero di tecniche tradizionali (cordonate vive, palificate vive) vi fu tra gli anni '50 e '70 un grosso sviluppo di nuove tecniche inizialmente per la buona volontà di singoli professionisti, in seguito per la disponibilità di nuovi materiali e tecnologie (polimeri collanti per idrosemine, geosintetici, ecc.) che hanno consentito ad oggi una vasta applicazione dell'I.N. in tutti i settori del territorio. Non secondaria in questo processo di diffusione delle tecniche naturalistiche la crescente sensibilità ambientale a tutti i livelli tecnico-amministrativi, sociali e politici.

12.1.1 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. Si riporta in particolare la Tab. 12.1 che correla i principali tipi di frane e dissesti alle varie possibilità di intervento con tecniche tradizionali e di I.N.

Tab. 12.1: (estratto da “Interventi di sistemazione del territorio con tecniche di Ingegneria Naturalistica” Regione Piemonte - 2003)

Correlazione fra dissesti e possibilità di intervento			
Meccanismo di dissesto	Interventi di sistemazione con tecniche tradizionali	Sistemazioni con tecniche di Ingegneria Naturalistica	Altri interventi
Crolli	Chiodature, tiranti, posa di barriere paramassi, gallerie artificiali paramassi	Reti metalliche con geosintetici antierosivi e rivegetazione, rilevati paramassi in terra rinforzata	Disgaggi, riprofilatura pendii
Toppling (ribaltamenti)	Chiodature, tiranti, muri di sostegno	Sistemazione e rivegetazione del solo accumulo di frana	Riprofilature in roccia
Scivolamenti planari		Sistemi drenanti con tecniche naturalistiche	Trincee drenanti profonde, monitoraggio inclinometrico e piezometrico
Scivolamenti rotazionali	Muri di contenimento, anche intrantati consolidamenti mediante micropali	Palificate vive di sostegno in legname, scogliere di contenimento rivegetate, posa di antierosivi, ricostruzione pendii in terra rinforzata, rivegetazione della superficie risistemata	Rimodellamento versanti con riduzione della pendenza
Colate	Muri di contenimento	Palificate semplici, viminate, graticciate, cespugliamenti consolidanti, inerbimento della superficie risistemata	
Soil slips		Geosintetici e fibre naturali con funzione antierosiva, palificate semplici, graticciate, viminate, cespugliamenti consolidanti, inerbimento della superficie risistemata	
Movimenti di massa	Briglie in c.a., briglie filtranti	Briglie in legname e pietrame	Casse di laminazione e aree di invaso rinaturalizzate, barriere <i>anti-debris</i> in funi metalliche
Erosioni in scarpate	Muri di contenimento	Grate vive, sistemi di palificate vive di sostegno a doppia e singola parete	Pannelli di rete armata a contatto + antierosivi e rivegetazione
Erosioni di sponda	Muri spondali, difese in massi cementati, gabbionate	Difese in massi rivegetate, scogliere in massi vincolati, coperture diffuse, rivegetazioni spondali, palificate vive di sostegno spondali	Ricalibrature degli alvei, allargamento della sezione di deflusso e opere di protezione spondale, rinaturalizzazione e inserimento paesaggistico

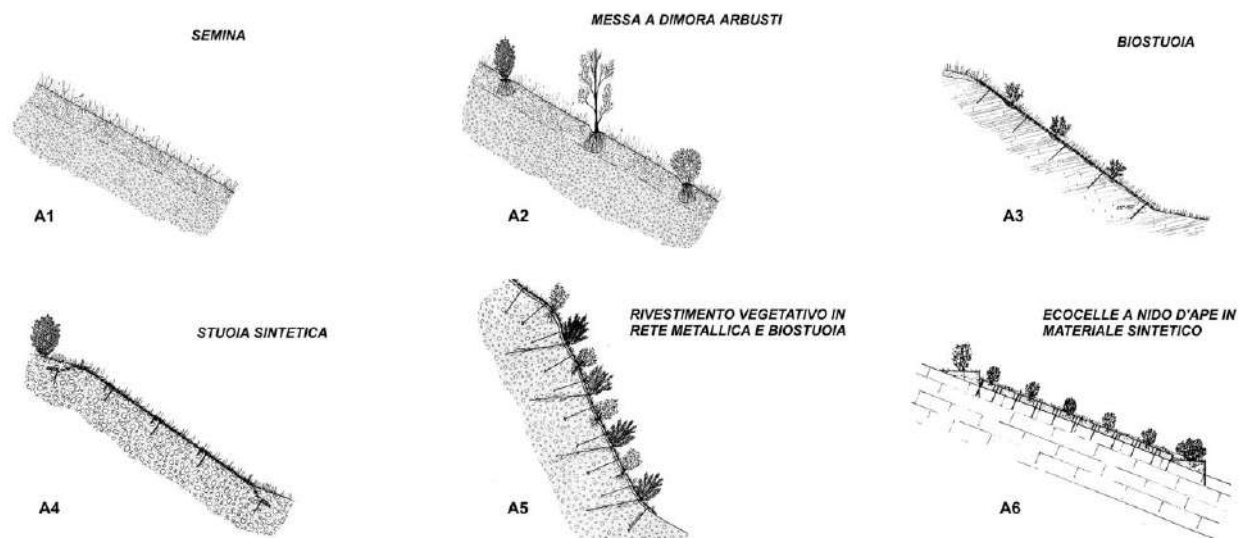
12.1.2 Tecniche di ingegneria naturalistica applicabili ai versanti nelle regioni del centro-sud Italia

Si è posto negli ultimi anni il quesito del trasferimento delle tecniche di I.N. alle regioni dell'area mediterranea e loro adattamento sia in termini di scelta delle specie vegetali che di materiali disponibili.

Negli schemi delle Figg. 12.1 A, B e C sono rappresentate, in forma sintetica, le tecniche di Ingegneria Naturalistica più diffuse nel centro Europa, applicate da molti anni in alcune regioni dell'Italia del nord ed applicabili anche nelle zone montane delle regioni centro-meridionali (estratto da: Cornellini e Sauli: “*Manuale di indirizzo delle scelte progettuali per interventi di difesa del suolo con tecniche di Ingegneria Naturalistica*” PODIS Ministero dell'Ambiente, 2005).

Figg. 12.1 A e B: Interventi di I.N. applicabili ai versanti

A - INTERVENTI ANTIEROSIVI DI RIVESTIMENTO



B - INTERVENTI STABILIZZANTI

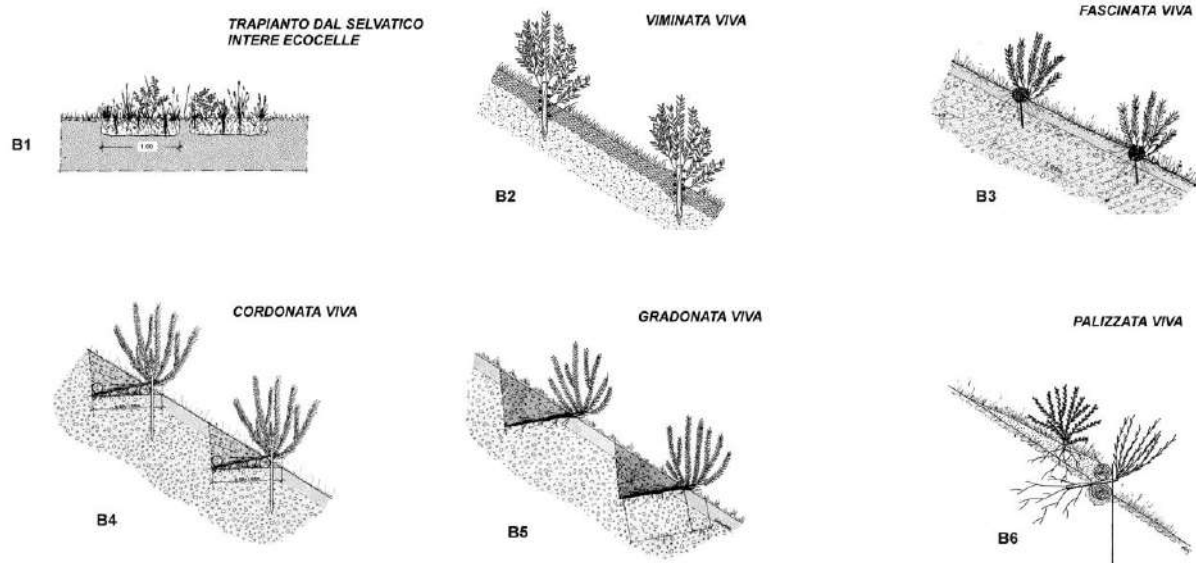
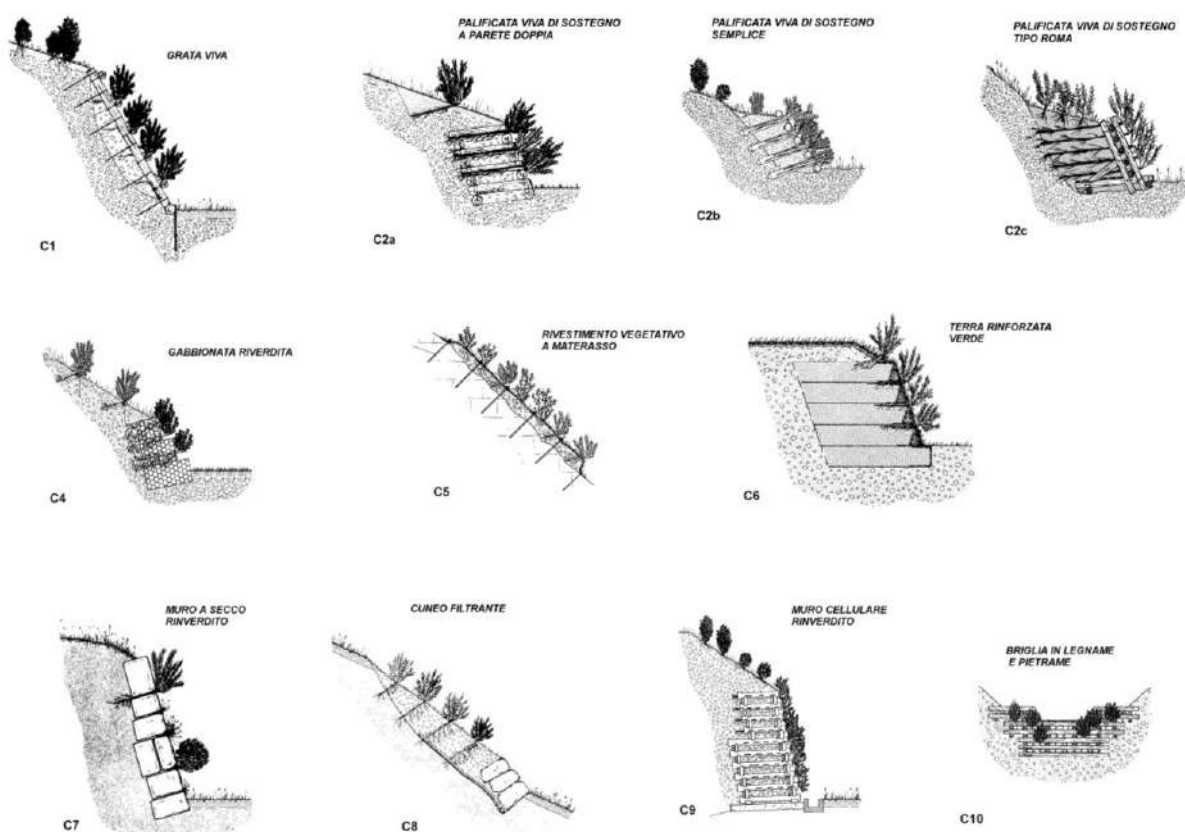


Fig. 12.1.C: Interventi di I.N. applicabili ai versanti

C - INTERVENTI COMBINATI DI CONSOLIDAMENTO



Viene anche qui adottata la suddivisione classica, già citata, in interventi antierosivi, stabilizzanti e combinati di consolidamento, che vengono descritti nelle schede delle tecniche a cui si rimanda.

Sono da considerarsi di uso ormai diffuso in Italia, anche nelle regioni mediterranee:

semine, idrosemine e messa a dimora di piante;

stuoie organiche e sintetiche talvolta abbinate con reti;

vimate e gradonate vive;

palificate e grate vive in tronchi;

palizzate (che trovano vasto impiego nelle aree percorse dagli incendi);

graticciate

briglie in legname e pietrame;

gabbionate e materassi rinverditi;

terre rinforzate verdi.

A proposito delle graticciate morte, va segnalato l'uso tradizionale di tale tecnica tradizionale in tutta l'Italia meridionale, sia per erosioni di versante che per contenimento di singole alberature (es. il castagno nella costiera amalfitana). Pur non essendo una vera e propria tecnica di I.N., l'impiego delle graticciate e vimate morte va rivalutato, per il basso costo dei materiali e l'efficacia stabilizzante di pendii franosi, specie se abbinato con semine e piantagioni di specie pioniere autoctone.

Paramassi e paravalanghe

Nelle sistemazioni montane di corpi franosi, aste torrentizie, ecc. vi sono molte tipologie di interventi che non rientrano nelle tecniche “vive” e quindi di I.N., ma fanno parte delle opere tradizionali delle sistemazioni idraulico-forestali di cui il presente manuale non si occupa.

Vanno citate le opere paramassi e quelle paravalanghe. Queste ultime possono essere assimilabili all’I.N. quando vengono realizzate con tecniche in terrapieno rivegetato, non solo con inerbimenti, ma anche con specie arbustive pioniere resistenti (pino mugo) o che vengono danneggiate dalle slavine nel periodo invernale, ma hanno forti capacità di ricaccio primaverile- estivo (salici, ontani).



**Foto 347 e 348: Opere paramassi,
Falcade (BL) – G. Sauli**



Foto 349: Paravalanghe in terrapieno rivegetato, Val Senales – G. Sauli

12.1.3 Criteri di scelta delle tecniche

Vengono riportati due classici diagrammi a chiave analitica che forniscono un primo criterio di selezione della tecnica da impiegare su scarpate in erosione:

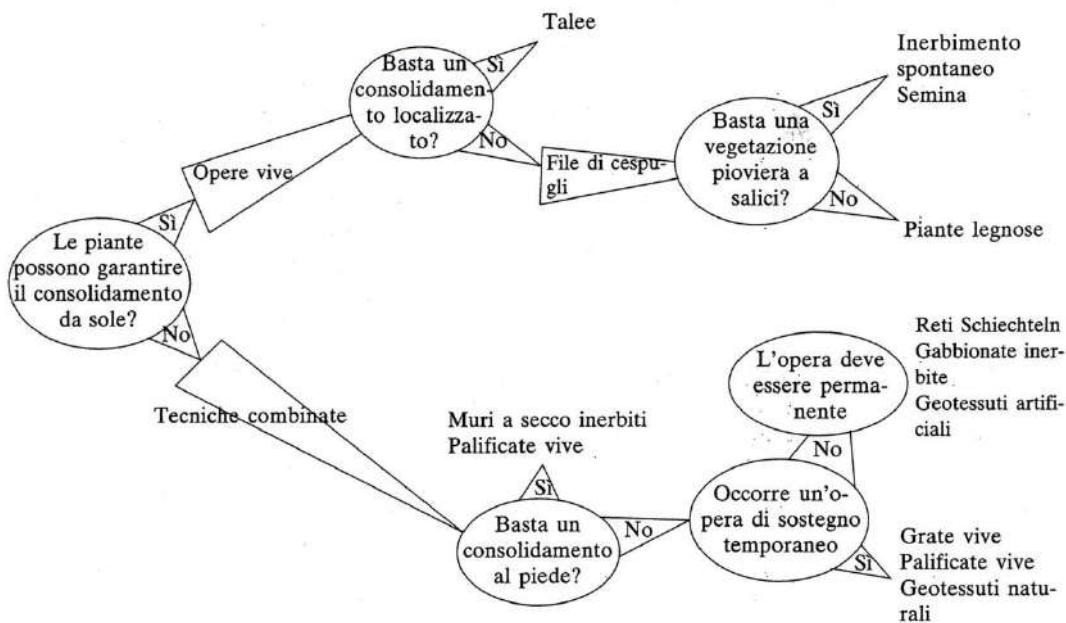
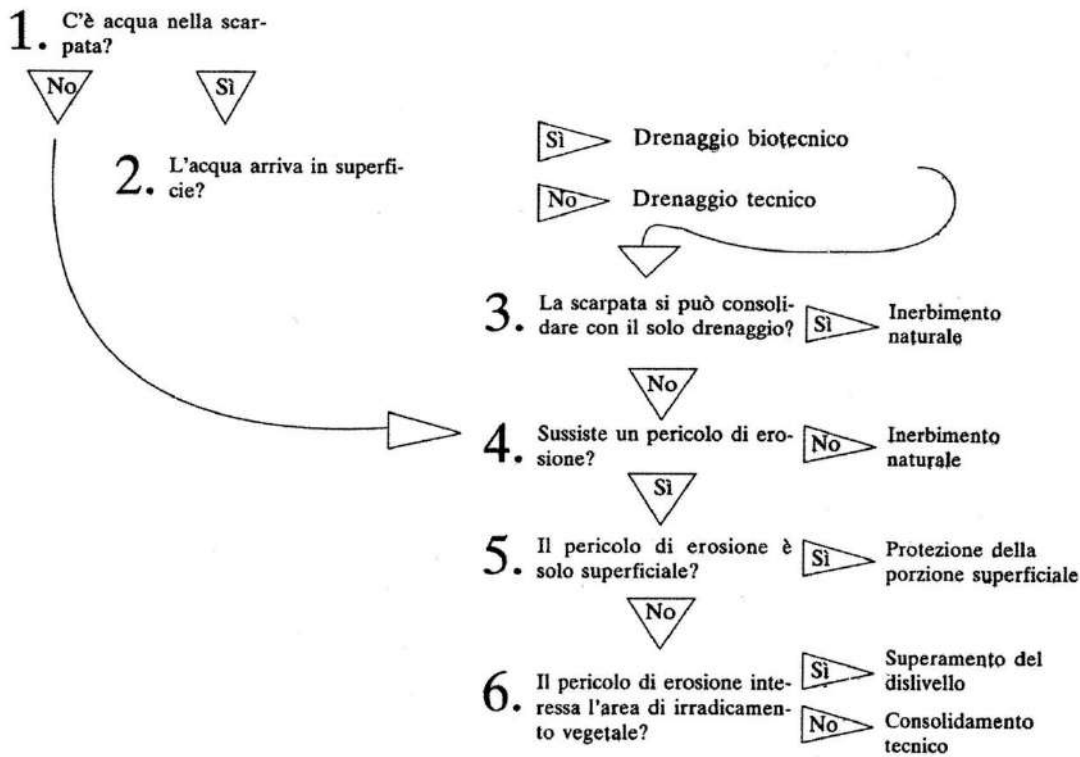


Fig. 17.2: Da: H. Zeh, stabilizzazione di scarpate con metodi di Ingegneria Naturalistica nella realizzazione di strade nel Cantone di Berna (Svizzera) – Congresso Internazionale - Lignano Sabbiadoro (UD) 21-23 Maggio 1992

I quesiti che ci si pone riguardano:

la presenza o meno di acqua nella scarpata che a seconda della sua profondità può essere risolta con drenaggi superficiali con materiali tradizionali abbinati con drenaggi biotecnici, oppure richiedere drenaggi tecnici più profondi;

un pericolo di erosione, a sua volta superficiale (risolvibile con semine), o più profondo, ma sempre nella sfera della radicazione delle piante, oppure al di fuori 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 I.N.;

in quest'ultimo caso ci si deve chiedere:

basta il consolidamento al piede? (palificate basse, muretti a secco ineriti);

servono opere temporanee di sostegno? (palificate, grate);

servono opere permanenti ? (gabbionate, terre rinforzate).

12.2 La sistemazione dei versanti calanchivi

S. Puglisi

Introduzione

Si chiama calanco ciascuno dei solchi profondi, stretti, ripidi, separati da creste sottili a lama di coltello, prodotti da processi erosivi e franosi innescati dalle acque di ruscellamento nei suoli in pendio ad elementi fini, impermeabili ma disaggregabili, quali argille, argille-marnose, marne-argillose, ecc. Nel calanco l'acqua piovana agendo sul suolo argilloso lo decapita asportando le lamelle staccatesi per effetto del disseccamento, le spappola e le trascina con sé allo stato plastico insieme alle altre che riesce a levare una volta che si sono rammollite a causa dell'imbibizione superficiale.

I calanchi sono l'insieme delle valleciole prima descritte, disposte a ventaglio, separate da croste argillose alte, subverticali, a prevalente datazione plio-pleistocenica, rese sottili dalla plasticizzazione e asportazione sotto forma di colate fangose delle particelle situate sulla superficie esterna del rilievo.

Le aree calanchive sono molto diffuse in Italia (Fig. 12.3) e sono sovente sede di imponenti fenomeni di erosione gully. La superficie calanchiva è stata stimata in 500.000 ettari circa. Quella pre-calanchiva, cioè potenzialmente degradabile a morfologia calanchiva, è dello stesso ordine di grandezza.

Alla sistemazione dei calanchi, dalla metà del XVIII secolo in poi, hanno lavorato, dal Nord al Sud, con motivazioni diverse, più generazioni di operatori, ognuna delle quali ha perseguito un obiettivo e messo a punto una tecnica.

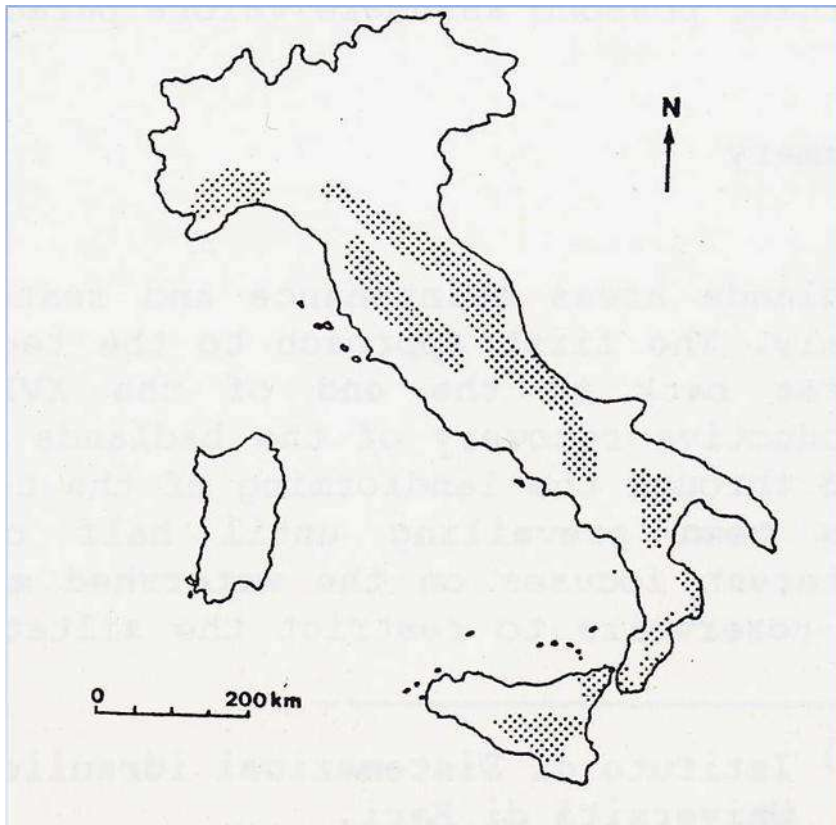


Fig. 12.3: Distribuzione delle aree a morfologia calanchiva in Italia. (da Puglisi e Trisorio Liuzzi, 1992)

Le principali di tali tecniche, al requisito della rispondenza all'obiettivo per cui sono state impiegate, associano una significativa concordanza con la situazione sociale, economica, culturale del periodo storico in cui sono state adottate.

12.2.1 La sistemazione idraulico-agraria

La prima sistemazione calanchiva documentata risale alla seconda metà del secolo XVIII. Il sacerdote Giovan Battista Landeschi il 25 giugno 1758 fu nominato parroco di Sant'Angelo a Montorzo in Comune di S. Miniato (PI). La parrocchia era povera. I pochi seminativi erano circondati da calanchi. Per ampliare la superficie arabile il pievano escogitò di orlare i calanchi con una recinzione idrica, cioè un fosso di guardia, e di scaricarne le acque man mano raccolte sulle sottostanti creste calanchive dove erano stati predisposti dei solchi erodenti. In tal modo le creste risultavano indebolite dall'erosione e si potevano spianare facilmente, mentre i sedimenti prodottisi andavano a colmare le briglie in terra costruite nel fosso calanchivo (figg. 12.4, 12.5), costituendovi nuovi seminativi.

Tale tecnica fu così compendiata dallo stesso Landeschi nei suoi "Saggi di agricoltura di un parroco Sanminiatese" (Firenze, 1775):

...«ma qui tratterò solo dell'aiuto grande che si può trarre dall'acque per vantaggio dell'agricoltura, particolarmente nei poggi e colline Sanminiatesi e dove gli uomini le sappiano indirizzare (...). In questi e simili luoghi è necessario far sapere e ben praticare l'economia dell'acque se si vuole che il terreno sia fruttifero; imperciocché ivi le acque ben indirizzate riempiono di terra quei botrelli, sbrotature e concavi, che molto danno impaccio alla agricoltura. Queste scaricano e depositano la terra dove il terreno è più basso, o dove ne è scarsità e ne levano dove si vuole abbassare il suolo. Di più migliorano la terra mentre la trasportano, perché l'assottigliano e la sciolgono. Fanno poi le medesime acque anche il servizio di mischiare la terra grossa colla sottile e facilmente si fa loro trasportare la terra sottile dove sia troppo grossa e la terra grossa dove siavi troppo sottile; ma ci vuole assidua attenzione nell'indirizzarle acciocché in un luogo tolgano e nell'altro lascino, con dar loro le opportune cadenze dove devono togliere, e con far loro fare le convenienti pause dove occorre depositino, componendo loro dei recinti di arginetti attraverso il loro corso o a mezza luna da banda, o facendo loro delle turette, acciò si fermino, e dell'uscire in luogo più alto che non è il fondo del suolo, ove facciano pozza, o con prender maggior o minor quantità, e dar loro poi l'esito dove non arrechino alcun danno» (Landeschi, 1775).

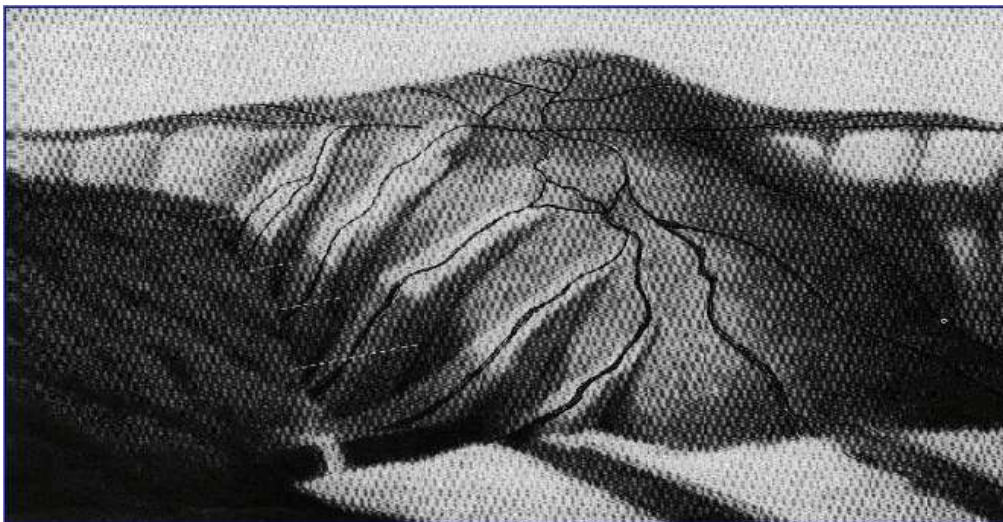


Fig. 12.4: Sistemazione idraulico-agraria ottenuta mediante modellamento della pendice secondo il criterio delle colmate di monte ideato da Landeschi (1775). Il disegno riproduce una classica illustrazione del Ridolfi. Si noti la rete di fossi che solca il versante con funzione erosiva per eliminare i dossi e colmare con i sedimenti le briglie in terra costruite nel fosso calanchivo. Le linee tratteggiate indicano l'altezza di queste opere sull'asta del torrente. (da Calzecchi – Onesti, 1957)

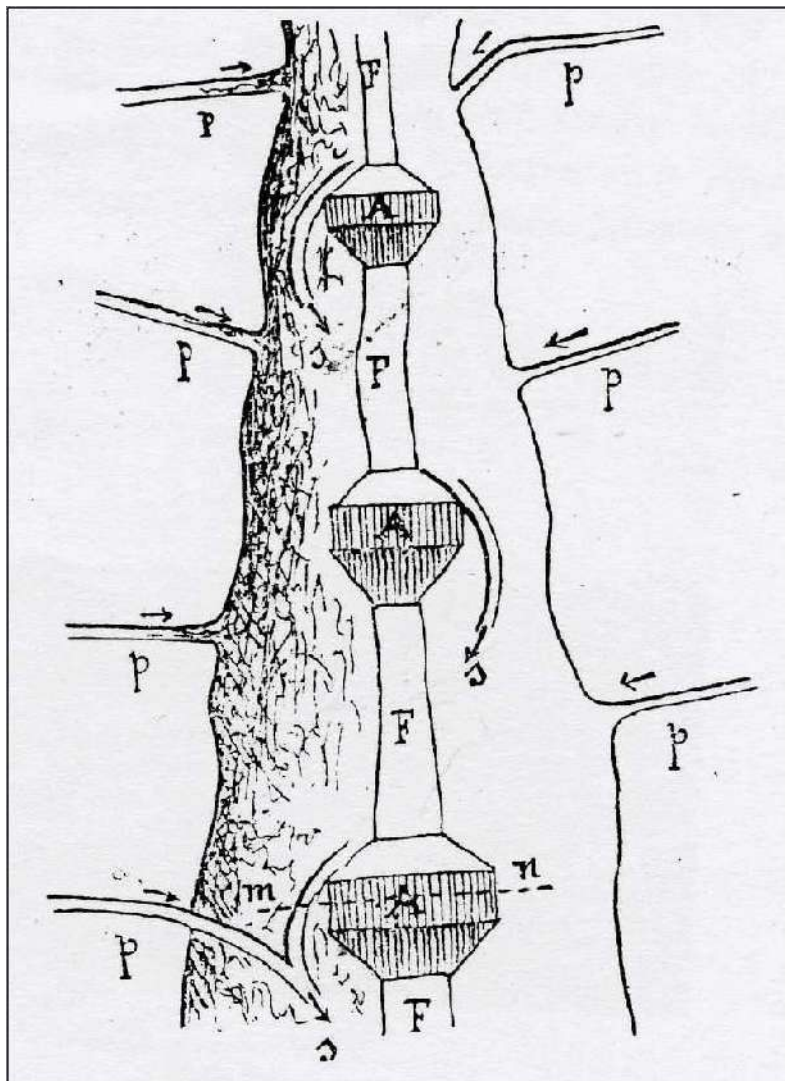


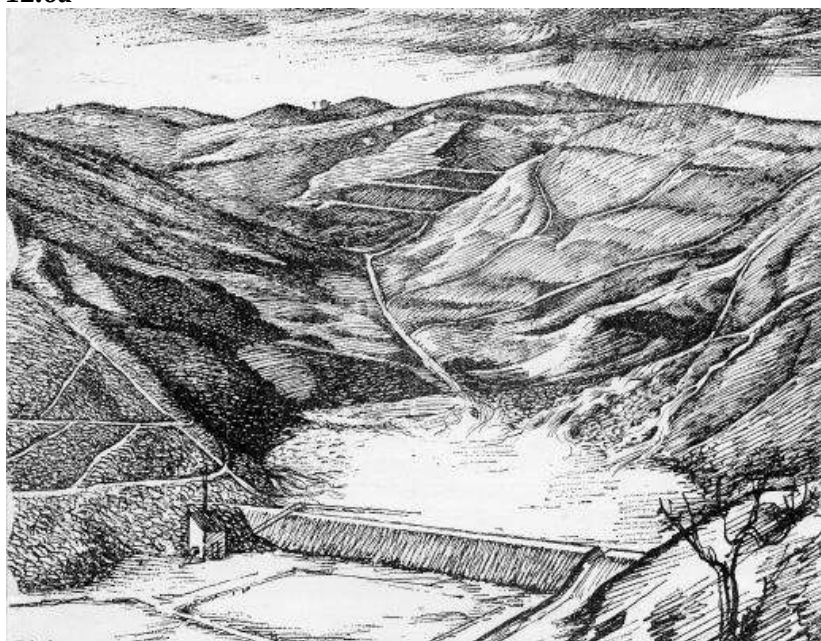
Fig. 12.5: Planimetria della sistemazione di un fosso calanchivo (F) mediante briglie in terra (A) dietro le quali si formano le ‘colmate di monte’ con gli apporti solidi provenienti dagli acquidocci (p) ricavati sulle creste calanchive. Le acque convogliate dall’alveo (F) bypassano gli argini trasversali (A) mediante sfioratori laterali (s). (da Sabbatini, 1922)

Il Landeschi fu anche un precursore dell’ingegneria naturalistica. Infatti, nei Saggi avvertiva che le pendici «si devono in primo luogo ciglionare stabilmente nella parte più bassa, e se questa parte sia rasente ad un rio, o corso d’acque, nel costruire il ciglione devesi in esso porre della macchia a virgulti di salici, vetrici, pruni, ecc...».

Questa tecnica è rimasta in auge sino agli anni Settanta del XX secolo. Fino a quando, cioè, l’esodo rurale è diventato massiccio. In figura 12.6 si vedono due disegni di Calzecchi-Onesti pubblicati sul “Giornale di agricoltura” nel 1952. I luoghi di maggiore espansione di tale tecnica furono la Val d’Era (Toscana) e Brisighella (Romagna). Qui lavorò, acquistò fama come esperto di sistemazione dei calanchi, e ne scrisse (Bubani, 1950), il direttore del Consorzio di bonifica di Brisighella (FO) la cui opera fu proseguita dal dott. Livio Ravagni, il quale poi venne chiamato a progettare ed eseguire la bonifica dei calanchi di San Marino, per incarico di quella Repubblica, con finalità, ovviamente, mutate e tecniche più aggiornate rispetto al passato, quali impiego di macchine, semine potenziate, ecc. (Ravagni, 2002).



12.6a



12.6b

Figg. 12. 6: Nel 1952 il “Giornale di agricoltura” pubblicò una serie di articoli del suo direttore sulla sistemazione dei calanchi. Allorchè subentrò il modellamento con macchine, il serbatoio a corona che si vede in (a) diventò laghetto collinare (b). (da Calzecchi – Onesti, 1952)

Le sistemazioni idraulico-agrarie di cui sopra rispettano la topografia del rilievo a morfologia calanchiva. In tempi recenti, invece, l'avvento delle grandi macchine per i movimenti di terra ha consentito lo spianamento brutale, lo scasso totale e la messa a cultura di estesi versanti calanchivi con guasti irreparabili al paesaggio.

12.2.2 La sistemazione idraulico-forestale

Quando lo scopo della sistemazione non è quello di guadagnare terra all'agricoltura, ma di impedire la produzione di sedimenti e l'interrimento di laghi artificiali posti a valle del versante calanchivo, si ricorre ad altri tipi d'intervento.

Una tecnica *soft* nacque negli anni Cinquanta dall'osservazione che sui calanchi vi è sempre della vegetazione spontanea la quale, però, viene regolarmente danneggiata dalle colate di fango che si formano per disgregazione delle argille poste nelle aree nude soprastanti gli esemplari vegetali, impedendone la propagazione.

Lo schema adottato fu quello rappresentato nella fig. 12.7 e deriva dal metodo Landeschi (apertura di canali erodenti sulle creste) con la differenza che in ogni impluvio, o *thalweg* della vallecchia calanchiva, vengono praticati dei solchetti secondari disposti a spina di pesce con recapito ai canali erodenti principali ricavati sulle creste. In tal

modo la formazione delle colate di fango viene disinnescata, eppure queste sono intercettate e cosicché la vegetazione, messa al riparo, si espande spontaneamente, intanto che i solchi sulle creste si approfondiscono e le scorrono, predisponendo anch'esse alla rivegetazione in una fase successiva.

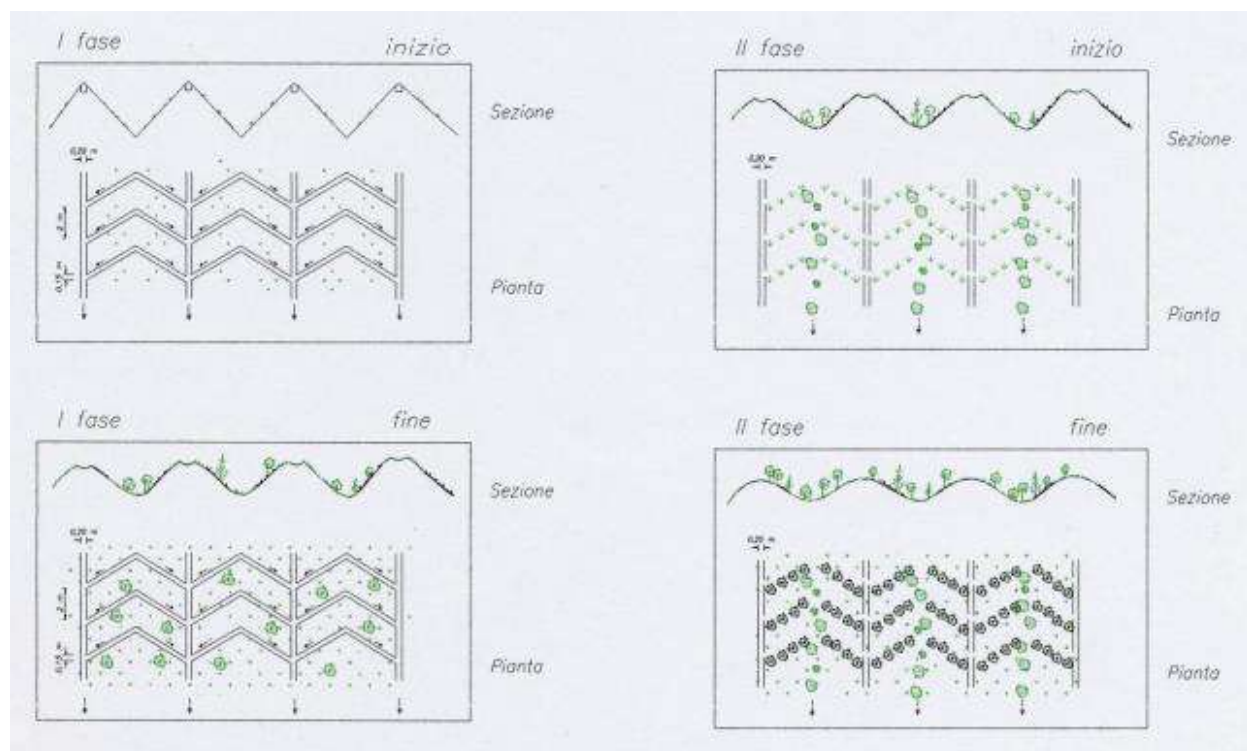


Fig. 12.7: Schema della sistemazione mediante canali erodenti ricavati sulle dorsali argillose. I solchetti secondari disposti negli impluvi hanno recapito a quelli principali aperti per smussare le creste, e svolgono la funzione o di impedire la formazione o di intercettare le colate fangose incipienti. In una fase successiva si può invertire il loro andamento per svolgere la stessa funzione sui fianchi delle creste in via di scoronamento, oppure si può procedere direttamente e mettere a dimora come nel disegno, talee, cespi, rizomi di specie idonee, nelle aree rimaste ancora nude al termine della prima fase. (da Puglisi, 2004).

La figura 12.8 mostra un'applicazione del metodo descritto.



Fig. 12.8: Pendice calanchiva in fase di modellamento nel Materano. I solchi erodenti aperti a rittochino sulle creste fanno da collettori ai solchetti disposti lateralmente a spina di pesce. Questi dagli impluvi vi recapitano le acque di ruscellamento per accrescerne la funzione erosiva e nel contempo intercettano le colate di fango che si formano nelle vallecicole, impedendone la discesa verso valle e la 'rasatura' della vegetazione esistente. Con tale accorgimento, i cespugli di Atrépice e i cespi di Sparto sparsi sulla pendice in corso di sistemazione, restano integri e in grado di diffondersi su tutto il versante. (Foto Puglisi).

In figura 12.9 si vede una pendice calanchiva che al termine della prima fase dell'intervento appare coperta di vegetazione per un buon 60% circa della sua superficie. Il completamento dell'intervento di vegetazione può ottenersi, come detto nella didascalia della figura 12.8, o con nuovi solchetti che possiamo definire terziari, i quali recapitano le acque superficiali dai solchi principali aperti nei displuvi agli impluvi già copertisi di vegetazione, per effetto dei solchetti secondari che hanno esaurito il loro compito, in modo da consentire alle piante di colonizzare anche le creste ormai smussate e i relativi fianchi, oppure eseguendo negli spazi ancora vuoti trapianti di talee, cespi, rizomi delle specie spontanee della prateria in formazione.

Quando la topografia lo consente, non è da escludere la idrosemina.

Questi lavori vanno integrati con l'imbrigliamento dei torrenti calanchivi per dare sostegno al piede delle pendici oggetto di sistemazione idraulico-forestale.

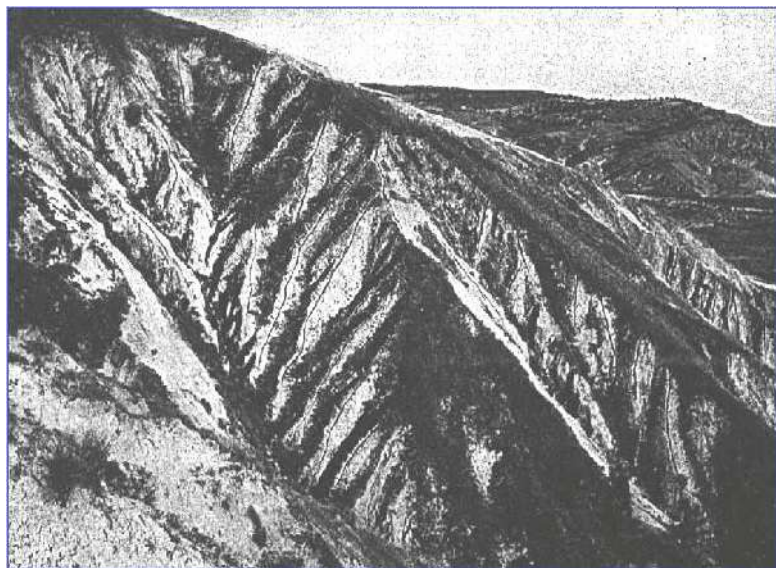


Fig. 12.9: Risultato della prima fase di sistemazione di un ventaglio calanchivo con la tecnica di cui alla Fig. 12.7. Non è stato sparso un seme né piantata una talea. Il ritorno della vegetazione è stato spontaneo. Esso può conseguirsi in tempi più brevi se nel fosso si fanno delle briglie 'vive' e sui fianchi delle creste si piantano cespi e rizomi di Sparto oppure talee di Atréplice. (da Puglisi, 1963).

12.2.3 La sistemazione con tecniche di ingegneria naturalistica

Vi sono, per finire, interventi nei quali la diffusione della vegetazione viene ottenuta con tecniche di ingegneria naturalistica:

- modellamento del calanco a macchina;
- impiego di pròtesi varie (grate vive, palificate vive, briglie in legname, graticciate, ecc.);
- messa in opera di biostuoie;
- idrosemina.

Se ne hanno esempi significativi nel territorio della Repubblica di San Marino, (Guidi, 2002), e in provincia di Siena (Bernabei et al, 2003).

12.2.4 Conclusioni

Le principali tipologie di sistemazione dei versanti calanchivi brevemente passate in rassegna si sono man mano susseguite nel tempo con l'evoluzione della società e dei suoi bisogni, dell'economia, della cultura e della comparsa sul mercato di nuovi materiali.

L'unica regola che se ne può trarre è che in presenza di problemi sistematori è necessario adottare soluzioni che siano calibrate in base alla natura dei fenomeni da disinnescare, agendo sulle cause, o da contrastare, agendo sugli effetti.

All'attualità, gli interventi devono possedere i seguenti requisiti:

- a) svolgere in modo specifico e mirato la funzione sistematoria (correttiva o riparatoria) loro assegnata;
- b) inserirsi armoniosamente nel paesaggio;
- c) integrarsi nell'ecosistema da restaurare.

12.3 Il recupero delle aree percorse dal fuoco con tecniche di Ingegneria Naturalistica

Umberto Bruschini, Paolo Cornellini

Introduzione

Il fenomeno degli incendi ha assunto ormai da tempo una drammatica importanza in relazione, non solo, agli aspetti di impatto visivo in aree di elevato pregio ambientale, di protezione degli ambiti naturali del territorio e di sicurezza pubblica, ma anche in relazione alle problematiche indotte sull'assetto idrogeologico del territorio, inquadrandosi in aspetti di difesa del suolo sempre più sentiti sia dagli addetti ai lavori sia dall'opinione pubblica in generale.

Il passaggio del fuoco incide sull'assetto del territorio in tutti gli aspetti funzionali della copertura forestale, ma in particolare nei riguardi della salvaguardia idrogeologica indotta dalla copertura boschiva e vegetazionale in generale.

12.3.1 Il fuoco componente naturale dell'ecosistema mediterraneo

Il fuoco, d'altronde, è un componente naturale dell'ecosistema mediterraneo che ha avuto un ruolo fondamentale nella determinazione dell'attuale paesaggio vegetale, risultato di una evoluzione ove la pressione antropica con l'incendio per ottenere aree per il pascolo o l'agricoltura si manifesta da circa 10.000 anni.

La resilienza della vegetazione, che rappresenta la capacità di ritornare alle condizioni iniziali a seguito degli incendi, varia in funzione delle forme biologiche presenti e del tipo di riproduzione a seguito del fuoco.

Nel bacino del Mediterraneo l'evoluzione delle fitocenosi in presenza del fuoco ha premiato le specie sempreverdi della macchia e della lecceta (leccio, fillirea, lentisco alaterno, etc.), che possiedono capacità di riproduzione vegetativa, rispetto alle specie sempreverdi con riproduzione da seme (pini, cisti).

Le prime realizzano, inoltre, una migliore stabilizzazione del suolo delle conifere in quanto, in genere, possiedono un sistema radicale più sviluppato ed una capacità di ripresa vegetativa tramite l'emissione di polloni dagli organi ipogei non bruciati (mancante nelle conifere).

Ne risulta una miglior efficienza della macchia e della lecceta rispetto al bosco di conifere (nella maggioranza dei casi di impianto artificiale) sia nel recupero spontaneo della vegetazione sia nella difesa del suolo.

La resilienza della vegetazione mediterranea nel ricostituire l'assetto vegetazionale preesistente trova un limite nella frequenza degli incendi. Gli incendi ripetuti alterano la vegetazione mantenendola negli stadi pionieri e causano l'impoverimento del suolo e l'erosione. Tale degradazione irreversibile comporta la distruzione della foresta sempreverde mediterranea e la comparsa di una gariga a cisti ed eriche.

Il degrado del suolo può arrivare a stadi talmente avanzati che, anche cessando l'impatto, il recupero della vegetazione verso le forme più evolute è impossibile.

12.3.2 Problemi di dissesto idrogeologico indotti dagli incendi boschivi

Gli incendi, tramite la riduzione della funzione meccanica ed idrogeologica della copertura vegetale e le alterazioni chimico-fisiche del suolo, nelle situazioni geomorfologiche e climatiche sfavorevoli determinano fenomeni erosivi. Questi possono evolvere in frane e comportare modifiche nel bilancio idrologico dei bacini idrografici con la diminuzione della capacità di infiltrazione, la riduzione dei tempi di corrivazione e l'aumento delle portate di piena.

In alcuni casi, l'incendio percorre aree già vulnerabili per precedenti incendi e/o fitopatie in atto, nelle quali la funzionalità idrogeologica era già stata drasticamente ridotta e dove il substrato pedologico era stato già profondamente alterato nelle caratteristiche fisico-chimiche; in queste aree i fenomeni di erosione e di impoverimento del substrato sono innescati in misura tale da rendere estremamente lenta e difficoltosa la ripresa della copertura vegetazionale, creando situazioni di marcata propensione alla desertificazione di porzioni di territorio, chiaramente percettibili anche a vista.

Gli effetti del fuoco sul suolo consistono nell'alterazione delle sue caratteristiche chimico-fisiche e biologiche e sembrano essere funzione del calore sviluppatosi:

- Per temperature fino a 220° si hanno modifiche positive per la crescita delle piante, grazie alla mobilitazione dei nutrienti nel suolo

- Per temperature tra 220° e 460° avviene la ricristallizzazione dei composti di ferro e alluminio, con indurimento degli aggregati e perdita di plasticità e elasticità; tuttavia, in pochi anni, l'attività delle piante e dei microrganismi del suolo consente il ripristino delle condizioni originarie
- Per temperature oltre i 460° si hanno danni a carico della struttura cristallina e spaziale dei minerali del suolo con la tendenza alla scomparsa della coesione e della struttura e l'innesto dei fenomeni erosivi.

Alcuni autori hanno evidenziato la formazione di uno strato idrorepellente a pochi centimetri dalla superficie formato da sostanza organica migrata verso il basso dopo un processo di pirolisi (Giovannini ed al. 1988); tale strato idrorepellente subsuperficiale determina condizioni di maggiore ritenzione idrica sul sottile strato soprastante che, in presenza di piogge, è facilmente soggetto ad erosione accelerata.

Le caratteristiche fisiche dei suoli sono profondamente modificate; il suolo perde plasticità, si riduce la porosità, la capacità di ritenzione idrica e si perde la coesione; in definitiva, vengono favorite le condizioni di erosione del suolo stesso.

Dal punto di vista chimico, è vero che l'incendio, nel breve periodo, rende disponibili elementi inorganici facilmente solubili ed assimilabili da parte del terreno, aumentandone sostanzialmente la fertilità, ma occorre sottolineare che tali elementi sono anche molto più facilmente erodibili con le prime piogge; infatti prima dell'incendio erano presenti in composti organici legati al suolo, risultando più difficilmente asportabili dalle piogge.

Si riportano i dati dell'erosione del suolo in g/mq/anno (da Giovannini e Lucchesi, 1992 in Bruschini et al., 2002)

A-	Parcella ricoperta da vegetazione	3	g/mq/anno
B-	Parcella percorsa da fuoco leggero	4	g/mq/anno
C-	Parcella percorsa da fuoco forte	148	g/mq/anno
D-	Parcella con vegetazione tagliata	9	g/mq/anno



Foto 350: Suolo percorso dal fuoco, a 7 giorni dall'evento loc. Le Manie, Noli e Finale Ligure (SV) - U. Bruschini

I danni ambientali conseguenti al passaggio del fuoco sono quindi riferibili a:

- erosione superficiale dei suoli
- alterazioni chimico-fisiche dei suoli
- diminuzione della capacità di infiltrazione
- aumento dei coefficienti di deflusso
- riduzione dei tempi di corrvazione ed aumento delle portate di piena

- erosione accelerata incanalata ed aumento del rischio di frane

Nei primi due casi si tratta di impatti di tipo geopedologico, riscontrabili nel breve periodo, se si considera che le perdite di suolo avvengono nel corso dei due mesi successivi all'incendio.

Gli altri aspetti interessano il dissesto idrogeologico e si esprimono nel medio e lungo periodo.

Tuttavia appare evidente come tutte le problematiche suddette siano strettamente legate tra loro, innescando un processo irreversibile che dall'erosione porta alla desertificazione dei versanti, alla riduzione dei tempi di corrvazione ed all'aumento delle portate sino all'instaurarsi di nuova vegetazione con caratteristiche comunque differenti rispetto alla copertura vegetale pre-incendio.



Foto 351: Versante soggetto ad erosione incanalata con formazione di calanchi, a 4 anni dall'evento - Loc. Tosse, bacino Rio Crovetto, Spotorno (SV) - U. Bruschini

Si riportano di seguito alcuni aspetti significativi del passaggio degli incendi verificati da osservazioni pluriennali in Liguria (Bruschini, 2001):

- in molte aree si osserva la pressoché totale distruzione della biomassa in piedi, con rilascio in piedi di fusti carbonizzati;
- l'erosione del suolo determina un aumento generalizzato della pietrosità e della rocciosità
- il passaggio del fuoco elimina la sostanza organica nel suolo, peggiorando notevolmente le possibilità di ripresa della vegetazione sia da ceppaia che, soprattutto, da seme; si rilevano infatti ricacci di polloni dalle ceppaie di latifoglie arboree ed arbustive (se l'intensità dell'incendio non le ha distrutte), mentre la rinnovazione naturale da seme è pressoché assente
- la presenza di necromassa a terra è generalmente limitata, in relazione alla sua eliminazione mediante combustione; comunque, anche quando presente, sono stati rilevati modestissimi fenomeni di degradazione del legname che consentirebbe un parziale recupero di sostanza organica per i suoli



Foto 352: Situazione della copertura vegetazionale, a 6 anni dall'evento Loc. Voze, bacino Rio Crovetto, Noli (SV) - U. Bruschini

- su substrati alterabili ed in condizioni di forte pendenza, l'erosione diffusa tende ad incanalarsi dando origine a fenomeni di rill erosion e gully erosion, con formazione di solchi calanchivi anche molto pronunciati, in grado di determinare variazioni nella morfologia dei versanti.

In tutti i casi, anche prescindendo dalla pendenza, i fenomeni erosivi indotti dall'incendio determinano:

- erosione del suolo in misura pari a circa 50 volte l'erosione registrata in suolo con copertura vegetale, passando 3 a 150 kg./mq./anno; in termini molto indicativi (non si può generalizzare, ma l'ordine di grandezza è valido), ogni ettaro percorso da un fuoco forte, di intensità tale da distruggere la copertura vegetale in modo totale, determina una perdita di circa 1.500 t/ha/anno, pari, indicativamente, a 8-10 cm. di spessore di suolo
- in caso di incendi leggeri (radenti e/o con danni alla chioma limitati) i valori di erosione scendono drasticamente a 4-5 volte la situazione con copertura, con perdite di 140 t/ha/anno, pari a circa 1 cm. di spessore di suolo.

Pertanto assume fondamentale importanza la valutazione immediata dei danni conseguenti all'incendi; risulta evidente che, in caso di incendi forti, **occorre intervenire entro due mesi dall'incendio**.

Infatti:

- nei primi due mesi le perdite di suolo sono pari a 12-15 volte le perdite subite nei 3-4 anni successivi all'evento
- ad oltre 4 anni dall'incendio le perdite si limitano a 1/10-1/12 delle perdite dei primi 3-4 anni e sono pari a 1/50-1/130 delle perdite dei primi due mesi.

E' evidente che le perdite diminuiscono, risultando sempre minore la quantità di suolo presente.

Anche in termini di contributo alla formazione delle piene, i suoli percorsi dal fuoco presentano, nei mesi immediatamente successivi all'evento, valori bassissimi di capacità di infiltrazione, pari a quasi 1/100 del valore di un bosco indisturbato.



Foto 353: La drastica riduzione di copertura del suolo successiva al passaggio del fuoco loc. Le Manie, Noli e Finale Ligure (SV) - U. Bruschini

12.3.3 Gli interventi di recupero e ricostituzione della copertura vegetazionale

Data la grande capacità di recupero spontaneo delle fitocenosi mediterranee va valutata sempre l'ipotesi del non intervento, come peraltro previsto dalla legge quadro del 21.11.2000.

Uno studio da parte di tecnici qualificati dovrà verificare tale ipotesi in funzione della tipologia vegetazionale preesistente, delle forme biologiche dominanti e del tipo di capacità riproduttiva, valutando il dinamismo vegetazionale in atto. Considerate le difficoltà di recupero di aree totalmente distrutte dal fuoco, dovrà essere accuratamente studiata e predisposta la fase di progettazione e direzione lavori degli interventi, che si configurano prioritariamente come interventi di sistemazione idraulico-forestale e di recupero ambientale.

Una volta verificata l'incapacità di un recupero spontaneo delle fitocenosi esistenti, si cercherà di procedere con gli interventi per la difesa del suolo secondo i seguenti principi generali:

- intervenire prima possibile
- pianificare e progettare interventi combinati di difesa del suolo e recupero della copertura vegetazionale
- utilizzare prioritariamente tecniche a basso impatto ambientale per le opere di difesa del suolo
- utilizzare prioritariamente criteri ecologici e di selvicoltura naturalistica nella ricostruzione della vegetazione
- reintegrare le perdite di sostanza organica e di biomassa vegetale mediante il reimpiego di materiali naturali (materiali legnosi, prodotti derivati da compostaggio, ecc).



Foto 354: Copertura di terreno percorso dal fuoco con chips legnosi e compost, abbinato a palizzate vive in legname – loc. Voze, Noli (SV) - Foto U.Bruschini

12.3.4 Interventi per la riduzione del rischio di incendi ripetuti

Dal momento che i fenomeni principali di degrado sono legati agli incendi ripetuti, andranno previsti alcuni interventi per evitarli, ad esempio :

- tracciati tagliafuoco
- torri di avvistamento
- situazioni naturali di interruzione del fuoco quali prati o colture erbacee
- formazione del volontariato
- incentivi ai proprietari o cooperative per la manutenzione.

12.3.5 Interventi di recupero della copertura vegetazionale

Innanzitutto si deve distinguere tra il trattamento della vegetazione esistente a seguito dell'incendio e l'impianto ex-novo.

Nel primo caso gli interventi comprendono la bonifica della vegetazione esistente con la pulizia del terreno delle specie morte per allontanare il materiale combustibile che aumenta il rischio di incendi; si procederà al taglio al colletto di tutte le piante, che saranno sramate e depezzate in misure adatte ad un eventuale reimpiego in opere di I.N. (quando lo stato di degrado ed i diametri del legname siano soddisfacenti).

La ramaglia ed il materiale minuto devono essere preferibilmente sminuzzati con cippatrice, ridotto in scaglie (chips) che potranno essere reimpiegate sul terreno.

Il legname non utilizzabile per opere di I.N. potrà comunque essere depezzato e posato sul terreno, lungo le curve di livello, fissandolo sommariamente con picchetti reperiti in loco o altro, svolgendo comunque una azione di rallentamento dell'acqua.

Se non strettamente necessario per motivi di sicurezza, sarebbe opportuno evitare l'abbruciamento dei residui vegetali, che consuma materiale organico utile per la ricostituzione dei suoli.

Nel caso delle latifoglie arboree ed arbustive con la ceduzione viene favorita la ripresa spontanea dei polloni dal colletto delle ceppaie. L'entità ed il vigore di tale ricaccio sarà direttamente dipendente dai danni subiti dalla ceppaia stessa, ma raramente sono state osservate ceppaie completamente danneggiate. In ogni caso si dovrà provvedere ad un taglio selettivo, a favore dei ricacci esistenti, eliminando i fusti morti in piedi; nel caso in cui tale operazione sia materialmente difficoltosa e purché i ricacci siano giovani, si provvederà al rinnovo della ceppaia, tagliando tutti i polloni al di sotto del loro punto di inserzione, favorendo la ripresa vegetativa della ceppaia. Per i materiali di risulta valgono le stesse considerazioni già fatte per la bonifica.

Per l'impianto della vegetazione ex-novo, valgono i seguenti criteri generali (Bruschini et.al., 2002):

- utilizzare prevalentemente arbusti ricostruttori autoctoni, impostando il recupero della vegetazione dagli stadi iniziali, in relazione sempre allo stato di degrado dell'area
- impostare l'impianto di arbusti in misura pari ad almeno il 70-90 % della composizione specifica del nuovo impianto di vegetazione
- nel miscuglio delle specie arbustive, riservare una quota del 30-40 % alle leguminose (come le ginestre) che consentono buone garanzie di attecchimento ed ottime qualità di miglioramento del suolo, a vantaggio anche delle altre specie
- riservare una quota del 10-30 % alle specie arboree, che, in ogni caso, dovranno essere scelte tra quelle pioniere, proprie degli stadi di transizione tra gli arbusteti ed il bosco
- evitare l'impiego di specie climaciche (le specie che costituiscono lo stadio finale del soprassuolo, in assenza di disturbi), come ad es. il leccio, che potrebbero incontrare serie difficoltà in aree molto esposte e degradate, sia nel suolo che nella copertura vegetazionale
- nella scelta del miscuglio di sementi per le idrosemine e le semine manuali, usare sempre miscugli molto diversificati, purché di specie adatte ai siti di intervento
- nel miscuglio per le semine inserire sempre leguminose arbustive (ginestre) ed erbacee (ginestrino, trifoglie, erba medica, ecc.), purché compatibili con il sito, in misura pari ad almeno il 25-35 % del miscuglio
- per quanto riguarda il materiale vegetale di impianto, privilegiare la fornitura di vivai esistenti in loco
- utilizzare sempre, salvo casi particolari, piantine con pane di terra (fitocella, paper pot, ecc.) per ridurre gli stress di impianto
- utilizzare sempre piante giovani (1-2 anni) che meglio si adattano alle difficili condizioni dei siti di intervento
- non utilizzare talee di salici nelle opere di ingegneria naturalistica in aree litoranee, salvo casi specifici valutati dal tecnico (in zone di ristagno idrico, impluvi, ecc.)
- utilizzare chips legnosi per la pacciamatura intorno alle piantine, per il mantenimento dell'umidità



Foto 355: Avvio dei processi di ricostituzione della vegetazione, a 30 giorni dalla semina e dalla ripresa vegetativa degli arbusti posti a dimora nelle palificate in legname loc. Tosse, Spotorno (SV)
- Foto U. Bruschini

12.3.6 Interventi di difesa del suolo

Valgono i seguenti criteri:

- intervenire solo nelle situazioni più degradate, curando la protezione antierosiva superficiale, favorendo l'inerbimento ed il cespugliamento con specie autoctone; nelle altre situazioni sarà sufficiente favorire lo sviluppo delle pirofite presenti
- nel caso di incendi in rimboschimenti di conifere iniziare la riconversione verso i boschi di latifoglie autoctone, a partire dagli stadi pionieri erbacei ed arbustivi, a seguito di analisi della serie dinamica della vegetazione autoctona
- effettuare le sistemazioni del drenaggio superficiale e le piccole sistemazioni idraulico forestali, per evitare l'erosione diffusa dei suoli
- impiegare le tecniche antierosive, stabilizzanti e consolidanti dell'ingegneria naturalistica

Le opere di ingegneria naturalistica presentano alcune caratteristiche importanti per il recupero delle aree percorse dal fuoco, così sintetizzabili:

- impiego di materiali legnosi, fibre biodegradabili, ecc., che, oltre a fornire strutture e supporto alle opere di rinverdimento, apportano consistenti quantità di sostanza organica ai suoli
- efficace azione di completamento per l'attecchimento della vegetazione posta a dimora nelle strutture
- sviluppo di condizioni microclimatiche ed edafiche favorevoli alla vegetazione, soprattutto nelle condizioni di difficoltà ed aridità dei siti in oggetto
- modularità e facile adattabilità di molte tecniche a situazioni anche molto diversificate, oltre che da elasticità e leggerezza delle strutture
- facilità di trasporto dei materiali, effettuabile sia via terra (quando possibile) che per via aerea (elicottero)
- inserimento nel paesaggio
- possibilità di utilizzare anche materiale di risulta dai tagli di bonifica dell'area, anche parzialmente combusto

Tra le tecniche già sperimentate negli interventi di recupero delle aree percorse dal fuoco dei due Piani stralcio del Ministero dell'Ambiente (2002) che hanno riguardato 26 interventi in tutta l'Italia mediterranea, le più usate sono risultate:

- messa a dimora di arbusti autoctoni
- fascinate
- palizzate vive
- palificate vive doppie
- palificate in legname e pietrame

Per quanto riguarda i materiali legnosi per le strutture di I.N. si raccomanda l'impiego di legname ad alta durabilità, scelto tra i seguenti:

- legname di castagno scortecciato
- legname di resinose impregnato a pressione



Foto 356: Consolidamento di solco d'erosione con palificate in legname di castagno, in fase di ultimazione – loc. Tosse, Spotorno (SV) - Foto U. Bruschini

In deroga a tale principio generale, nelle aree percorse dal fuoco si potrà reimpiegare il legname di risulta dalle operazioni di bonifica della vegetazione colpita dall'incendio, purché risulti ancora funzionale per almeno $\frac{3}{4}$ del proprio volume e purché sia impiegato per opere di stabilizzazione superficiale, escludendo palificate e grate.

Per queste ultime potrà essere impiegato solo valutando, caso per caso, che le funzioni strutturali possano ancora essere svolte efficacemente; inoltre dovrà essere particolarmente curato il rinterro di tali opere (eventualmente con parti di compost, concimi e/o terre ricche di humus) e la scelta delle specie di nuovo impianto.

In sostanza, si può accettare una minore durabilità dei materiali strutturali (legname) a fronte di una maggiore attenzione per lo sviluppo di vegetazione con funzione di consolidamento del suolo.

Resta comunque inteso che la disponibilità in sito di legname di risulta dalle operazioni di bonifica, adatto in termini dimensionali, debba comunque essere sfruttata, sia per una opportuna riduzione dei costi, sia per il reimpiego di biomasse legnose che, a lungo termine, contribuiranno al riequilibrio della sostanza organica al suolo, asportata dall'incendio.

In tale senso, i materiali di risulta dalle operazioni di bonifica non dovranno essere oggetto di abbruciamento, fatti salvi quei casi in cui vi possano essere rischi concreti di innesco di nuovi incendi, con interessamento di elementi a rischio.



Foto 357: Una porzione di area percorsa dal fuoco, sistemata con impiego di palificate a doppia parete in legname di castagno ed idrosemina su terreno preparato con chips legnosi e compost, a circa 45 giorni dall'intervento - loc. Tosse, Spotorno (SV) - Foto U. Bruschini

SCHEDA INTERVENTI DI INGEGNERIA NATURALISTICA

Compilatore	Daniele Dallari
Provincia	Roma
Comune	Roma
Località	Valle dell'Insugherata
Altitudine	90 m
Esposizione	prevalentemente Ovest
Inclinazione del versante	10°-30°
Specificità dell'intervento	La particolarità dell'intervento è stata quella di utilizzare diverse tecniche di I.N. per il recupero di un'area percorsa da due condotte fognarie sotterranee nel rispetto delle condizioni di biodiversità della Riserva Naturale dell'Insugherata e nell'individuazione di soluzioni da applicare in presenza di un substrato sabbioso debolmente cementato, altamente erodibile, parzialmente coperto in alcune zone da substrati artificiali di riporto, con copertura vegetale prevalentemente erbacea.
Aspetti vegetazionali dell'area	Le superfici limitrofe alla zona d'intervento sono caratterizzate dalla vicinanza di cenosi molto particolari. Da una parte infatti si rinviene un querceto misto di <i>Quercus suber</i> con <i>Quercus frainetto</i> con strato arbustivo caratterizzato da <i>Cytisus villosus</i> e <i>Phillyrea latifolia</i> . Dall'altra si ha la presenza di una formazione forestale a <i>Carpinus betulus</i> e <i>Quercus cerris</i> , accompagnati da <i>Acer campestre</i> , <i>Castanea sativa</i> e <i>Fraxinus ornus</i> , con <i>Ilex aquifolium</i> sporadico. All'interno dell'area è presente un arbusteto a <i>Spartium junceum</i> frammisto a un rovetto accompagnato da <i>Prunus spinosa</i> , <i>Arundo pliniana</i> , <i>Ulmus minor</i> e <i>Pteridium aquilinum</i> .
Lineamenti geomorfologici	L'area oggetto d'intervento di circa 4 ettari, ubicata ad una quota compresa tra circa 120 e 70 m s.l.m., è costituita da una vallecchia caratterizzata dalla presenza di depositi sabbiosi con scarsa coesione e, nelle parti a quote più elevate, da depositi piroclastici. Le sabbie sono facilmente erose dalle acque superficiali dilavanti. La zona è caratterizzata da forti pendenze nella parte di monte e da varie rotture di pendio sulla superficie di raccordo con la zona di fondovalle. L'area era caratterizzata da: • erosione accelerata legata all'azione dilavante delle acque che generano dei canali molto incisi i quali determinano fenomeni di sottoescavazione ed arretramento dell'area di testata della valle. • fenomenologie erosive di tipo calanchivo • variazioni verticali nello stato di addensamento delle sabbie che generano fenomeni di erosione differenziale e quindi rotture morfologiche multiple. • sistemi di drenaggio inadeguati. • mancanza pressoché totale in molte zone di una copertura di tipo vegetativo.
Obiettivo dell'intervento	• Recupero dell'area degradata per manomissione vegetale e morfologica indotta dalla disposizione di servizi tecnologici, attraverso sistemazioni di tipo idraulico-forestali effettuate con tecniche di ingegneria naturalistica, applicate in ambiente mediterraneo e di interventi di rimboschimento e rinfoltimento ecologico. Innesco dei processi naturali per la ricucitura del prezioso ecosistema forestale della riserva.
Tipologie e dimensioni dell'intervento	• Ripristino e modellamento delle pendici erose attraverso scoronamento, rimodellamento e riempimento cavità (2900 mc e 4200 mq) • Fossi di scolo in terra inerbiti (230 m) • Vasca di laminazione in terra, con protezione parziale in gabbioni e soglie di legno (350 mq) • Canaletta in legno e pietrame (75 m)

		• Palizzate verticali lungo i fossi di scolo e palizzate orizzontali in legno con talee e piantine nelle unghie di erosione (190 m) • Soglie in gabbioni metallici, in legno e pietrame o solo in legno, con aggiunta, a seconda delle tipologie, di fascine o ramaglia di salice (n°17) • Gabbionate (125 mc) • Briglie in legno e pietrame con salici e arbusti radicati (70 mc) • Gradonata con talee e piantine, rinforzata sul ciglio con feltro biodegradabile (290 m) • Viminata e fascinate interrate (sia morte che vive) con piantine radicate a monte (3p/m), fascine drenanti (1600 m) • Idrosemina a mulch (5500 mq) e idrosemina con matrice di fibre legate (1900 mq) • Decespugliamento selettivo a strisce (2000mq) • Messa a dimora di piantine arbustive ed arboree (n°1200)
Specie vegetali impiegate	Talee	Talee e ramaglia di <i>Salix alba vitellina</i> , <i>S. purpurea</i> , <i>Sambucus nigra</i> , in parte reperiti nella Riserva
	Piante radicate	Piante radicate: (in proporzioni differenti a secondo delle caratteristiche ecologiche delle zone): • <u>Specie arboree</u>: <i>Quercus suber</i>, <i>Q. cerris</i>, <i>Q. frainetto</i>, <i>Q. pubescens</i>, <i>Fraxinus ornus</i>, <i>Celtis australis</i>, <i>Carpinus betulus</i>, <i>Acer campestre</i> • <u>Specie arbustive</u>: <i>Spartium junceum</i>, <i>Phillyrea latifolia</i>, <i>Rhamnus alaternus</i>, <i>Cistus salvifolius</i>, <i>Prunus spinosa</i>, <i>Erica arborea</i>, <i>Arbustus unedo</i>, <i>Rosa sempervirens</i>, <i>R. canina</i>, <i>Crataegus monogyna</i>, <i>Cornus sanguinea</i>, <i>Euonymus europaeus</i>, <i>Ligustrum vulgare</i>, <i>Corylus avellana</i>, <i>Cytisus scoparius</i> Seme: per l'idrosemina è stato impiegato un miscuglio standard preconfezionato.
Materiali morti		Blocchetti di tufo, pietrame medio e piccolo, stangame di castagno D 8-10 cm, tessuto non tessuto, rete metallica per gabbioni, chiodi ferro e altro materiale durevole per il fissaggio, verghe e picchetti di specie diverse, concime organo-minerale, collante polissaccarido, humus, fibre di legno e di altre specie vegetali, gel superassorbente, quadrato pacciamante biodegradabile in cartone compresso
Periodo d'intervento		Gli interventi d'ingegneria naturalistica sopra indicati sono iniziati nell'ottobre 2002 e sono terminati il nel dicembre 2003
Osservazioni		I lavori si sono svolti con molta difficoltà in relazione soprattutto: • alle condizioni meteorologiche decisamente avverse con precipitazioni meteoriche sopra la norma che hanno assunto l'intensità di nubifragio, sconvolgendo le opere non completate; • alla natura del terreno fortemente sabbioso e pertanto suscettibile di erosione; • al grado medio-basso di preparazione della ditta appaltatrice, la quale non sempre è stata in grado di operare con perizia e nei tempi previsti, con ricadute sui tempi di realizzazione e sulla riduzione delle caratteristiche quali-quantitative delle opere. Pur essendo realizzate a Roma in un clima prettamente mediterraneo, le opere con i salici, realizzate nei tempi giusti, hanno avuto un grado di attecchimento elevato, in relazione alla natura sabbiosa e fresca del substrato. L'idrosemina con matrice di fibre legate, effettuata all'inizio dell'estate (giugno-luglio), ha germinato e dato ottimi risultati dopo 2-3 mesi, mantenendo tutta la sua efficacia. Il canale in legno e pietrame non risulta una tecnica adottabile nei terreni sabbiosi. Il tessuto non tessuto, di supporto ad alcuni interventi, in tali tipo di terreni, deve essere oculatamente impiegato in quanto, nella situazione descritta, ha innescato sottopressioni di natura distruttiva.

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



FOTO 1: Visione d'insieme di una zona dell'area d'intervento con degrado della copertura forestale e fenomeni erosivi di erosione incanalata - D. Dallari



FOTO 2: Fenomeni erosivi di scavo nella zona di affioramento del substrato sabbioso - D. Dallari



FOTO 3: Fenomeni erosivi di scavo nella zona di affioramento del substrato sabbioso - D. Dallari



FOTO 4: Visione di una zona degli interventi nella prima fase di sagomatura delle superfici e di sistemazione del compluvio principale con canale in pietra e legno - D. Dallari



FOTO 5 e 6: Fenomeni distruttivi delle opere in via di realizzazione in conseguenza di eventi meteorici eccezionali - D. Dallari



FOTO 7: Interventi alternati con gradonata, viminata e fascinata a protezione del pendio - D. Dallari



FOTO 8: Particolare di realizzazione di viminata morta con piantine radicate a monte - D. Dallari



FOTO 9: Particolare realizzazione di gradonata viva rinforzata, con talee piantine radicate - D. Dallari



Foto 10: Briglie in legno e pietrame, con inserimento di salici e piantine radicate subito dopo la realizzazione e dopo 8 mesi - D. Dallari



Foto 11: Briglie in legno e pietrame, con inserimento di salici e piantine radicate subito dopo la realizzazione e dopo 8 mesi - D. Dallari



FOTO 12, 13 e 14: Protezione del fosso di guardia con palizzate trasversali in legno e fascine di salice longitudinali, in diverse fasi temporali e di riparazione per assestamento - D. Dallari



FOTO 15: Zona sistemata con gradonate, vimate e fascinate dopo 8 mesi - D. Dallari



FOTO 16, 17: Protezione del compluvio principale con soglia in pietrame e legno con fascine vive e morte - D. Dallari



FOTO 18, 19: Opere trasversali quali briglie, soglie in gabbioni, palizzate doppie in legno realizzate per la protezione del compluvio principale nella zona a maggiore pendenza, alla fine degli interventi e dopo 8 mesi - D. Dallari



FOTO 20, 21: Piccolo bacino di laminazione sommitale protetto con argini in terra e fascina basale nella zona di raccolta, con gabbioni, sacchi di juta e palizzate trasversali nella zona a monte e d'innesto con il fosso di guardia - D. Dallari

SCHEDA INTERVENTI DI INGEGNERIA NATURALISTICA

Compilatori:		dott. nat. Nicola Marrone geom. Raffaele Buttaro geom. Amedeo Marchetti
Data:		28 febbraio 2003
Provincia		Latina
Comune		Spigno Saturnia superiore
Località		Ciaia di Biviano
Altitudine		600 m s.l.m.
Esposizione		EST
Inclinazione del versante		45° alla base (palificata semplice)
Aspetti vegetazionali dell'area		Bosco misto a prevalenza di <i>Quercus pubescens</i>
Lineamenti geomorfologici		Scarpata in terre rosse
Obiettivo dell'intervento		Consolidamento al piede della scarpata stradale
Tipologie dell'intervento		Palificata semplice di consolidamento al piede della scarpata stradale
Dimensioni dell'intervento		L=75 m H=1,5–2,5 m
Specie vegetali impiegate	Talee	Maggiociondolo (<i>Laburnum anagyroides</i>)
	Piante radicate	Erica (<i>Erica multiflora</i>); Cisto (<i>Cistus incanus</i>); Lentisco (<i>Pistacia lentiscus</i>); Biancospino (<i>Crataegus monogyna</i>).
Soggetto realizzatore		Ente Regionale Parco Naturale dei Monti Aurunci
Periodo d'intervento		marzo – aprile 2002
Osservazioni		Utilizzati tronchi di conifere provenienti dal, taglio per cure silvicolturali, del bosco demaniale di Campello in comune di Itri (LT)

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Foto 1: Stato dei luoghi ante operam



Foto 2: Posa in opera dei primi tronchi



Foto 3: Fase intermedia di realizzazione



Foto 4: Vista prospettica dell'opera



Foto 5: Dettaglio di talee ed arbusti utilizzati



Foto 6: Palificata viva semplice a 3 mesi dalla realizzazione, Spigno Saturnia (LT) - giugno 2003

Palificata	10/23/02	03/25/03	% attecchimento
Acero (talee)	24	9	38
Biancospino	10	7	70
Carpino	27	25	93
Castagno (talee)	13	1	8
Cisto	58	50	86
Erica	30	16	53
Euforbia	4	4	100
Ginestra	5	4	80
Leccio	24	11	46
Maggiociondolo	1	0	0
Maggiociondolo (Talee)	50	40	80
Medicago Arborea	29	24	83
Olivella	9	1	11
Orniello (talee)	27	23	85
Salvia	41	30	73
Ciliegio (talee)	32	21	66
TOTALE PIANTE	384	266	

a cura di Nicola Marrone, Raffaele Buttaro, Amedeo Marchetti

SCHEDA INTERVENTI DI INGEGNERIA NATURALISTICA

Compileri:		dott. nat. Nicola Marrone geom. Raffaele Buttaro geom. Amedeo Marchetti
Data:		28 febbraio 2003
Provincia		Latina
Comune		Spigno Saturnia superiore
Località		Ciaia di Biviano
Altitudine		550 m s.l.m.
Esposizione		EST
Inclinazione del versante		55° alla base (grata semplice)
Aspetti vegetazionali dell'area		Bosco misto a prevalenza di <i>Quercus pubescens</i>
Lineamenti geomorfologici		Scarpata in terre rosse
Obiettivo dell'intervento		Stabilizzazione al piede della scarpata stradale con grata viva
Tipologie dell'intervento		Grata semplice
Dimensioni dell'intervento		L=35 m H=2,5-3 m
Specie vegetali impiegate	Talee	Maggiociondolo (<i>Laburnum anagyroides</i>)
	Piante radicate	Erica (<i>Erica multiflora</i>); Cisto (<i>Cistus incanus</i>); Lentisco (<i>Pistacia lentiscus</i>); Biancospino (<i>Crataegus monogyna</i>).
Soggetto realizzatore		Ente Regionale Parco Naturale dei Monti Aurunci
Periodo d'intervento		agosto – settembre 2002
Osservazioni		Utilizzati tronchi di conifere provenienti dal, taglio per cure silvicolture, del bosco demaniale di Campello in comune di Itri (LT)

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Foto 1: Inizio dei lavori (scavo della fondazione)



Foto 2: Posa in opera dei tronchi verticali



Foto 3: Verifica del corretto posizionamento dei tronchi verticali



Foto 4: Vista prospettica dell'opera



Foto 5: Dettaglio della chiodatura al terreno con barre di ferro ad aderenza migliorata



Foto 6: Riempimento con terreno vegetale



Foto 7: Vista della grata a opera completata

Foto 8: Particolare talea di maggiociondolo

Grata	23/10/02	25/03/03	% attecchimento
Acero (talee)	2	1	50
Biancospino	2	2	100
Carpino	46	39	85
Castagno (talee)	7	2	29
Cisto	11	9	82
Erica	3	2	67
Euforbia	3	3	100
Ginestra	1	0	0
Leccio	3	2	67
Maggiociondolo	15	13	87
Maggiociondolo (Talee)	42	24	57
Medicago Arborea	26	21	81
Olivella	6	4	67
Orniello (talee)	12	9	75
Salvia	27	25	93
Sorbo Montano	1	0	0
TOTALE PIANTE	207	156	

SCHEDA INTERVENTI DI INGEGNERIA NATURALISTICA

Compilatore		Paolo Cornellini
Provincia		Frosinone
Comune		Atina
Località		Colle Melfa
Altitudine		400-500 m slm
Esposizione		Sud
Inclinazione del versante		20-35°
Specificità dell'intervento		L'intervento progettato rappresenta uno dei primi casi di sistemazione di frane con tecniche di ingegneria naturalistica nel Lazio, secondo i dettami della Delibera della Giunta Regionale 4340 del 28 maggio 1996 sui <i>Criteri progettuali per l'attuazione degli interventi in materia di difesa del suolo</i> . L'impiego, inoltre, tra i primi in Italia, di geogriglie di rinforzo drenanti all'interno del corpo della terra rinforzata rinverdata, consentirà di verificare nuove tecniche per il riutilizzo di materiali argillosi nelle opere in terra, applicabili a larga scala sul territorio italiano.
Aspetti vegetazionali dell'area		Ambito agricolo a prevalenza di oliveti e vigneti
Lineamenti geomorfologici		L'area di Colle Melfa è costituita da depositi pelitico-arenacei, con successione di depositi argilloso-marnosi e arenacei sovraconsolidati, sormontati da coltri argillose poco consolidate ed instabili di spessore variabile da 1 a 5 metri. Le manifestazioni gravitazionali con movimenti superficiali di rotazione e colamento hanno interessato la coltre argillosa in occasione di precipitazioni intense con la lubrificazione del piano di contatto e l'insorgere di sovrappressioni interstiziali nel sottosuolo
Obiettivo dell'intervento		I lavori hanno riguardato due aree con fenomeni franosi, innestatisi a seguito di abbondanti precipitazioni: 1) due frane rotazionali con un fronte di circa 15 m ognuna sulla scarpata a monte della sede stradale di via Colle Melfa. 2) un franamento esteso con il coinvolgimento di una porzione della sede stradale lunga circa 60 m, situato all'incrocio tra Via S. Saturnino e Via Colle Melfa.
Tipologie e dimensioni dell'intervento		1) Palificata viva a parete doppia h 2,4 m L 30 m; palificata viva a parete doppia h 1,4 m L 15 m; palizzata viva L 16 m; gradonata viva su rilevato L 125 m; fascinata drenante L 120 m; biotessile in juta 110 mq; canaletta in terra con biostuoia in cocco e paglia e rete zincata a doppia torsione e talee L 50 m; piantagione di 150 arbusti; idrosemina S 200 mq 2) Terra rinforzata h 8,5 m L 50 m; fascinata drenante L 120 m; piantagione di 250 arbusti; idrosemina 1000 mq
Specie vegetali impiegate	Talee	<i>Salix purpurea</i> e <i>Salix eleagnos</i> .
	Piante radicate	Arbusti radicati: <i>Crataegus monogyna</i> , <i>Cornus sanguinea</i> , <i>Spartium junceum</i> , <i>Coronilla emerus</i> , <i>Ligustrum vulgare</i> , <i>Cornus mas</i> , <i>Euonymus europaeus</i> , <i>Prunus spinosa</i> , <i>Rosa canina</i> .
Materiali morti		Tronchi in castagno scortecciati D 25 cm; barre acciaio a.m. D 14 mm; biotessile in juta; rete zincata a doppia torsione; terre rinforzate rinverdate con strati di geogriglia drenante
Periodo d'intervento		Frana 1: marzo-aprile 2000; Frana 2: settembre-ottobre 2001
Osservazioni		Gli interventi di ingegneria naturalistica hanno garantito, unitamente alle indispensabili opere di drenaggio, la stabilizzazione delle scarpate stradali (frana 1) e la ricostruzione della sede stradale unitamente alla stabilizzazione del versante (frana 2), con l'aumento della biodiversità dell'area. Le talee di salice hanno sviluppato getti di diametro 1-3 cm con lunghezze di 2-4 m con copertura del 90% nella frana 1 e del 70% nella frana 2.

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Foto 1: Struttura di una palificata viva doppia di consolidamento del piede della frana1 (marzo 2000) - P. Cornellini



Foto 2: Interventi di sistemazione di un versante della frana 1 (marzo 2000) - P. Cornellini



Foto 3: Interventi della foto precedente a maggio 2002 - P. Cornellini



Foto 4: Idrosemina potenziata sulle terra rinforzata rinverdita (marzo 2002) - P. Cornellini



Foto 5: La terra rinforzata rinverdita a giugno 2003 - P. Cornellini

SCHEDA INTERVENTI DI INGEGNERIA NATURALISTICA

Compilatore	Daniele Dallari
Provincia	Rieti
Comune	Longone Sabino
Località	Monte Aquilone
Altitudine	1070 m slm
Esposizione	Nord - Est
Inclinazione del versante	15 – 25°
Specificità dell'intervento	L'intervento è consistito in un sistema a rete di lavori di recupero ecologico nell'ambito di un comprensorio silvo-pastorale caratterizzato da aree puntuali di degrado fisico-biologico (sovrappascolo, incendio) opposte ad altre aree contraddistinte dall'espansione potenziale del bosco. Tra i lavori sono state individuate specifiche azioni di I.N. di diversa natura e grado d'intensità, oltre a lavori selvicolturali e di ricostituzione ecologica. In particolare tali azioni hanno interessato fenomeni di erosione superficiale, su substrati ad elevata vulnerabilità e a bassissima impermeabilità, con affioramento di risorgive, erosioni dovute all'azione selvaggia delle acque superficiali e al pascolo soprattutto in anni passati.
Aspetti vegetazionali dell'area	La zona di transizione tra pascoli seminaturali ed incolti (a composizione e fisionomia molto variabile) ospita la faggeta submontana verso monte e querceti misti a <i>Quercus cerris</i> , <i>Quercus pubescens</i> , <i>Ostrya carpinifolia</i> , <i>Acer obtusatum</i> verso valle. Inoltre l'area è caratterizzata da frammenti di vegetazione ripariale arborea ed arbustiva (<i>Salix alba</i> , <i>Salix apennina</i> , <i>S. purpurea</i> , <i>Populus nigra</i>) e nuclei di vegetazione igrofila paucispecifici a <i>Juncus inflexus</i> , <i>Mentha aquatica</i> , <i>Ranunculus sp.</i> , <i>Epilobium sp.</i> , <i>Equisetum arvense</i> , frammisti a pratelli idromorfi discontinui.
Lineamenti geomorfologici	Area montana di contatto tra argille flysciodi e calcari marnosi, con dinamica in rapida trasformazione. La morfologia attuale della stazione è dovuta ad agente geomorfico delle acque selvagge di superficie che ha dato luogo ad una forma di versante con erosione incanalata severa, con formazioni di unghie di erosione incanalata di tipo "calanchivo" (lunghezza dei fossi in erosione da 30 a 140 m di lunghezza, pendenza longitudinale 15-30°, con scarpate profonde da 2 a 6 metri e pendenza 30-45° per una superficie totale di circa 1,5 ettari). Presenza di sorgenti. Suolo, poco evoluto, superficiale, spesso decapitato o assente, a seconda delle zone.
Obiettivo dell'intervento	Gli interventi d'ingegneria naturalistica hanno avuto come obiettivo la sistemazione e il recupero di una zona di versante naturale soggetto a dissesto idrogeologico locale, di particolare importanza per i servizi indiretti che esso esplica (fornitura d'acqua al paese, punto di abbeveraggio per gli animali al pascolo) e per gli aspetti di carattere ecologico (zona ecotonale molto ricca) e paesaggistico.
Tipologie e dimensioni dell'intervento	• Modellamento superficiale del substrato argilloso alterato nelle zone con creste ripide • Opere trasversali disposte sull'asta dei solchi erosi: sbarramenti tipo briglie in legno e pietrame (78 mc), palizzata in legno con ramaglia di salice (620 m). • Opere trasversali lungo le scarpate dei solchi di erosione, disposte per tutta la lunghezza della zona interessata a fenomeni di degradazione meteorica, distanti una dall'altra mediamente 2 m: – fascinata con ramaglia di salice (500 m) - impiegate nei settori con maggiore umidità ed in prossimità dei compluvi di erosione – – gradonata con talee di salice e piantine radicate (2350 m), cordonata secondo Praxl su banchine con letto di ramaglia, stangame longitudinale e talee di salice (1300 m), fascine drenanti. • Opere di rivestimento e copertura vegetale superficiale su tutta l'area

		lavorata: semina coltre protettiva di paglia tenuta al suolo da rete di juta (4750 mq) alla quale è stata aggiunta un idrosemina standard (5500 mq). Le sei briglie in legname realizzate, aventi la funzione principale di evitare l'approfondimento dei solchi di erosione e l'asportazione a valle del materiale fino, hanno dimensioni variabili da 5-7 m di larghezza, 1-1,5 m di profondità e 2-2,5 m di altezza.
Specie vegetali impiegate	Talee	Talee e ramaglia di <i>Salix purpurea</i> , <i>Salix alba</i> , <i>Salix apennina</i> e <i>Salix eleagnos</i> (quest'ultime due prelevate nei compluvi adiacenti)
	Piante radicate	oltre a <i>Rosa canina</i>, <i>Pyracantha coccinea</i>, <i>Spartium junceum</i> sono stati impiegate le seguenti specie, scelte in relazione alle caratteristiche particolare del substrato e a quelle biotecniche specifiche di alcune specie, anche se non presenti in zona. <i>Acer campestre</i>, <i>Laburnum anagyroides</i>, <i>Alnus cordata</i>, <i>Rhamnus catharticus</i>, <i>Corylus avellana</i>, <i>Salix caprea</i>, <i>Fraxinus excelsior</i>, <i>Sambucus nigra</i>, <i>Frangula alnus</i>, <i>Sorbus aria</i>, <i>Hippophae ramnoides</i>, <i>Viburnum lantana</i>. Negli interventi lineari la densità impiegata è stata da 3 a 6 piante a metro. Durante i lavori sono stati impiegati, nelle zone di deposito dei compluvi, porzioni di cespi di <i>Juncus</i> prelevati dalle zone limitrofe.
Materiali morti		- Gradonata secondo Praxl: stangame di castagno con cortecchia di diametro compreso tra 5 e 10 cm, ramaglia minuta di conifere proveniente dai diradamenti - Fascinata: paletti di castagno con punta, di lunghezza e diametro minimo rispettivamente di 60 cm e di 5 cm, filo di ferro o altro materiale durevole per legare le fascine - Palizzata: pali di castagno di castagno 12-15 cm di diametro, lunghezza da 1,5 a 2,5 m e/o di salice verde con le stesse caratteristiche, filagne trasversali di castagno di 8-10 cm di diametro di lunghezza da 2 a 5 m, pietrame medio e piccolo, ramaglia morta, filo e chiodi di ferro o altro materiale durevole per il fissaggio - Briglie: tronchi di castagno D 20-30 cm, staffe ad U in ferro e chiodi da 10-12 mm per fissaggio tronchi, materiale lapideo calcareo (spezzoni) di varia grandezza.
Periodo d'intervento		Gli interventi d'ingegneria naturalistica sono iniziati nel marzo del 1997 e sono terminati nella prima metà di maggio dello stesso anno
Osservazioni		Le variazioni più consistenti hanno riguardato: - La semplificazione delle tipologie costruttive con la riduzione delle fascinate; - L'introduzione dell'idrosemina con collante accanto alla semina con coltre protettiva, prevista dal progetto; - L'introduzione di una variante costruttiva della palizzata con ramaglia, per adattarla nelle zone più larghe e meno pendenti. L'attecchimento delle talee e della semina è stato fortemente condizionato oltre che dalla natura difficile del substrato (reazione alcalina, tessitura argillosa con scheletro abbondante, elevata alterazione e disgregazione delle scaglie marnose) anche da una primavera 1997 fortemente siccitosa e ventosa e, non da ultimo dal ritardo dei lavori eseguiti rispetto al cronoprogramma, che ha visto parte delle opere realizzate nel periodo di ripresa vegetativa delle piante. Per tale motivo nella primavera di due anni dopo (1999) è stata realizzata una idrosemina integrativa. Nel complesso si è raggiunto l'obiettivo di agevolare i processi naturali di recupero riducendo l'azione disgregatrice delle acque superficiali, anche se l'evoluzione del sistema procede lentamente per i fattori limitanti dovuti al substrato geologico.

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Foto 1: Veduta dell'area al momento dell'inizio lavori – inverno 96-97 - D. Dallari



Foto 2 e 3: Opere trasversali sui fossi in erosione : palizzate in legno con ramaglia a fine lavori e dopo 3 anni - D. Dallari



Foto 4 e 5: Opere trasversali sui fossi in erosione: sbarramenti in legno e pietrame: a fine lavori e dopo 4 anni – D. Dallari



Foto 6 e 7: Opere combinate di consolidamento tipo palificate doppie in legno e pietrame con gradonate rinforzate protette con semina su coltre di paglia tenuta con juta: a fine lavori e dopo 4 anni – D. Dallari



Foto 8: Particolare di realizzazione delle gradonate con talee e piantine radicate - D. Dallari



Foto 9: Particolare della gradonata rinforzata talee e piantine dopo 4 anni - D. Dallari



Foto 10: Visione d'insieme degli interventi effettuati prima della semina - D. Dallari



Foto 11: Fasi della semina con coltre protettiva di paglia e disposizione di rete di juta -D. Dallari



Foto 12, 13 e 14: Visione d'insieme di una zona d'intervento alla fine dei lavori, dopo 3 mesi e dopo 4 anni – D. Dallari

SCHEDA INTERVENTI DI INGEGNERIA NATURALISTICA

Compilatore		Paolo Giacchini
Provincia		Provincia di Pesaro e Urbino /
Comune		Fossombrone – S. Anna/ Cagli
Località		strada provinciale Tarugo
Altitudine		Da 220 a 530 m slm
Esposizione		NE - NW
Inclinazione del versante		30 –45°
Specificità dell'intervento		Si tratta di una serie di interventi di ripristino e consolidamento di alcune scarpate stradali realizzate nel territorio della Riserva Naturale Statale della Gola del Furlo, nell'ambito di specifiche iniziative formative coordinate dall'Amministrazione Provinciale di Pesaro e Urbino e organizzate dal Centro Studi Faunistici ed Ecologici di Pesaro, che hanno previsto l'esecuzione di cantieri didattici. Gli interventi hanno interessato aree in condizioni xerofile in cui sono state attuate le tradizionali tecniche dell'ingegneria naturalistica, sperimentando l'utilizzo di specie arbustive idonee alle caratteristiche ecologiche dell'area, tipicamente mediterranea. Gli interventi sono stati anche oggetto di ripetuti interventi di manutenzione, attraverso appositi corsi di aggiornamento realizzati in collaborazione con la sezione Marche dell'AIPIN.
Aspetti vegetazionali dell'area		Gli interventi sono stati realizzati in parte lungo strade in ambito agricolo a prevalenza di colture cerealicole non intensive, in parte in aree più naturali comprendenti ampie porzioni di lecceta pura allo stato alto arbustivo, e formazioni di orno-ostrieto.
Lineamenti geomorfologici		Alcune scarpate oggetto di intervento sono riferibili a situazioni degradate con detrito di falda ad elementi subspigolosi, eterodimensionali, calcareo marnosi e marnoso argillosi, derivante dall'alterazione della formazione della scaglia rossa. altre frane (strada provinciale tarugo) presentano marne calcaree e marne argillose della formazione della scaglia cinerea con stratificazione a reggipoggio, con grande produzione di detrito ad elementi subspigolosi ed eterodimensionali.
Obiettivo dell'intervento		I lavori hanno riguardato 4 aree con fenomeni franosi, innestatisi a seguito del taglio per la sede stradale e per la non corretta regolamentazione superficiale delle acque. In tutti i casi l'obiettivo è stato il ripristino della scarpata stradale con il suo consolidamento e reinserimento naturalistico e paesaggistico, tanto più importante trovandoci all'interno di una Riserva Naturale Statale. 1. S. Anna (palificata + grata) 2. S. Anna (palificata Roma) 3. Strada provinciale Tarugo (palificata + grata) 4. Strada provinciale Tarugo (palificata Roma e opere lineari)
Tipologie e dimensioni dell'intervento		Palificata viva a parete doppia h 2,5 m, L 12 m; grata viva h 5 m, L 12 m; messa a dimora di circa 120 arbusti; 2) Palificata Roma h 2,4 m L 4 m; messa a dimora di circa 50 arbusti; 3) Palificata viva a parete doppia h 1,0 m L 12 m + grata h 6 m, L 12 m; rete zincata a doppia torsione; idrosemina; messa a dimora di circa 150 arbusti; 4) Palificata Roma h 2,4 m L 8 m; cordonata + gradonata + viminata + fascinata drenante per una lunghezza di circa 15 m per singolo intervento, semina a spaglio; messa a dimora di circa 150 arbusti.
Specie	Talee	<i>Salix alba</i> , <i>S. purpurea</i> , <i>S. eleagnos</i> , <i>S. triandra</i> , <i>S. appennina</i>

vegetali impiegate	Piante radicate	Piante in fitocella: <i>Viburnum tinus</i> , <i>Crataegus monogyna</i> , <i>Cornus sanguinea</i> , <i>Spartium junceum</i> , <i>Ligustrum vulgare</i> , <i>Evonymus europaeus</i> , <i>Prunus spinosa</i> , <i>Prunus mahaleb</i> , <i>Prunus avium</i> , <i>Corylus avellana</i> , <i>Pyracantha coccinea</i> , <i>Rosa canina</i> , <i>Fraxinus ornus</i> , <i>Acer campestre</i> , <i>Ostrya carpinifolia</i> .
Materiali morti		Tronchi in castagno e pino nero scortecciati D 20-25 cm; barre acciaio a.m. D 14 mm; rete zincata a doppia torsione; astoni di salice e nocciolo.
Periodo d'intervento		Per le prime tre opere i lavori sono stati eseguiti nel periodo luglio-agosto (1996-2001) per esigenze didattiche, con interventi di manutenzione nel periodo primaverile (2002-2004). Il quarto intervento è stato realizzato nella primavera 2003.
Osservazioni		Gli interventi di ingegneria naturalistica hanno garantito un innesco più deciso della stabilizzazione delle scarpate stradali, bloccando la formazione dei detriti. Importante è stato l'approccio didattico nei confronti dei diversi corsi di formazione, sia durante l'esecuzione che nell'ambito della manutenzione. Altrettanto importante è stato lo sviluppo e la sperimentazione di tecniche a basso impatto ambientale nella gestione di un territorio protetto. L'utilizzo di piante nelle difficili condizioni edafiche dell'area ha permesso di verificare l'attecchimento e l'idoneità delle diverse specie arbustive. Le talee di salice (soprattutto <i>Salix purpurea</i> e <i>S. appennina</i>) hanno sviluppato getti nei primi due anni di intervento, per poi essere in parte sostituiti da specie più xerofile. Particolare sviluppo hanno conseguito le piante in fitocella, soprattutto di <i>Viburnum tinus</i>, ed in secondo luogo di <i>Rosa canina</i> e <i>Cornus sanguinea</i>.

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Foto 1: S. Anna, luglio 1999, prima dei lavori - P.Giacchini



Foto 2: S. Anna- struttura della grata settembre 1999 - P.Giacchini



Foto 3: S. Anna- grata viva settembre 1999 - P.Giacchini



Foto 4: S. Anna, maggio 2000 palificata e grata viva grata - P.Giacchini



Foto 5: Strada provinciale Targo prima dei lavori, aprile 2003 - P.Giacchini



Foto 6: SP Tarugo struttura palificata Roma, aprile 2003 - P. Giacchini



Foto 7: SP Tarugo prima dei lavori, luglio 2001 - P. Giacchini

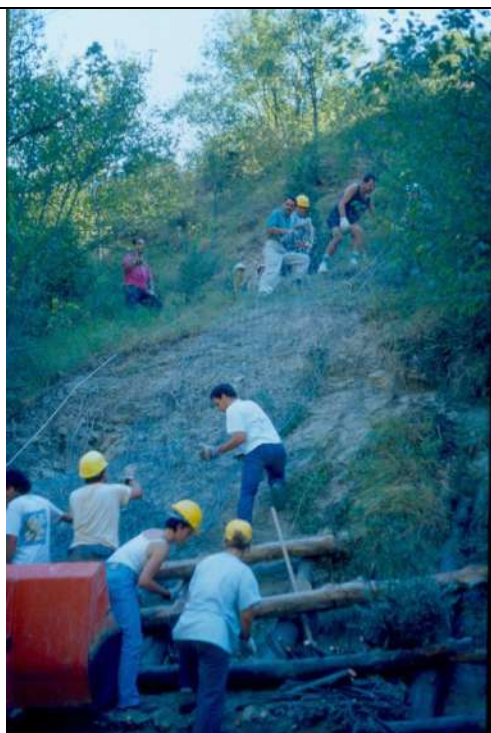


Foto 8: SP Tarugo luglio 2001 realizzazione rivestimento vegetativo - P. Giacchini



Foto 9: SP Tarugo agosto 2002 grata e rivestimento vegetativo - P. Giacchini

SCHEDA INTERVENTI DI INGEGNERIA NATURALISTICA

Compilatore		Carlo Bifulco, Paolo Cornellini, Gino Menegazzi
Provincia		Napoli
Comune		Comuni Vesuviani
Località		Complesso vulcanico Somma Vesuvio
Altitudine		In prevalenza 700-800 m slm con interventi a 400 m e 1000 m slm
Esposizione		Sud-Ovest prevalente
Inclinazione del versante		circa 35°
Specificità dell'intervento		Interventi di messa in sicurezza della viabilità per il controllo del territorio (antincendio, antibraconaggio) e per la fruizione turistica in un Parco Nazionale in ambito mediterraneo. Sperimentazione di tecniche di stabilizzazione di piroclastiti su lave. Riqualificazione professionale di operai ex disoccupati (lavoratori socialmente utili, LSU) con formazione in itinere.
Aspetti vegetazionali dell'area		Bosco di latifoglie a <i>Castanea sativa</i> , <i>Robinia pseudacacia</i> , <i>Alnus cordata</i> , <i>Ostrya carpinifolia</i> , <i>Fraxinus ornus</i> con varianti mesofile nei valloni a <i>Salix caprea</i> e <i>Sambucus nigra</i> .
Lineamenti geomorfologici		Coperture piroclastiche delle lave, anche di notevoli spessori, caratterizzate da elevata instabilità gravitativi.
Obiettivo dell'intervento		Stabilizzazione e consolidamento delle scarpate della viabilità forestale e sentieristica. Sistemazione idrauliche dei valloni. Sperimentazione di tecniche di I.N. (palificata Vesuvio, grata Vesuvio, etc) e delle attitudini biotecniche di arbusti mediterranei.
Tipologie e dimensioni dell'intervento		Palificata Vesuvio 590 mc, palificata semplice 850 mc, grata Vesuvio 380 mq, graticciate L 1500 m, briglie in legname e pietrame 180 mq, canalette in pietrame e legname 180 mq
Specie vegetali impiegate	Talee	<i>Salix alba</i> , <i>Salix alba varietas vitellina</i> e <i>Populus nigra</i> con scarsi risultati.
	Piante radicate	messe a dimora prevalentemente con il fusto interrato ed in vasetto: <i>Euonymus europaeus</i> , <i>Cornus sanguinea</i> , <i>Crataegus monogyna</i> , <i>Ligustrum vulgare</i> , <i>Arbutus unedo</i> , <i>Spartium junceum</i> , <i>Coronilla emerus</i> , <i>Fraxinus ornus</i> , <i>Corylus avellana</i> , <i>Acer campestre</i> , <i>Alnus cordata</i> .
Materiali morti		Legname di castagno scortecciato D 12-16 cm Barre di acciaio a.m. D 14 mm Pietrame reperito in sito D 15-20 cm
Periodo d'intervento		I lavori, iniziati nel novembre 1997 - 2006
Osservazioni		Le opere di I.N. hanno resistito a eventi meteorici estremi che nelle aree limitrofe hanno prodotto danni alluvionali. I tronchi delle strutture si presentano senza marcescenza; nel territorio del Parco si trovano palizzate del 1973 con parte dei tronchi in castagno D 8-10 cm ancora in buone condizioni. Le talee hanno avuto percentuali di attecchimento estremamente basse, causa il substrato altamente drenante unitamente al prolungato periodo di aridità estiva. Il 90% delle piante radicate trattate correttamente prima della messa a dimora è sopravvissuto, grazie anche all'interramento del fusto (circa 80-90 cm) che ha ridotto lo stress termico ed idrico. Gli interventi sono stati eseguiti senza l'ausilio di mezzi meccanici e non è mai stato effettuato l'annaffiamento estivo, né sono stati somministrati ormoni radicali. Un gruppo di 40 L.S.U. ex disoccupati, con le nuove professionalità formatesi nei lavori di I.N., ha costituito una cooperativa che opera sul mercato dal 2001. Gli interventi di I.N. risultano un tema di scambio delle "migliori pratiche" in programmi di cooperazione internazionale che vedono il Parco Nazionale del Vesuvio come capofila transnazionale.

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Foto 1: Operai L.S.U. in fase di realizzazione di una palificata Vesuvio sec. Menegazzi (ottobre 1999) - G. Menegazzi



Foto 2: Palificata doppia con grata Vesuvio sec. Menegazzi con arbusti radicati; fase di costruzione (luglio 2003) - G. Menegazzi



Foto 3: Palificata doppia con grata Vesuvio sec. Menegazzi con arbusti radicati; fine lavori settembre 2003 Monte Somma - G. Menegazzi



Foto 4: Briglia 1906 - Foto R. Simonetti

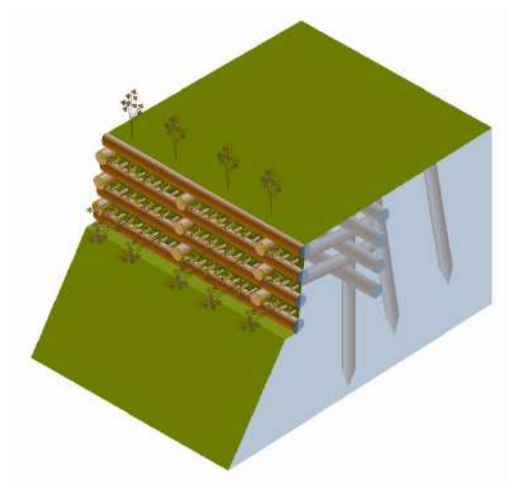


Foto 5: Schema tridimensionale della palificata Vesuvio sec. Menegazzi

SCHEDA INTERVENTI DI INGEGNERIA NATURALISTICA

Compilatori		Paolo Cornellini, Antonello Liberatore, Lionello Sacchetti
Provincia		L'Aquila
Comune		Pizzoli
Località		Fosso del Buco
Altitudine		850-1150 m slm
Esposizione		prevalente Sud-Sud Ovest
Inclinazione del versante		Inclinazione media 30°
Specificità dell'intervento		Lavori di ripristino dell'assetto ambientale ed idrogeologico del versante montuoso soggetto ad erosione ed instabilità a seguito dell' incendio del 6 agosto 2001
Aspetti vegetazionali dell'area		Rimboschimenti artificiali di conifere (pino nero e pino silvestre)
Lineamenti geomorfologici		Detrito di falda ricoprente, con spessori variabili, una matrice di calcari marnosi e dolomie
Obiettivo dell'intervento		Messa in sicurezza del centro abitato sottostante dalle colate rapide di detrito; riqualificazione ambientale e paesaggistica dei versanti
Tipologie e dimensioni dell'intervento		Imboschimento (7 ha), interventi antierosivi, stabilizzanti e consolidanti: idrosemina (14.000 mq), palizzate vive (10.000 m), grata viva (50 mq), palificata viva doppia (50 mq), briglie in legname e pietrame n. 20, il tutto su una superficie complessiva di 24 ha
Specie vegetali impiegate	Talee	<i>Laburnum anagyroides</i>
	Piante radicate	(circa 12.000): <i>Fraxinus ornus</i> , <i>Ostrya carpinifolia</i> , <i>Pyrus sylvestris</i> , <i>Crataegus monogyna</i> , <i>Spartium junceum</i> , <i>Cornus sanguinea</i> , etc.
Materiali morti		Tronchi di pino nero recuperati in loco D 15-30 cm per le palizzate; tronchi di castagno D 15-20 cm per le palificate e la grata; picchetti in ferro a.m. D 14 mm
Periodo d'intervento		Agosto 2002 – Novembre 2003
Osservazioni		L'intervento è ben riuscito nella parte strutturale, realizzata quasi completamente con materiale bruciato riciclato (tronchi, ramaglia). Le piante radicate autoctone sono state messe a dimora nel novembre 2003.

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Foto 1: Lavori di realizzazione delle palizzate morte (ottobre 2002) - Sacchetti, Liberatore



Foto 2: Le palizzate, unitamente alla piantagione degli arbusti autoctoni, hanno permesso il recupero della protezione antierosiva della vegetazione (novembre 2003) - Sacchetti, Liberatore

SCHEDA INTERVENTI DI INGEGNERIA NATURALISTICA

Compilatore		M.L. Bernabei, G. Mazzoni, A. Pei
Provincia		Siena
Comune		S. Casciano dei Bagni
Località		Casa del Rigo
Altitudine		Quota media 430 m slm
Esposizione		Sud
Inclinazione del versante		fra 45% e 130%
Specificità dell'intervento		Gli interventi progettati fanno parte del programma di ricerca C. M. Cetona, Regione Toscana "Regolamento CEE 2081/93 - obiettivo 5/B - misura 6.4 "Recupero dei corsi d'acqua degradati per la salvaguardia dei centri abitati e degli insediamenti produttivi Azione "Interventi per l'attività di ricerca". Il progetto costituisce un caso limite, si tratta di un bacino calanchivo che confluisce con un modesto tributario in sinistra idrografica del T. Rigo (bacino del fiume Paglia). A monte del calanco sono presenti un insediamento poderale ed una strada la cui salvaguardia, con opere di ingegneria naturalistica, ha costituito la finalità della sperimentazione. Il risultato perseguito è stato il rallentamento del fenomeno di erosione regressiva e non il completo rinverdimento del bacino.
Aspetti vegetazionali dell'area		Vegetazione discontinua, tipica delle aree calanchive sottoposta a processi dinamici molto rapidi.
Lineamenti geomorfologici		L'area di intervento è caratterizzata da depositi pliocenici marini di fase trasgressiva, che dal basso verso l'alto schematicamente, sono: - argille ed argille sabbiose del pliocene inferiore - sabbie e sabbie argillose del Pliocene Medio - brecce e conglomerati - calcari organogeni e detritici del Pliocene Superiore. Nell'area calanchiva in oggetto, le argille costituiscono la quasi totalità delle litologie presenti.
Obiettivo dell'intervento		-Individuare tecniche di consolidamento a basso impatto ambientale su aree calanchive : creare una esperienza esportabile. -Mettere in sicurezza un insediamento agricolo e una strada. -Sperimentare specie autoctone, erbacee per seme e arbustive per talea, su suoli argillosi in base alle caratteristiche ecologiche. -Favorire l'occupazione riqualificando la mano d'opera.
Tipologie e dimensioni dell'intervento		Rialzamento del fondo: Brigliette a palizzata riempite di fascine; briglia a palificata doppia poligonale; briglia a cassone con gaveta centrale; palificata semplice; briglia a palizzata viva filtrante. Consolidamento e difesa dall'erosione – ripristino vegetazionale: Grate vive con palificate di sostegno ad una parete. Drenaggio e regimazione idrica superficiale: drenaggio superficiale con fascine; drenaggio profondo con fascine morte; rivestimento vegetale di fossi e solchi di erosione. Ricostituzione del manto erboso: semina di miscuglio commerciale e di sfalcato con biostuoia in iuta a maglia media; biofiltro in trucioli di legno e fibra di cocco; biostuoia in paglia. Sono stati sistemati 6.000 mq di versante.
Specie vegetali impiegate	Talee	Talee di salice, tamerice, corniolo, biancospino e fascine di <i>Arundo pliniana</i> .
	Piante radicate	Piantine radicate di corniolo, biancospino, rosa canina, prugnolo, ligustro. Sementi di erbacee: <i>Lolium perenne</i> , <i>Trifolium pratense</i> , <i>Trifolium repens</i> , <i>Lotus corniculatus</i> , <i>Medicago lupulina</i> , <i>Medicago sativa</i> , <i>Vicia sativa</i> , <i>Onobrychis viciifolia</i> , <i>Achillea millefolium</i> , <i>Hedysarum coronarium</i>
Materiali morti		Tronchi in castagno scortecciati (D15-25 cm); ramaglia; tondino acciaio a.m. D 12 mm; biotessile in juta, biofiltro in trucioli di legno e fibra di cocco, biostuoia in paglia; tessuto non tessuto; tubo microfessurato.
Periodo d'intervento		Autunno 1998 – Maggio 1999
Osservazioni		Ad oggi si può affermare che le tecniche dell'ingegneria naturalistica ben si adattano agli interventi di consolidamento e recupero delle aree calanchive. Il notevole aumento della copertura erbacea fornisce indicazioni promettenti su una certa stabilizzazione e sulla dinamica futura della copertura vegetazionale. Le talee di salice non sono adatte, le talee di tamerice danno buoni risultati se vengono annaffiate durante la prima stagione vegetativa.

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

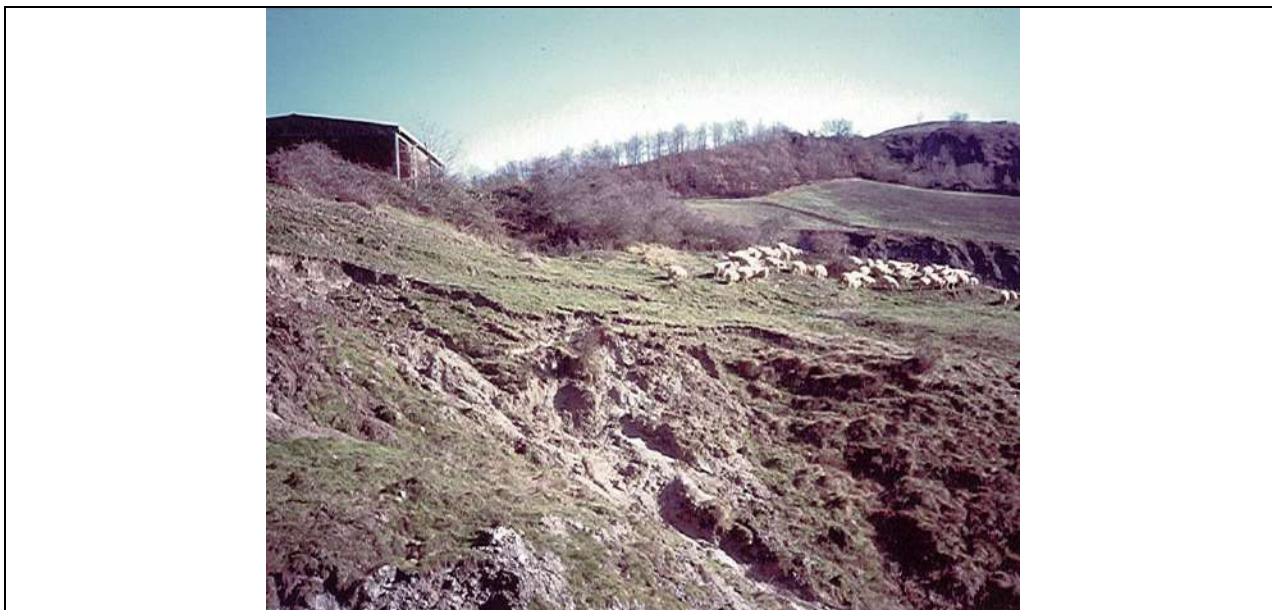


Foto 1: Frana di scivolamento rotazionale sul coronamento. Il fenomeno è diffuso e determina l'arretramento del calanco - Bernabei, Mazzoni, Pei



Foto 2: Visione d'insieme dopo gli interventi alla seconda stagione vegetativa - Bernabei, Mazzoni, Pei



Foto 3: Impluvio secondario. Interventi di rialzamento del fondo, Febbraio 1999. - Bernabei, Mazzoni, Pei



Foto 4: Impluvio secondario, Aprile 2000 - Bernabei, Mazzoni, Pei



Foto 5: Grata, copertura diffusa e palizzate filtranti a lavori ultimati - Bernabei, Mazzoni, Pei



Foto 6: Grata, copertura diffusa e palizzate filtranti alla prima stagione vegetativa - Bernabei, Mazzoni, Pei

SCHEDA INTERVENTI DI INGEGNERIA NATURALISTICA

Compilatore		Paolo Cornellini, Alessandro Trigila
Provincia		Lucca, Massa e Carrara
Località		Territorio Comunità Montana Alta Versilia
Specificità dell'intervento		Il 19 giugno 1996 un nubifragio di eccezionale violenza ha colpito numerosi comuni dell'Alta Versilia nelle province di Lucca e Massa Carrara, con precipitazioni eccezionali e concentrate su un'area limitata che hanno raggiunto, dalle prime ore del mattino al pomeriggio, i 470 mm a Pomezzana e provocato ingenti danni su un'area di circa 60 Km ² . L'area colpita comprende parte delle Alpi Apuane a ridosso del litorale e coincide con parte del bacino del F. Versilia. Gli interventi di sistemazione idraulico-forestale con tecniche di ingegneria naturalistica effettuati su vastissima scala rappresentano l'esperienza più ampia di impiego di queste tecniche in ambito montano non alpino. La scelta delle tecniche più idonee è stata resa possibile anche grazie ai cantieri sperimentali di ingegneria naturalistica predisposti già nel 1997 e sottoposti poi a monitoraggio. I lavori eseguiti con varie modalità (economia in amministrazione diretta, appalto a cooperative agricole forestali, etc) hanno avuto positive ricadute sull'occupazione locale
Aspetti vegetazionali dell'area		Il territorio è scarsamente antropizzato con estese coperture forestali caratterizzate, a partire dalla fascia basale verso quella montana, da: querceto-carpineti, cerreto- carpineti, castagneti e faggete
Lineamenti geomorfologici		Le formazioni dominanti appartengono al Complesso Metamorfico Apuano ed alla Falda Toscana con versanti acclivi, valli strette e pareti rocciose che si innalzano fino ai 1869 m del Pania della Croce. A seguito del nubifragio si sono avuti intensi sovralluvionamenti nelle aste fluviali dei fondovalle, derivati da fenomeni gravitativi e dai processi erosivi con volumi superiori al milione di mc e con spessori di oltre 10 m di sedimenti. I fenomeni franosi maggiormente diffusi possono ricondursi a fenomeni di scorrimento traslativo lineare evolutisi in colate di materiali parzialmente saturi o saturi di acqua (Brugioni Marzocchi, 1998), ai quali va aggiunta l'azione erosiva lineare dei corsi d'acqua nelle aste e quella areale del ruscellamento sui versanti. L'eccezionale intensità delle precipitazioni sui detriti di copertura e sui suoli saturi ha comportato l'evoluzione dei dissesti in colate detritiche tipo <i>debris flow</i> . Tali dissesti hanno interessato prevalentemente spessori non superiori ai 3 m su versanti con pendenze maggiori di 35° e localizzati in prevalenza sugli affioramenti dei terreni filladico-arenacei della formazione del Pseudomacigno. In corrispondenza degli affioramenti carbonatici c'è stata invece una prevalenza delle azioni erosive lineari.
Obiettivo dell'intervento		Sistemazioni di dissesti franosi e dei corsi d'acqua per ridurre il trasporto solido a valle
Tipologie e dimensioni dell'intervento		Palificate vive doppie, briglie in legname, palizzate, gradonate vive, fascinate drenanti, canalette in legname e pietrame, idrosemine, per un importo di circa 3,5 milioni di euro. Tra le varie decine di lavori va ricordata la sistemazione della frana di Pomezzana che, con una superficie di 13 ettari di interventi di ingegneria naturalistica, sembra risultare la più estesa d'Europa.
Specie vegetali impiegate	Talee	<i>Salix purpurea</i> e <i>Salix eleagnos</i> .
	Piante radicate	di latifoglie: <i>Crataegus monogyna</i> , <i>Euonymus europaeus</i> , <i>Cornus sp.pl.</i> , <i>Prunus spinosa</i> , <i>Laburnum anagyroides</i> , etc.
Materiali morti		Tronchi di castagno D 20-30 cm per le palificate; tondame di castagno D 10-12 cm per le canalette, pietrame, picchetti acciaio a.m., geotessuto tridimensionale.
Periodo d'intervento		Dal 1997
Osservazioni		Gli interventi di ingegneria naturalistica di sistemazione e prevenzione dei dissesti, tutti perfettamente riusciti, hanno dimostrato di essere i più idonei in zone lontane dalla viabilità e di elevata qualità ambientale, in quanto riducono al minimo il trasporto di materiali e utilizzano al massimo le risorse presenti in loco.

	I dissesti hanno interessato molte aree boscate, mettendo in evidenza che l'effetto positivo di aumento della stabilità dei versanti ad opera degli alberi è legato alla capacità degli apparati radicali di ammorsare lo strato di suolo alle fratture del substrato roccioso; ove questo non si verifici a causa dei forti spessori di suolo o per carenza di fratture nella roccia, l'effetto benefico di stabilizzazione resta per le precipitazioni normali, ma non per quelle eccezionali.
--	---

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

	
Foto 1: Frana di Pomezzana (novembre 2000) - A. Trigila	Foto 2: Frana di Pomezzana (giugno 2003) - A. Trigila

	
Foto 3: Frana T. Cardoso (maggio 2000) - A. Trigila	Foto 4: Frana T. Cardoso (giugno 2003) - A. Trigila

SCHEDA INTERVENTI DI INGEGNERIA NATURALISTICA

Compilatore		Emanuele Guidi del Dipartimento Territorio Ambiente della Repubblica di San Marino
Stato		Repubblica San Marino
Comune		Acquaviva
Località		Ca Amadore (<i>Bacino calanchivo di Fosso del Re</i>)
Altitudine		200-300 m slm
Esposizione		Nord
Inclinazione del versante		17-35°
Specificità dell'intervento		Bonifica idrogeologica dei bacini calanchivi mediante la realizzazione di briglie in terra e calcestruzzo, con le quali viene riprofilata la pendenza del fosso di fondovalle e con il rimodellamento dei versanti, asportandone le creste e tamponando i burroni. La bonifica ha interessato 13 bacini per una estensione complessiva di circa 1000 ha; a titolo esemplificativo se ne prenderà in esame solamente uno. Alla bonifica primaria sono seguiti interventi di rinaturalizzazione.
Aspetti vegetazionali dell'area		Aggruppamenti vegetali termoxerofili tipici delle aree calanchive formati da: canneti ad <i>Arundo pliniana</i> , praterie con dominanza di <i>Agropyrum repens</i> e <i>Brachypodium pinnatum</i> , praterie arbustate con dominanza di <i>Rosa canina</i> , <i>Spartium junceum</i> e <i>Tamarix gallica</i> , macchie a <i>Quercus pubescens</i> e <i>Fraxinus ornus</i> .
Lineamenti geomorfologici		Il bacino di Fosso del Re è costituito dalle Argille Varicolori della Val Marecchia, complesso caotico prevalentemente argilloso nel quale sono incorporati frammenti litologici di varia natura. La tipica morfologia calanchiva a ventaglio con creste inframmezzate da solchi di erosione e burronamenti è stata addolcita con la realizzazione di una serie di briglie in terra ad anfiteatro.
Obiettivo dell'intervento		La bonifica primaria persegue la riduzione della pendenza dei versanti ed il loro consolidamento, nonché la regimazione delle acque superficiali per diminuirne la forza erosiva e contenere l'ampliamento dei processi di dissesto. Questa fase è poi seguita da interventi di rinaturalizzazione con tecniche di ingegneria naturalistica antierosive e/o stabilizzanti, volte a conseguire equilibri sostenibili ed a innescare successioni ecosistemiche.
Tipologie e dimensioni dell'intervento		Rimodellazione dei versanti con mezzi meccanici, costruzione di briglie in terra e di una rete di canalizzazioni per convogliare le acque a valle su una estensione di circa 20 ha (anni 1990-1994). Esecuzione di idrosemina potenziata con mulch su una superficie complessiva di circa 9 ha (anni 1993-1994). Realizzazione di una briglia viva in legname a tre paramenti aventi uno sviluppo lineare complessivo di 25,3 m ed altezza totale di 2,5 m. Realizzazione in un fosso in erosione di n.7 palizzate per impluvi aventi ciascuna un'altezza di 1 m, con sviluppo complessivo degli interventi di 36,8 m (aprile 2003).
Specie vegetali impiegate	Talee	<i>Tamarix gallica</i>
	Piante radicate	Arbusti radicati di: <i>Prunus spinosa</i> , <i>Prunus mahaleb</i> , <i>Fraxinus ornus</i> , <i>Cornus sanguinea</i> , <i>Hippophae rhamnoides</i> , <i>Rosa canina</i> , <i>Spartium junceum</i> , <i>Salix purpurea</i> , <i>Sambucus nigra</i>
Materiali morti		Tronchi di castagno scortecciati D 8-20 cm; barre di acciaio a.m. D 14-16 mm; fascine di ramaglia.
Periodo d'intervento		Bonifica idrogeologica ed idrosemina: 1990-1994; briglia e palizzate: aprile 2003.
Osservazioni		Gli interventi di bonifica idrogeologica nei bacini calanchivi della Repubblica di San Marino sono iniziati nell'anno 1978 sulla base di un Piano Generale, redatto con la filosofia d'intervento allora messa a punto dal Consorzio di Bonifica di Brisighella. La pressoché completa realizzazione del Piano ha determinato in

generale una drastica riduzione dell'erosione e del trasporto solido, un sostanziale consolidamento dei versanti, una diminuzione degli smottamenti ed un potenziale arresto dell'espansione dei dissesti alle aree confinanti. La bonifica primaria ha però comportato anche un cospicuo denudamento dei versanti rimodellati con conseguenti rischi di erosione superficiale, così a partire dal 1993 è stato messo in essere un Piano di Inerbimento delle superfici brulle onde proteggerle e rinaturalizzarle. Per dare attuazione a tale piano sono state sperimentate diverse tecniche di ingegneria naturalistica; la più efficiente è risultata l'idrosemina potenziata con mulch. Gli interventi di inerbimento hanno conseguito una copertura delle pendici pari al 70-80% a seconda delle situazioni, in particolare, i crinali dove affiorano le argille vergini sovraconsolidate sono risultati i più ostici. Nel 2002 è stato costituito a San Marino un Gruppo Interdisciplinare di Esperti in Ingegneria Naturalistica (GIEIN) cui è stato affidato il compito di individuare lo sviluppo progettuale ed esecutivo di tali tecniche su vasta scala, al fine di conseguire una definitiva stabilizzazione e rinaturalizzazione dei calanchi. Il Gruppo ha redatto un primo Piano di Bacino per il Fosso del Re che prevede la realizzazione di 40 interventi, con opere singole o combinate tra loro, la cui attuazione è ripartita in stralci esecutivi e dovrebbe essere completata entro l'anno 2006.

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Foto 1: Panoramica aerea degli interventi di bonifica nel Bacino di Fosso Riva, uno dei più estesi (aprile 1994) - Foto Archivi Dipartimento Territorio e Ambiente RSM



Foto 2: Vista frontale della bonifica del bacino di Fosso del Re dopo l'idrosemina (ottobre 2002) - Foto Archivi Dipartimento Territorio e Ambiente RSM



Foto 3: Briglia viva in legname impiegata per il consolidamento di una nicchia smottata (settembre 2003) - Foto Archivi Dipartimento Territorio e Ambiente RSM



Foto 4: Palizzata per impluvi in erosione (aprile 2003) - Foto Archivi Dipartimento Territorio e Ambiente RSM

SCHEDA INTERVENTI DI INGEGNERIA NATURALISTICA

Compilatore		Federico Boccalaro
Provincia		Savona
Comune		Quiliano
Località		Cadibona
Altitudine		293 m slm
Esposizione		Nord
Inclinazione del versante		30 – 45°
Specificità dell'intervento		L'intervento realizzato rappresenta il primo caso, in Regione Liguria, di sistemazione, con tecniche di Ingegneria Naturalistica, di un versante in frana prospiciente una linea ferroviaria. Costituisce inoltre il primo esempio, in Italia, di un cantiere didattico organizzato per operai ferroviari, anticipatamente formati presso la Provincia Autonoma di Bolzano. Il progetto è stato affiancato da un'analisi di redditività economica (metodo del V.A.N.).
Aspetti vegetazionali dell'area		Querceti e castagneti
Lineamenti geomorfologici		Substrato: conglomerato poligenico cementato a franapoggio con coltre superficiale argilloso-sabbiosa di spessore 2-5 m. Frana di colata ("soil slip") di tipo superficiale con venute d'acqua localizzate.
Lineamenti climatologici		Precipitazioni medie annue: 1341 mm (intense e di breve durata). Giorni con pioggia all'anno: 120. Giorni con neve all'anno: 6. Venti: prevalenti da NE con velocità media annua di 3,8 m/s. Temperatura media annua: 15,2 °C. Umidità relativa media annua: 69%. Numero di ore di sole annue: 2218. Clima: mediterraneo.
Obiettivo dell'intervento		Consolidare e rinaturalizzare un pendio franoso con elevato rischio di erosione reso instabile dalle alluvioni del settembre 1992. Formare il personale ferroviario all'utilizzo di tecniche di ingegneria naturalistica per la manutenzione della sede FS.
Tipologie e dimensioni dell'intervento		Lunghezza frana: 100 m. Altezza ciglio frana dal piede: 14 m. Superficie frana: 1100 m². Volume di terreno mobilitato: 400 m³. Area di intervento: 658 m². • Grata viva semplice in legname con talee di salice h = 8 m, L = 20 m, maglia di 1,5 m in orizzontale per 1,0 m in verticale. • Rivestimento vegetativo con rete zincata a doppia torsione sovrapposta a biofello in fibre miste e trucioli di legno S = 280 m². • Steccato in legname con talee di salice e piantine radicate su due file L = 7 m. • Fascinata viva stabilizzante con verghe di salice e piantine L = 20 m. Fascinata viva drenante L = 8 m in verticale con diramazioni a spina di pesce. • Cordonata viva con talee di salice e piantine radicate L = 34 m su due file. Semina a spaglio.
Specie vegetali impiegate	Talee	<i>Salix alba</i> , <i>Salix purpurea</i> .
	Piante radicate	Arbusti in fitocella: <i>Crataegus monogyna</i> , <i>Cornus sanguinea</i> , <i>Cytisus scoparius</i> . Piantine radicate di alberi in fitocella: <i>Acer campestre</i> , <i>Fraxinus ornus</i> . Miscuglio bilanciato di sementi foraggiere: <i>Festuca sp.</i> , <i>Phleum</i> , <i>Trifolium sp.</i> , <i>Lolium</i> , ecc. Il CFS ha fornito gratuitamente le piantine
Materiali morti		Tondame di castagno (□ = 20-30 cm, L = 3-4 m). Ramaglia di castagno. Verghe di salice. Rete zincata a doppia torsione. Elementi di sostegno al piede in spezzoni di rotaie in acciaio. Biofello in fibre miste preseminato e preconciato e biofello in trucioli di legno.
Periodo d'intervento		Novembre - Dicembre 1994

Osservazioni

L'analisi di redditività ha dimostrato che l'intervento con tecniche di I.N., rispetto a un lavoro di consolidamento con tecniche tradizionali, risulta più vantaggioso, soprattutto in terreni accidentati. Ciò in quanto consente economia di mezzi, attrezzature e materiali, si ripaga in breve tempo e qualifica le maestranze. Tale esperienza può essere riproducibile in grande scala a condizione che la Produzione Ferroviaria punti maggiormente sull'autonomia di lavoro e di spesa. L'intervento, a distanza di 10 anni ha avuto un completo successo con la messa in sicurezza e la rinaturalizzazione della scarpata.

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Foto 1: La grata durante i lavori novembre 1994 - P. Cornellini



Foto 2: La grata a primavera 1995 - S. Pirolì



Foto 3: I lavori a aprile 1995 - F. Boccalaro



Foto 4: I lavori a maggio 1996 - F. Boccalaro

SCHEDA INTERVENTI DI INGEGNERIA NATURALISTICA

Compilatore:	Umberto Bruschini
Provincia	Savona
Comune	Noli - Spotorno
Località	Voze e Tosse
Altitudine	30 – 130 m slm
Esposizione	Sud - Est
Inclinazione del versante	10 –40°
Specificità dell'intervento	L'intervento è stato effettuato in due porzioni di area percorsa da due incendi (1988 e 1998, sup.tot. ca. 200 ha) che hanno determinato la completa distruzione della copertura vegetazionale preesistente con consistenti fenomeni di erosione superficiale e con formazioni calanchive diffuse sui versanti a maggiore pendenza. L'intervento di recupero ambientale è stato impostato a partire da opere di difesa del suolo con tecniche di I.N., con impiego di materiali morti per il miglioramento delle caratteristiche del suolo (compost verde e chips legnosi). Sono state realizzate alcune parcelle pilota sperimentali con diverso impiego di chips e compost e di diverse composizioni specifiche di arbusti.
Aspetti vegetazionali dell'area	Arbusteti radi ed aree prive di vegetazione derivanti da ripetuti passaggi del fuoco in pinete a prevalenza di pino marittimo, con piano arbustivo di specie termofile mediterranee, a margine di aree agricole terrazzate e nuclei abitati
Lineamenti geomorfologici	Le due zone di intervento sono caratterizzate dalla formazione dei Porfiroidi del Melogno, a tessitura scistosa pervasiva altamente tettonizzati che hanno favorito l'insorgere di fenomeni di erosione concentrata di grandi dimensioni, e di calanchizzazione lungo le linee di massima pendenza. Sono presenti alcuni dissesti puntuali con movimento per scivolamento traslazionale e rototraslazionale e segni evidenti di erosione areale per ruscellamento diffuso, con coltri minime e roccia subaffiorante diffusa, di evidente origine da incendio (per eliminazione della copertura vegetazionale e danni al suolo)
Obiettivo dell'intervento	• Avvio di processi spontanei di recupero del suolo e della vegetazione, mediante apporto di sostanza organica al suolo e posa a dimora di specie autoctone. • A breve termine, consolidamento dei fenomeni di erosione incanalata e riduzione dell'erosione superficiale. • Applicazione di criteri innovativi per il reimpiego in sito della sostanza organica ancora presente dopo il passaggio del fuoco (impiego di legname per palizzate semplici e chips di risulta da operazioni di bonifica) oltre che per l'uso di compost nel rinterro delle opere di I.N.
Tipologie dell'intervento	• Palificate a doppia parete: n° 113 per volume totale di 1.645 mc. • Palizzate semplici: ml. 2.100 • Grata viva: mq. 55 • Rivestimento con rete in juta: 2.320 mq. • Fornitura e posa di cippato e compost: ca. 470 mc. • Inerbimento manuale e idrosemina: ca. 46.000 mq.
Dimensioni dell'intervento	Superficie complessiva dell'intervento ca. 18 ha.

Specie vegetali impiegate	Piante radicate	<i>Arbutus unedo</i> , <i>Spartium junceum</i> , <i>Cytisus scoparius</i> , <i>Phyllirea angustifolia</i> , <i>Myrtus communis</i> , <i>Lavandula stoechas</i> , <i>Lavandula officinalis</i> , <i>Erica arborea</i> , <i>Rhamnus alaternus</i> , <i>Calicotome spinosa</i> , <i>Rosa canina.</i> , <i>Ceratonia siliqua</i> , <i>Fraxinus ornus</i> , in massima parte prodotte in vivaio locale in fitocella.
Materiali morti impiegati		• Tondame di castagno scortecciato Ø 18-20 cm e Ø 8-12 cm., • tondino in acciaio Ø 12-14 mm., • rete biodegradabile in fibra di juta 550 gr./mq., • chips legnosi, • compost verde, • pietrame reperito in loco, • materiali per idrosemina, • terra di coltivo, • paglia
Periodo d'intervento		Novembre 2003 – giugno 2004
Osservazioni		A pochi mesi dall'ultimazione degli interventi si può rilevare come le opere di I.N. abbiano efficacemente consolidato i fenomeni di dissesto attivi e le aree a maggiore calanchizzazione, con un soddisfacente livello di attecchimento della vegetazione posta a dimora (circa il 90 %) con ottimi accrescimenti per le ginestre (60-80 cm. in 4 mesi), ma anche per corbezzolo, orniello, etc.; per le zone ad erosione areale diffusa (con impiego di palizzate semplici e semine) si rilevano analoghi livelli di attecchimento, ma la minore intensività dell'intervento comporterà effetti positivi rilevabili a partire dalle prossime riprese vegetative. I buoni livelli di attecchimento delle piantine sono dovuti anche all'impiego di specie autoctone, giovani (1-2 anni di età), coltivate in loco. L'apporto di materiali organici in copertura (chips, compost e paglia) risulta assolutamente favorevole sia alle piantagioni (i chips svolgono anche una efficace azione pacciamante) che alle semine, migliorando il substrato e svolgendo, a breve termine, anche una efficace azione antierosiva sul terreno; si osservano evidenti differenze di attecchimento delle semine tra aree con apporto di sostanza organica ed aree prive di esso.

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Foto 1: Tratto di versante con fenomeni di erosione incanalata nell'area di Tosse (Spotorno), ad inizio lavori (febbraio 2004) - U. Bruschini



Foto 2: Lo stesso tratto di versante (Tosse, Spotorno) ad ultimazione dei lavori di consolidamento con serie di palificate in legname a doppia parete marzo 2004 - U. Bruschini



Foto 3: Lo stesso tratto di versante, a circa 45-50 giorni dalla ripresa vegetativa maggio 2004 - U. Bruschini



Foto 4: Accumulo di compost e ramaglia derivante da operazioni di bonifica (da sminuzzare con cippatrice), per l'apporto di sostanza organica al terreno aprile 2004 - U. Bruschini



Foto 5: Impiego di mezzi meccanici leggeri per la realizzazione di opere di I.N., a margine di viabilità di servizio – febbraio 2004 - U. Bruschini



Foto 6: Sistemazione di piccoli solchi di erosione con brevi tratti di palificate a doppia parete, a circa 30-40 giorni dalla ripresa vegetativa – maggio 2004 - U. Bruschini



Foto 7: Effetti dell'idrosemina in tratto di versante trattato con apporto di chips legnosi e compost, a circa 40 giorni dall'intervento – giugno 2004 - U. Bruschini

SCHEDA INTERVENTI DI INGEGNERIA NATURALISTICA

Compilatore		Staffler Julius
Provincia		Bolzano
Comune		Stelvio
Località		Fracches
Altitudine		1600 – 1650 m slm
Esposizione		Nord
Inclinazione del versante		39 – 48°
Specificità dell'intervento		Stabilizzazione di una frana in pendio ripido, formatasi dopo di che il torrente sottostante ha scavato il piede del pendio.
Aspetti vegetazionali dell'area		Ambito forestale (conifere) ed agricolo (prati e pascoli)
Lineamenti geomorfologici		La frana si è formata su depositi morenici con materiale non stratificato e, almeno in parte poco coesivo. Una volta eroso il piede del pendio il materiale sovrastante si è mobilizzato.
Obiettivo dell'intervento		Stabilizzazione di una frana di tipo traslazionale ad alta pendenza con prevalenza di erosione superficiale, per evitare il trasporto di materiale nell'alveo del Rio Plaz sottostante.
Tipologie dell'intervento		Sono stati costruite due file di palificate vive (23m x 2,4m x 2m e 26m x 2,4m x 2m): Su quello superiore si appoggia una grata viva, lunghezza max. 30m, larghezza max. 26m
Specie vegetali impiegate	Talee	
	Piante radicate	Piante a radice nuda: <i>Sorbus aucuparia</i> , <i>Alnus incana</i> , <i>Prunus padus</i> , <i>Salix appendiculata</i>
Materiali morti		Tronchi di larice scortecciati, rotaie ferroviarie
Periodo d'intervento		Maggio 2003
Osservazioni		Tra le due palificate, dove non è stata costruita una grata viva nell'autunno 2003 si è mobilizzata una piccola frana superficiale durante una pioggia intensa. La zona più ripida stabilizzata con una grata viva, invece, non si è mossa. Il solo rinverdimento ancora rado non è stato sufficiente come protezione dall'erosione superficiale.

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Fasi sequenziali d'intervento:



Foto 1



Foto 2



Foto 3

SCHEDA INTERVENTI DI INGEGNERIA NATURALISTICA

Compilatore		Staffler Julius
Provincia		Bolzano
Comune		Prato allo Stelvio
Località		Montechiaro
Altitudine		1150 m slm
Esposizione		Nord
Inclinazione del versante		30 – 33°
Specificità dell'intervento		Stabilizzazione di varie frane laterali nel corso inferiore del Rio Cavallaccio
Aspetti vegetazionali dell'area		Ambito forestale (bosco ad alto fusto di conifere)
Lineamenti geomorfologici		Il Rio Cavallaccio scorre in questo tratto lungo una linea di fattura geologica, dove si è approfondito abbastanza velocemente, scavando in roccia degradata. Per evitare l'erosione dell'alveo é stata costruita una serie di briglie di consolidamento in calcestruzzo armato. Sui pendii laterali, in particolar modo su quelli in destra orografica, caratterizzati da materiale piú frammentato e degradato si stavano instaurando varie frane, che continuavano a riversare materiale al torrente.
Obiettivo dell'intervento		Stabilizzazione di frane traslazionali laterali con prevalenza di erosione superficiale, evitando il trasporto di materiale nell' alveo del Rio Cavalaccio sottostante.
Tipologie dell'intervento		Sono state costruite file di gradonate vive
Specie vegetali impiegate	Talee	Talee di salice (<i>Salix purpurea</i>)
	Piante radicate	Piante a radice nuda: <i>Sorbus aucuparia</i> , <i>Alnus incana</i> , <i>Prunus padus</i> , <i>Fraxinus excelsior</i> , <i>Lonicera xylosteum</i> , <i>Sambucus nigra</i> , <i>Viburnum opulus</i>
Materiali morti		Tondami di legno per collegare e strutturare le gradonate
Periodo d'intervento		Maggio 2004

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Sequenza d'intervento:



Foto 1



Foto 2



Foto 3

SCHEDA INTERVENTI DI INGEGNERIA NATURALISTICA

Compilatore		Staffler Julius
Provincia		Bolzano
Comune		Prato allo Stelvio
Località		Montechiaro
Altitudine		1300 – 1350 m slm
Esposizione		Nord
Inclinazione del versante		25° – 30°
Specificità dell'intervento		Stabilizzazione di una frana laterale nel corso inferiore del Rio dell'Alpe
Aspetti vegetazionali dell'area		Ambito forestale (bosco ad alto fusto di conifere)
Lineamenti geomorfologici		Nel corso inferiore il Rio dell'Alpe si è approfondito notevolmente scavando in materiale morenico poco coesivo. Per evitare ulteriore erosione nell'alveo è stata costruita una serie di briglie di consolidamento in calcestruzzo armato. Sul pendio laterale, in orografica destra, si è formata una frana con continuo apporto di materiale nel torrente.
Obiettivo dell'intervento		L'obiettivo dell'intervento era di stabilizzare la frana evitando il trasporto di materiale nell'alveo del Rio dell'Alpe sottostante.
Tipologie dell'intervento		Sono state costruite file di gradonate vive
Specie vegetali impiegate	Talee	Talee di salice (<i>Salix purpurea</i>)
	Piante radicate	Piante a radice nuda: <i>Alnus incana</i> , <i>Sorbus aucuparia</i> , <i>Prunus padus</i> , <i>Fraxinus excelsior</i> , <i>Lonicera xylosteum</i> , <i>Sambucus nigra</i>
Materiali morti		Tondami di legno per collegare e strutturare le gradonate
Osservazioni		A differenza della parte inferiore della sistemazione, la parte superiore è stata sottoposta a brucatura da parte della selvaggina. Si nota una minor crescita rispetto alla parte inferiore.

SCHEDA INTERVENTI DI INGEGNERIA NATURALISTICA

Compilatore		Alexander Pramstraller
Provincia		Bolzano
Comune		Prato allo Stelvio
Località		
Altitudine		1.050 m slm
Esposizione		SSW
Inclinazione del versante		30-40°
Specificità dell'intervento		Il progetto rappresenta diversi interventi di ingegneria naturalistica con l'obiettivo di sistemare un'erosione spondale causata da intense precipitazioni dell'anno 1987
Aspetti vegetazionali dell'area		Ambito boschivo (prevalenza di larici e abeti); vegetazione riparia
Lineamenti geomorfologici		Micascisti quarziferi, paragneis, morene
Obiettivo dell'intervento		I lavori hanno riguardato un' area franosa sulla sponda sinistra del rio Solda, innestatasi a seguito di intense precipitazioni nel 1987; area interessata: ca. 5.500 m ²
Tipologie dell'intervento		• scoronamento 160 m, gradonate vive 1.440 m², idrosemina 5.400 m², piantagione di latifoglie 4.800 m² • gradonate vive 770 m², idrosemina 3.700 m², fascine drenanti 137 m, piantagione di latifoglie 3.100 m² • costruzione di 3 palificate vive a parete doppia con le dimensioni h 2,5 m L 20 m; h 2,2 m L 66,2 m; h 2,1 m L 35,3 m, rinverdimento biostuoia di juta e paglia 680 m², idrosemina 4.200 m²; palificata viva a parete doppia 166 m³
Specie vegetali impiegate	Talee	Talee di <i>Salix purpurea</i> e <i>Salix caprea</i> ;
	Piante radicate	Arbusti radicati: <i>Alnus incana</i> , <i>Prunus padus</i> , <i>Fraxinus excelsior</i> , <i>Sarbus aucuparia</i> , <i>Cornus sanguinea</i>
Materiali morti		Tronchi di larice D 18-28 cm, barre d'acciaio, biotessile di juta, semente, paglia, concime
Periodo d'intervento		1): primavera 1989; 2): primavera 1990; 3): primavera 1994; 4): primavera 1995
Osservazioni		Gli interventi di ingegneria naturalistica hanno garantito la sistemazione dell'erosione spondale. Le piante hanno raggiunto un'altezza di 2-4 m e la sponda si presenta ben rinverdata.

13. CASISTICA DEI PRINCIPALI SETTORI INFRASTRUTTURALI DI APPLICAZIONE DELL'INGEGNERIA NATURALISTICA

13.1 Applicabilità dell'Ingegneria Naturalistica alle cave

13.1.1 Peculiarità dell'attività estrattiva

L'attività estrattiva legata alla coltivazione ed alla lavorazione dei minerali è un'attività primaria fondamentale (come l'agricoltura, la pesca, la forestazione) per il soddisfacimento di bisogni essenziali dell'uomo, motore del progresso sociale, ed è caratterizzata da precise peculiarità:

- ★ i giacimenti di materie prime minerali commercialmente utilizzabili, sono “là dove si trovano”, cioè dove le vicende geologiche della terra li hanno collocati;
- ★ la “non rinnovabilità” delle risorse di cui si tratta;
- ★ la dinamicità delle opere di coltivazione (ed attività connesse) comporta una continua mutevolezza spaziale dei cantieri interessati;
- ★ la possibilità di interferenze o impatti sul paesaggio e/o sulle risorse naturali, ambientali, territoriali.

Queste caratteristiche richiedono, da parte degli addetti al settore (amministratori, esercenti, tecnici e specialisti), approfondite conoscenze di tipo multidisciplinare, avanzata cultura d'impresa, aggiornamento professionale.

E' evidente, quindi che l'attività estrattiva, pur essendo connotata da interesse pubblico e di “non rinunciabilità” da parte della società moderna, deve essere progettata, esercitata, gestita in un quadro di “sviluppo sostenibile” garante sia del progresso socio-economico sia della compatibilità ambientale e territoriale, nonché dell'esigenza di miglioramento della “qualità della vita” che l'attuale società fortemente esprime.

13.1.2 Il recupero ambientale come obbligo normativo

Con la legge delega del '77 (D.P.R. 616/77), venivano trasferite alle Regioni le competenze della gestione del settore dei minerali di 2a categoria (cave).

Le miniere, (1a categoria) amministrate fino a poco tempo fa dallo Stato, con la legge Bassanini n. 59/97 e n. 112/98, sono state anch'esse trasferite alle Regioni; per cui oggi la gestione del settore estrattivo è unificata a livello Regionale.

Il “recupero ambientale” dei siti estrattivi, assume la sua importanza giuridico-amministrativa con le prime leggi sulle cave degli anni '80 in tutta Italia.

In particolare in quegli anni si passa da una situazione generalizzata in cui l'imprenditore estrattivo per esercitare la sua attività necessitava solo di una “denuncia di esercizio” effettuata otto giorni prima dell'inizio lavori, segnando in rosso su mappa catastale l'area di intervento, ad un'autorizzazione rilasciata da organi competenti (spesso suffragati da pareri di speciali commissioni tecniche) sulla base di un “progetto di coltivazione e recupero” oggi ormai quasi sempre accompagnato da uno Studio di Impatto Ambientale

Non solo, di solito il progetto doveva anche definire i costi degli interventi delle opere di sistemazione, il cui valore complessivo costituiva l'importo a base delle garanzie fidejussorie che l'Amministrazione concedente richiedeva all'istante.

Venivano così codificati in quasi tutta Italia (ancora oggi ci sono Regioni che non hanno una legge sulle cave) i seguenti principi:

il recupero ambientale è un'attività obbligatoria legata a quella di coltivazione mineraria;

il recupero ambientale nasce nello stesso momento della progettazione di una cava, quindi pensato in maniera organica ed unitaria nell'istante in cui si definiscono i parametri geometrici e le metodologie di scavo;

il recupero ambientale non è più un optional per l'impresa, ma un obbligo sociale garantito da una polizza fidejussoria o cauzionale.

13.1.3 Tipologie di cava, metodi di coltivazione

Si riporta di seguito una descrizione delle tipologie di cava e dei metodi di coltivazione utilizzabili, in quanto per ogni sito si possono individuare differenti modalità estrattive, ognuna delle quali condiziona in maniera diversa i risultati ottenibili nel recupero naturalistico dei luoghi.

In maniera semplificata si possono individuare le seguenti tipologie di cava:

★ **cave di monte**

★ **cave di pianura**

Le **cave di monte** si sviluppano su di un versante e possono essere ancora suddivise in:

- culminali
- a mezza costa
- pedemontane

Connotazione comune delle cave a mezza costa e culminali è il notevole impatto visivo, in parte mitigabile con un'accurata progettazione, e l'acclività delle scarpate finali che condiziona pesantemente le metodologie di recupero adottabili; i cantieri estrattivi pedemontani sono più facilmente occultabili dagli elementi naturali presenti nel territorio circostante (alberature, linee elettriche, caseggiati, ecc.).

Per la mitigazione della visibilità si adottano metodologie di coltivazione particolari (fette orizzontali discendenti) che consentono di ridurre le aree "in vista" mediante azioni di recupero "contestuali" o aventi un minimo sfasamento temporale con le escavazioni; sono efficaci ulteriormente le azioni di mimetizzazione quali la creazione di quinte visive (in terra o alberate) o invecchiamenti artificiali della roccia che creino in un tempo molto breve colorazioni che necessiterebbero in natura di decine di anni.

Non dimentichiamo infatti che la forma di impatto più diffusa di una cava di monte è percepita dalla collettività è quella visiva, dovuta in generale al contrasto cromatico tra le pareti nude di cava (di solito biancastre per i litotipi calcarei tra i più diffusi sul territorio nazionale) e l'ambiente circostante spesso boscato o comunque vegetato.

Nelle **cave di pianura** gli scavi sono condotti al di sotto del piano topografico di campagna e possono essere suddivise in:

- a fossa
- a pozzo.

La caratteristica delle prime è la presenza di piste e rampe che collegano il piazzale di cava (posto a quote ribassate) con la pianura soprastante.

L'elemento peculiare delle cave a pozzo, è l'assenza di collegamenti stradali tra il piazzale di base e la quota campagna; si può avere in questo caso o un'inaccessibilità del fondo scavo da parte di mezzi ed uomini (che coltivano il giacimento a partire dalla pianura), o collegamenti mediante mezzi verticali di sollevamento (ascensori, derrick, gru, etc.).

Nelle cave di pianura, sia le problematiche di impatto paesaggistico sono limitate (a causa della visibilità radente, e quindi alla facile occultabilità che consente una visione solo da quote nettamente superiori a quelle del piano campagna), sia il reinserimento ambientale può risultare facilitato per i minori dislivelli in gioco (dell'ordine della decina di metri), per la minore acclività delle scarpate finali adottabili, per la più agevole viabilità e spesso come fattore condizionante dell'efficacia delle opere a verde, per la presenza di una falda acquifera affiorante o posta a debole profondità.

L'elemento acqua configura anche un'ulteriore classificazione delle cave di pianura in "**sopra falda**" e "**sotto falda**", derivando da tale situazione una diversificata scelta di metodologie estrattive (macchinari ed impianti) ed ovviamente scenari di riambientamento ed anche di riuso dei luoghi completamente differenziati (parchi fluviali, laghetti per pesca sportiva, ecc.).

13.1.4 Tipologie di recupero ambientale in Italia

Le finalità del recupero ambientale devono essere quelle di riportare l'uso del suolo allo stato precedente l'attività estrattiva, oppure quelle del miglioramento del contesto ambientale complessivo attraverso investimenti mirati alla compensazione della perdita temporanea o definitiva di alcuni beni naturali.

In generale i tipi di recupero possono essere:

- a) forestazione; a fini naturalistici, inclusa la realizzazione di aree naturalistiche protette;
- b) valorizzazione per scopi agricoli; nell'area di cava vengono create condizioni che favoriscono l'uso agricolo dell'area stessa;
- c) destinazione dei luoghi a scopi sociali e ricreativi.

Oltre al recupero naturalistico, usualmente un obbligo imprenditoriale nei dispositivi autorizzatori, garantito da impegni fideiussori significativi (che oggi arrivano a diversi milioni di euro per cave di certe dimensioni), la sfida progettuale e territoriale, laddove le condizioni lo consentano, è quella dei “riusi”, e cioè quella di utilizzare in positivo le modifiche morfologiche ed anche ambientali introdotte da un'attività antropica particolare come quella estrattiva, cogliendone le opportunità in termini di insediamenti turistici, ricreativi, industriali, opere pubbliche e private, ecc.

Le tecniche di rivegetazione fanno ricorso ai principi e metodologie dell'ingegneria naturalistica. Data la grande varietà di ambienti e di condizioni pedoclimatiche presenti in Italia, per ogni intervento di rivegetazione di cava dovranno essere indagati nei contenuti essenziali i settori di analisi naturalistica e geopedologica per fornire il quadro di riferimento stazionario sul quale basare le scelte progettuali.

Per quanto riguarda le tecniche risultano proponibili 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, ecc.) sono possibili, ma vanno considerate di impiego localizzato o per casi particolari, principalmente per motivi di costo.

CAVE DI PIANURA

Le escavazioni in pianura sfruttano, come già detto, giacimenti di origine alluvionale (ghiaie, sabbie, argille, ecc.) con morfologie di scavo a fossa che possono o meno interessare le falde acquifere sottostanti.

Si individuano le tipologie di recupero di seguito descritte.

Tipologie di recupero di cave in falda

Le escavazioni in pianura di una certa profondità mettono spesso a nudo la falda freatica creando degli specchi d'acqua che si prestano a vari tipi di recupero/reutilizzo quali:

- Laghetti di uso pescasportivo con veri e propri campi gara molto diffusi in tutta la pianura padano-veneta;
- Laghetti di uso fruitivo anche con funzioni di balneazione estiva, relativamente frequenti nel centro Europa, poco proponibili in Italia salvo alcuni casi molto noti tra cui l'Idroscalo di Milano;
- Recupero di tipo prettamente naturalistico con ricostruzione di ecosistemi palustri in cui le morfologie di abbandono devono prevedere una fascia riparia a bassa pendenza (in genere max 1:10), indispensabile per ricostruire gli elementi della idroserie della vegetazione palustre.



Foto 358: Esempio di cava di ghiaia in falda, 1982 Foto: J. Ott



Foto 359: Ripristino naturalistico-fruttivo in cava di ghiaia in falda, 1982 Foto: J. Ott

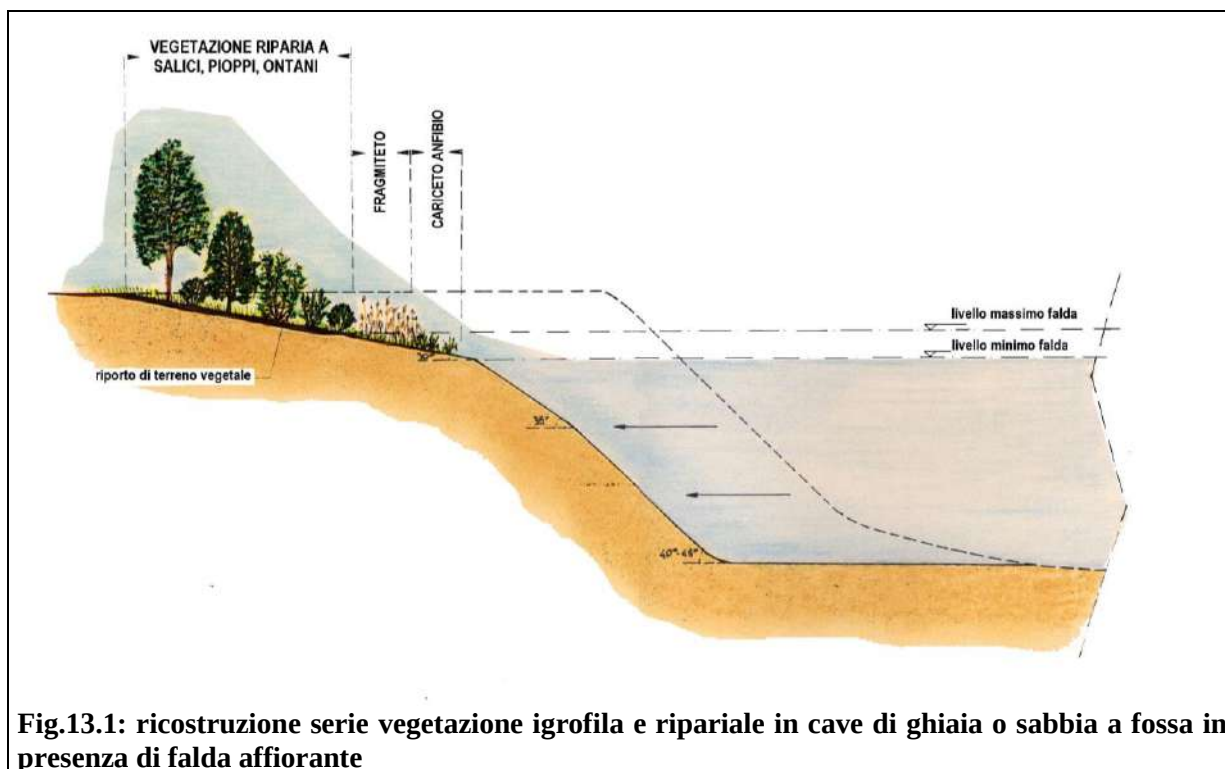


Fig.13.1: ricostruzione serie vegetazione igrofila e ripariale in cave di ghiaia o sabbia a fossa in presenza di falda affiorante

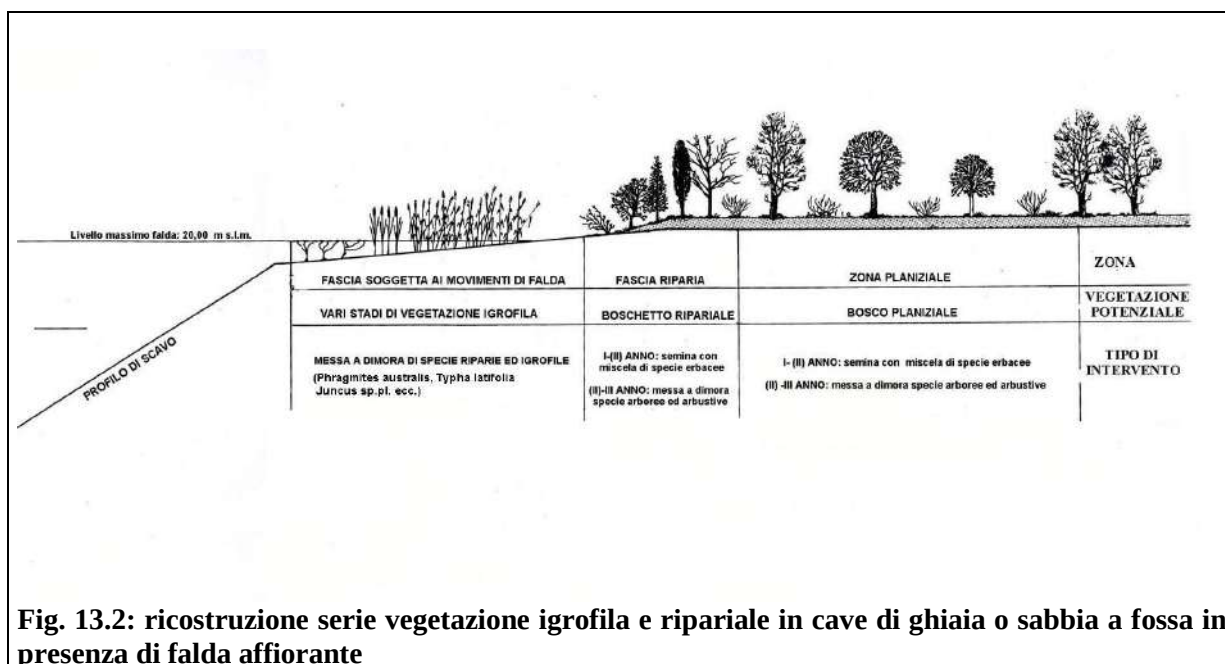


Fig. 13.2: ricostruzione serie vegetazione igrofila e ripariale in cave di ghiaia o sabbia a fossa in presenza di falda affiorante



Foto 160: Ripristino naturalistico con ricostruzione dell'idroserie in ex cava di ghiaia in falda, 1982 Foto: J. Ott

Tipologie di recupero di cave sopra falda

Si intendono le cave a fossa molto diffuse in pianura e che interessano normalmente profondità non superiori ai 20 m dal piano campagna. Il recupero di tali morfologie può essere:

1) di **tipo naturalistico** ed è legato al rispetto di alcune condizioni:

- Non interessamento della falda freatica (fondo cava almeno di 2 m superiore al livello di massima escursione dello specchio di falda);
- Pendenza delle scarpate non superiore ai 32° (meglio se di 25°);
- Morfologia finale delle scarpate a tirata unica anche se la morfologia di scavo prevedeva i gradoni;
- Recupero del terreno agrario di scotico e sua stesura per lotti successivi sulle scarpate e sul fondo cava;
- Rivegetazione mediante semine e messa a dimora di arbusti ed alberi autoctoni;
- Eventuale impiego di tecniche stabilizzanti (gradonate, viminate vive) sulle scarpate.

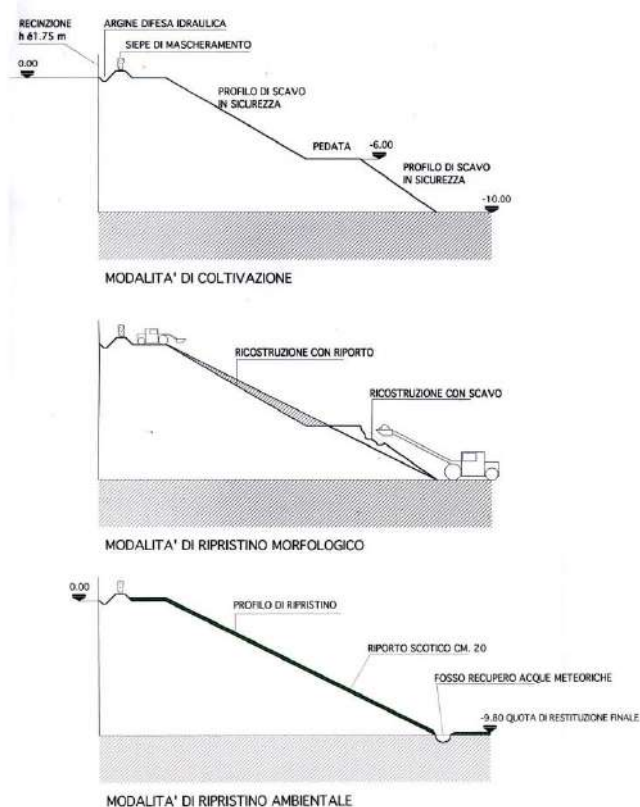


Fig.13.3

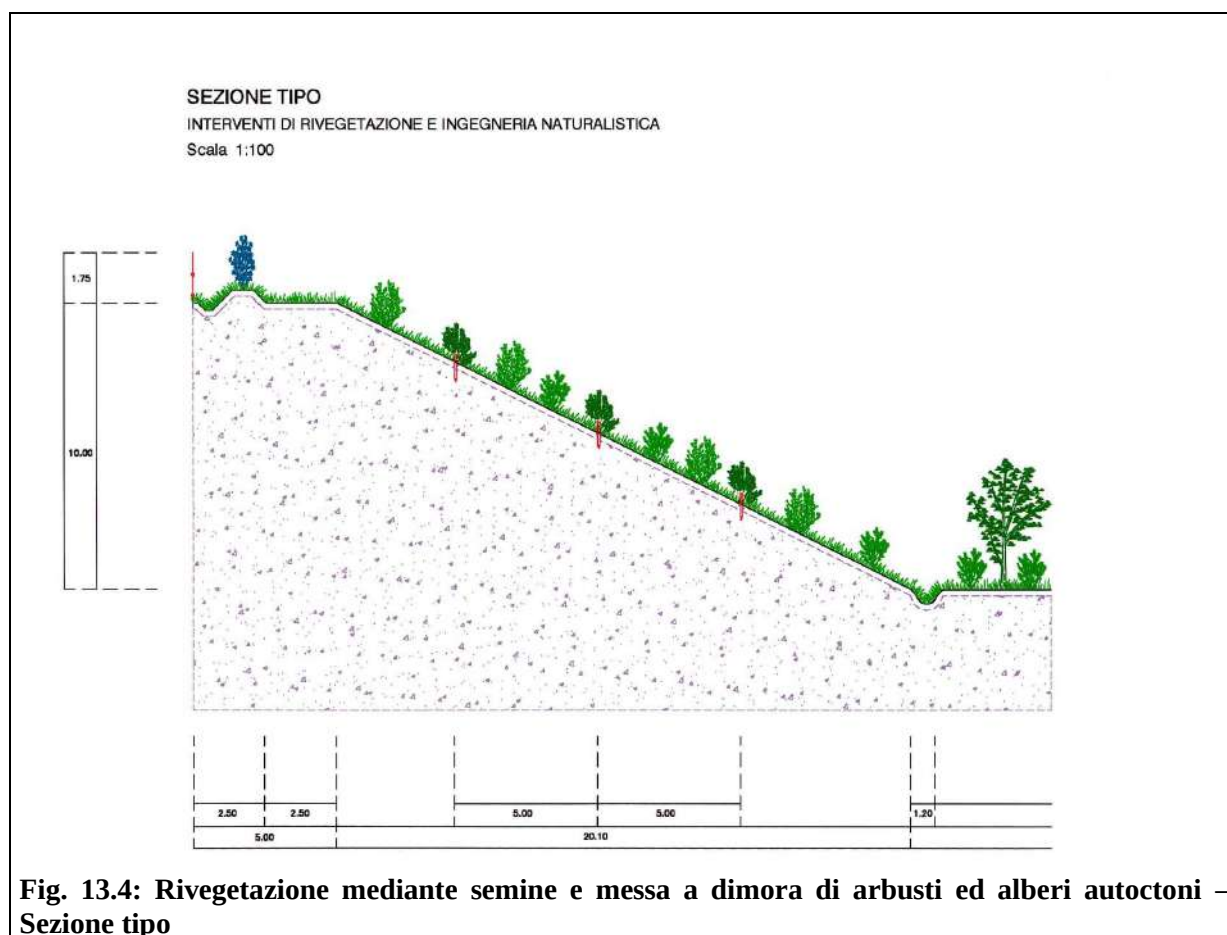


Foto 361: Ripristino naturalistico di cava di ghiaia a fossa soprafalda a prato stabile, Cordenons (PN), 2000 Foto: O. Scian



Foto 362: Recupero di fondo cava sopra falda a prato stabile, loc. Colle Umberto (TV), 1983

Foto: G. Sauli



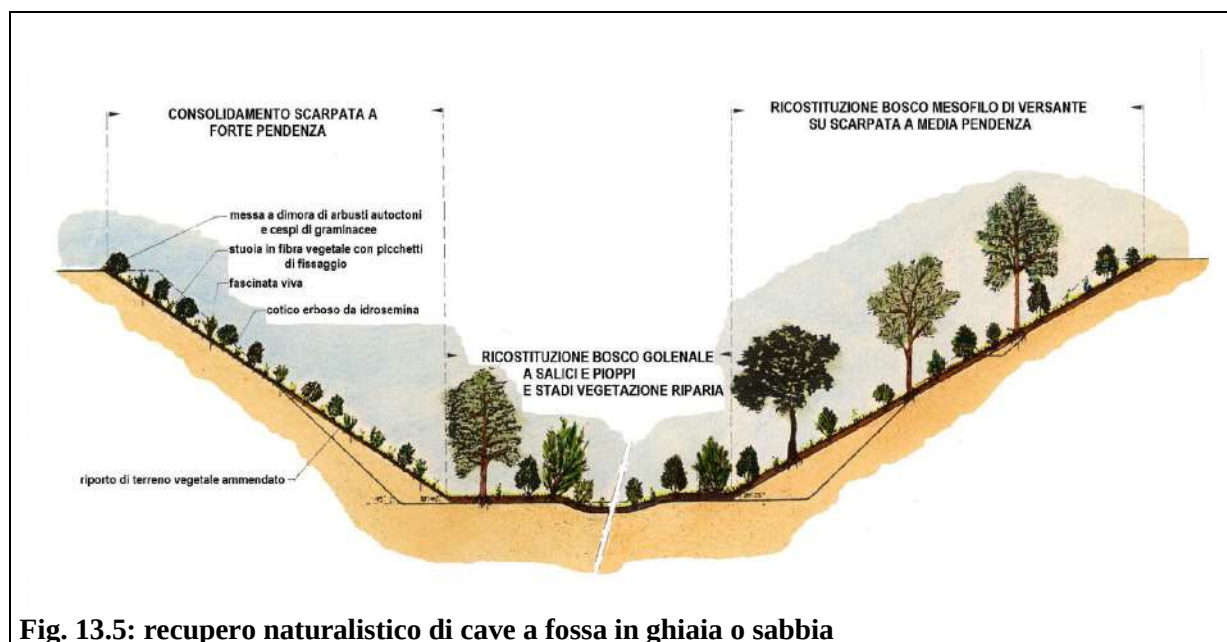


Fig. 13.5: recupero naturalistico di cave a fossa in ghiaia o sabbia

2) di tipo agricolo o misto agricolo-naturalistico

Le cave a fossa si prestano al reutilizzo quali depositi di inerti di scarto e quindi ad un loro parziale o totale ritombamento e successivo recupero di tipo misto.

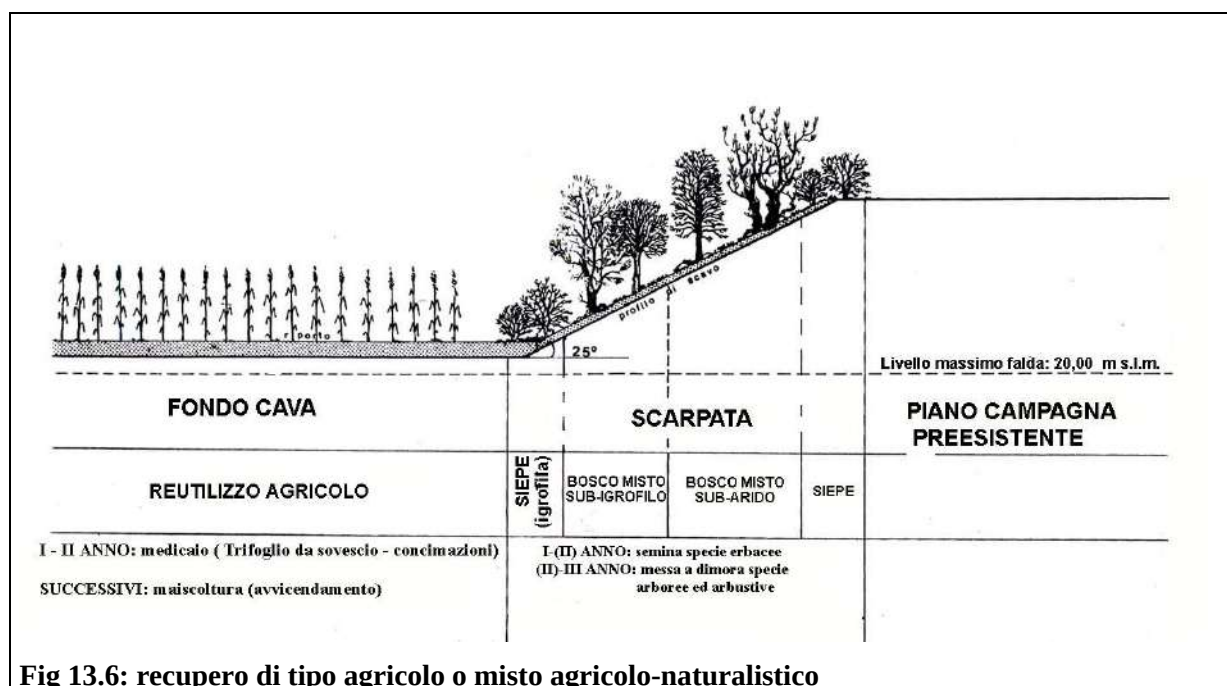


Fig 13.6: recupero di tipo agricolo o misto agricolo-naturalistico



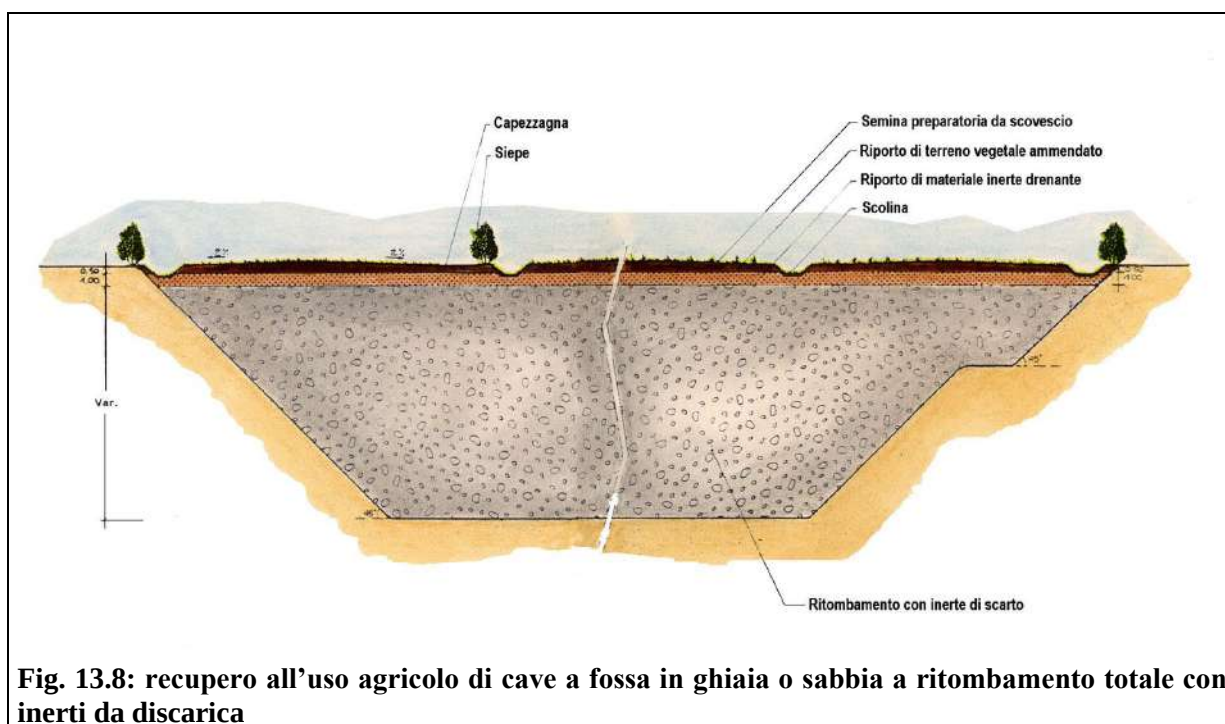
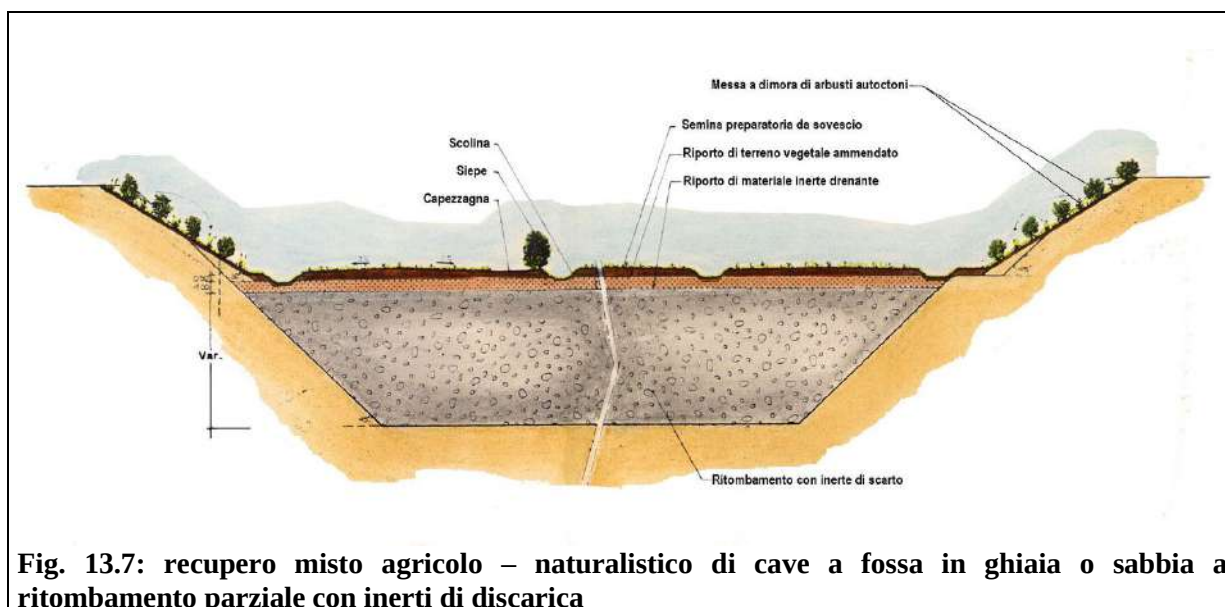
Foto 363: Recupero all'uso agricolo su piano ribassato cava ex Stefanel, fase di scavo, Gonars (UD) giugno 1983 - Foto: G. Sauli



Foto 364: Recupero all'uso agricolo su piano ribassato cava ex Stefanel, Gonars (UD), 2001 Foto: G. Sauli



Foto 365: Recupero all'uso agricolo su piano ribassato cava ex Stefanel (Gonars UD) - medicaio da sovescio 1983 Foto: G. Sauli



CAVE DI MONTE

Le cave di monte (dette anche cave in roccia o di versante) costituiscono in Italia una delle grosse problematiche territoriali e di impatto ambientale con migliaia di cave attive.

Molti sono i fattori che hanno determinato la distribuzione pressoché su tutto il territorio nazionale di tali "ferite" paesaggistiche:

- La prevalente morfologia montana alpina ed appenninica di quasi l'80 % del territorio nazionale;
- la vasta disponibilità dei giacimenti nelle zone pedemontane (uno dei materiali più richiesti sono gli inerti calcarei);
- la dislocazione delle richieste di mercato in prossimità dei centri abitati e lungo gli assi stradali di fondovalle;
- altre considerazioni di natura urbanistica e socio-economica in relazione alla realizzazione di grandi infrastrutture viarie ed industriali;
- la disponibilità di mezzi e tecnologie estrattive che consentono oggi grosse operazioni di scavo in tempi brevi.

Le possibilità di recupero degli ambiti di cava in roccia di versante a fine coltivazione sono varie, ma principalmente:

- recupero e reutilizzo di tipo urbanistico sia industriale che edilizio fruitivo e abitativo;
- ripristino di condizioni naturalistiche e paesaggistiche mediante interventi morfologici e di rivegetazione.

Vengono prese in considerazione le problematiche legate alla seconda possibilità, per ottenere la quale si possono ulteriormente distinguere le metodologie di intervento che seguono; vale in linea di massima la distinzione nelle principali tipologie di intervento che seguono.

Coltivazioni a gradoni

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

- A) **di difficile intervento** a verde nei casi di fronti di cava subverticali (60° o più) con piccoli gradoni, spesso inaccessibili. Si riporta come esempio la cava di Monsummano (Toscana) nella quale lo scavo è stato subverticale e i risultati del ripristino sono stati alquanto deludenti anche perché come specie ricolonizzatrice è stato impiegato il cipresso dell'Arizona, mentre la circostante vegetazione è a lecceta nel versante sud e a bosco mesofilo in quello nord. Tali interventi con filari di resinose esotiche sui gradoni non danno nessun risultato neanche di natura visuale.

Qualche risultato si ottiene sui rilevati basali previa riporti di terreno vegetale o compost combinati con opere stabilizzanti o palizzate di contenimento come nel caso della cava Melta (vicino Trento) dove la morfologia risultava migliore e la riconversione è stata attuata tramite graticciate e riporti di terra.

Un caso di buona riuscita di interventi di rivegetazione su rilevati basali è quello della cava "Fous" di Maniago (PN). Tale cava è stata rinverdita alla fine degli anni '70 inizio anni '80, mediante idrosemina, vimate vive e messa a dimora di arbusti ed alberi. Su una scarpata in frana a valle della strada di accesso è

stato impiegato anche l'Ontano napoletano (*Alnus cordata*) che per il Friuli non è autoctono ma ha dato buoni risultati dal punto di vista del consolidamento.

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 perchè da considerarsi un caso evidente di “imbroglio ecologico”.

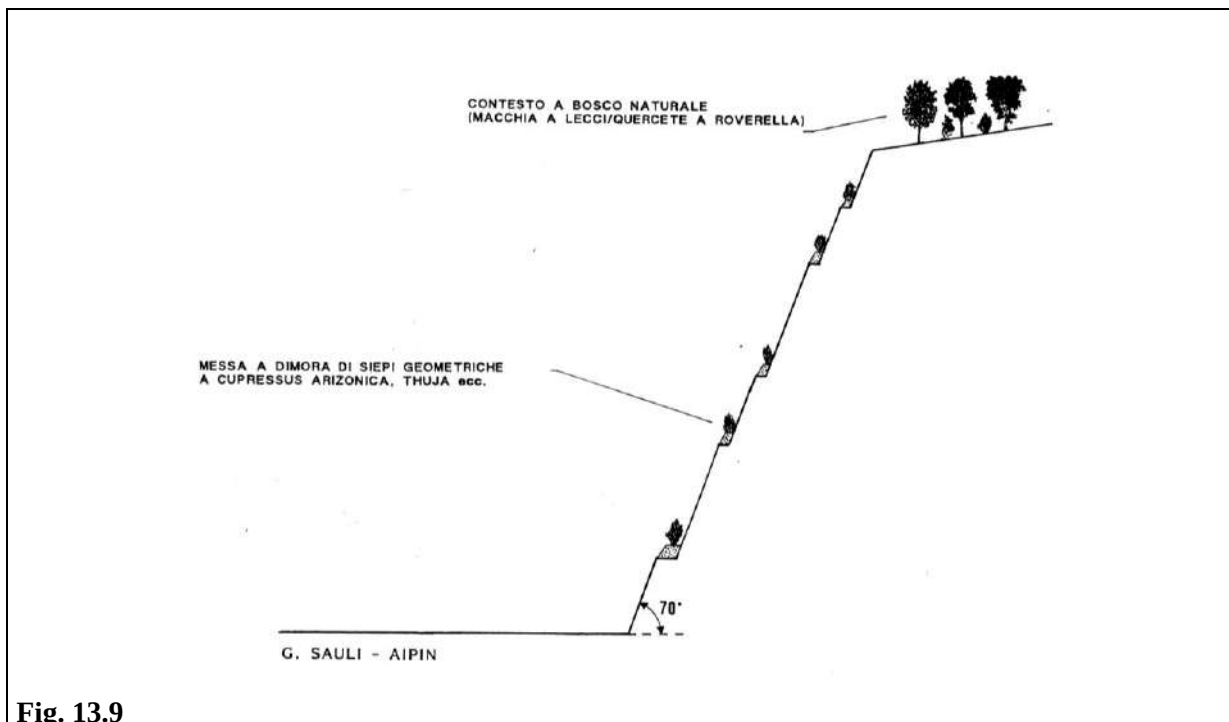


Fig. 13.9



Foto 366: Recupero con piantagione di resinose esotiche su gradoni, cava di Monsummano (PT), 1985 Foto: G. Sauli



Foto 367: Recupero con piantagione di resinose esotiche su gradoni, cava di Monsummano (PT), 2003 Foto: P. Binazzi



Foto 368: Recupero della cava Melta (TN) con rivegetazione dei rilevati basali Foto: G. Sauli



Foto 369: Rivegetazione dei rilevati basali, cava Fous, Maniago (PN), 1984 Foto: G. Sauli



Foto 370: Rivegetazione dei rilevati basali, cava Fous, Maniago (PN), dopo 10 anni Foto: G. Sauli



Foto 371: Intervento di inscurimento con sostanze ossidanti, cava San Lorenzo, Soave (VR), 1993 Foto: G. Sauli

B) **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:

1 - riportare inerti di scarto sui gradoni e ricostruire delle 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 con specie della boscaglia termofila del Carso triestino. Attualmente la cava è in fase di totale ricoprimento ed è stata ritombata con riporti di materiale inerte generalmente arenaceo risultanti da scavi in provincia di Trieste. Il materiale viene vagliato, steso, e rivegetato mediante semine e varie specie di arbusti. I risultati migliori sono stati ottenuti con *Prunus mahaleb* che va considerata specie guida su substrati rocciosi in zona carsica.

2 - 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;

C) **di risultati intermedi** se le pendenze complessive sono di 50°- 55° per gli scarsi risultati di mascheramento e l'eccessivo geometrismo che permane nella morfologia a gradoni.

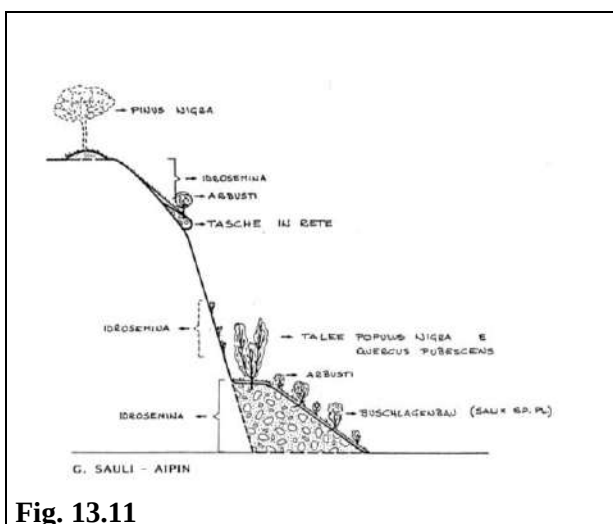
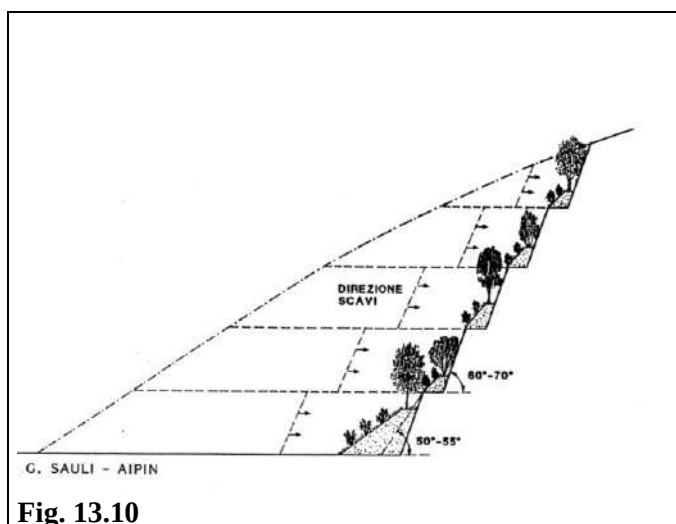


Foto 372: Cava Scoria (TS), inizio lavori di recupero con rilevati rivegetati, campione di prova, marzo 1984, Foto: G. Sauli



Foto 373: Cava Scoria, lavori di recupero con rilevati rivegetati, campione di prova, dicembre 1984, Foto: G. Sauli



Foto 374: Cava Scoria, lavori di recupero con rilevati rivegetati, campione di prova, settembre 1988, Foto: G. Sauli



Foto 375: Ricomposizione morfologica su cava a gradoni Cava Scoria (TS), 1998 Foto: G. Sauli



Foto 376: Rivegetazione mediante semine e piantagioni, Cava Scoria (TS), 1999 Foto: G. Sauli



Foto 377 e 378: Cava Scoria (TS), novembre 2013 Foto: G. Sauli

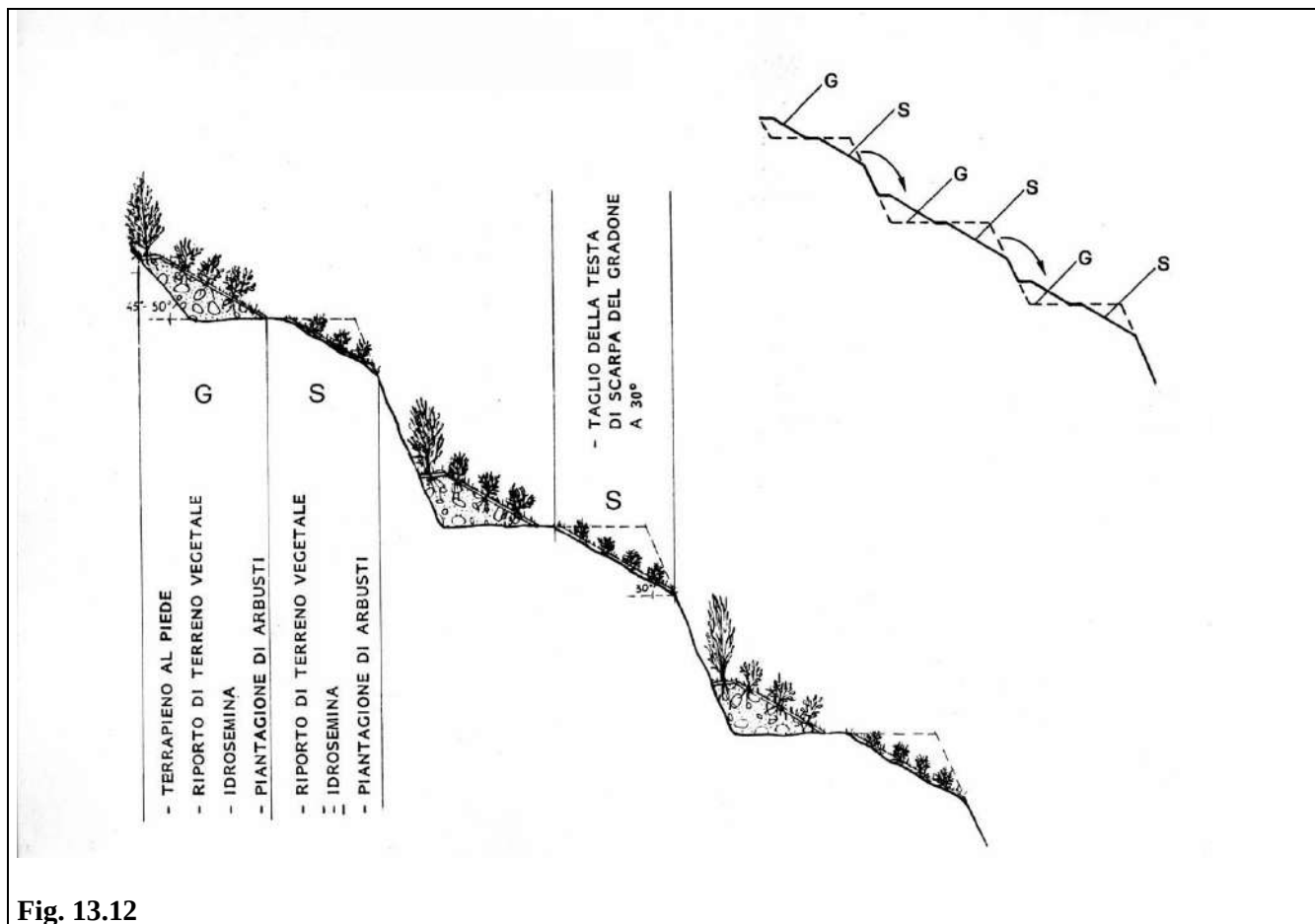


Fig. 13.12

Coltivazioni a scarpata unica a piazzale discendente (o spleatemento)

Le coltivazioni a scarpata unica a piazzale discendente (o spleatemento) sono da considerarsi le migliori da tutti i punti di vista sia paesaggistico e naturalistico che industriale.

Il caso della cava di calcare del M. S. Lorenzo in località Fanna (Maniago-PN).

Viene effettuato uno scavo dall'alto verso il basso, a piazzale discendente, con scarpate di 35°-37°. Questa pendenza corrisponde all'angolo al di sotto del quale la terra vegetale riportata può rimanere in loco, mentre al di sopra di questo valore c'è pericolo di erosione e franamenti. I fronti di scavo sono ad esse perpendicolari, consentendo la lavorazione meccanica delle superfici destinate al ripristino. E' possibile effettuare riporti di terreno vegetale a fasce discendenti e periodici interventi di semina e messa a dimora di arbusti locali. Terreno ed arbusti possono, almeno in parte, essere ricavati in corso d'opera da scotici e trapianti derivanti dalle aree di scopertura in modo da poter ricostituire le formazioni vegetali tipiche di quei versanti. Altra terra vegetale può essere portata dalla pianura e gli arbusti essere derivati da vivaio. Nel corso degli anni, a partire dalle scarpate più alte (che sono anche le prime ad essere trattate) si verifica l'ingresso progressivo delle specie naturali derivate dalle formazioni vegetali circostanti.

Sulla base delle esperienze di oltre 15 anni maturate in alcune cave del Friuli, come quella del M. S. Lorenzo 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 35° mediante operazioni di scavo/riporto.

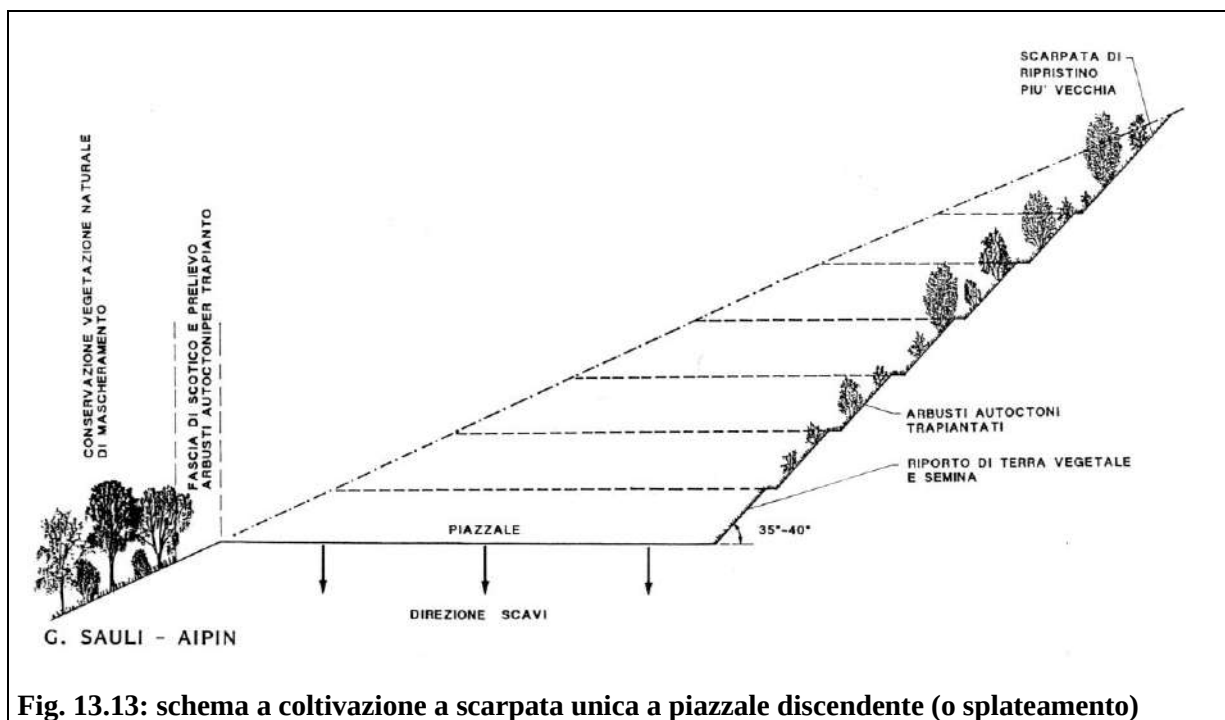


Fig. 13.13: schema a coltivazione a scarpata unica a piazzale discendente (o spleatemento)



Foto 379 e 380: Recupero della cava di calcare a piazzale discendente del Monte San Lorenzo (Maniago-PN) - Foto: G. Sauli



Foto 381 e 382: Recupero della cava di calcare a piazzale discendente del Monte San Lorenzo (Maniago-PN) - Foto: G. Sauli



Foto 383 e 384: Recupero della cava di calcare a piazzale discendente del Monte San Lorenzo (Maniago-PN) Foto: G. Sauli



Foto 385 e 386: Recupero della cava di calcare a piazzale discendente del Monte San Lorenzo (Maniago-PN) 2006

Situazioni miste

Sono abbastanza frequenti situazioni miste ed articolate, con morfologie di scavo derivate da condizionamenti locali di natura amministrativa ed urbanistica.

Nel caso di attività minerarie a cielo aperto, assimilabili per problematiche di ripristino alle cave, vi sono spesso condizionamenti legati alla dislocazione dei giacimenti che richiedono talvolta interventi particolari di ripristino.

Il caso della miniera di feldspato di Giustino in provincia di Trento

Si riporta il caso di un intervento in una miniera di feldspato (miniera di Giustino in provincia di Trento) in cui lo scavo del minerale aveva prodotto negli anni morfologie miste sulle varie litologie sovrastanti il giacimento.

Nella Fig. 13.14 sono indicate con: I- lo strato di copertura in morena scavato a 30° - 32° ; II- lo strato di roccia scistosa di contatto con il giacimento, scavato a 45° ; III- il giacimento di feldspato vero e proprio coltivato a gradoni di 10 m di alzata e 3-5 m di pedata.

Interventi di rivegetazione sulla scarpata in roccia scistosa a 45° sono stati realizzati su supporti in sacche a materasso in reti metalliche rivestite internamente con stuoie sintetiche tridimensionali e riempite di inerte terroso a matrice sabbiosa.

Sui gradoni sono invece stati realizzati dei rilevati con inerte di scopertura, sostenuti da gabbionate rinverdite e da terre rinforzate verdi in geotessili in poliestere.

Nelle Foto seguenti sono visibili in sequenza i risultati degli interventi di rivegetazione nell'arco di oltre 10 anni (lavori eseguiti nel 1986).

L'effetto finale sia paesaggistico che di consolidamento a distanza di 10 anni è buono, pur essendo un intervento molto costoso e difficilmente proponibile per le normali cave di inerte

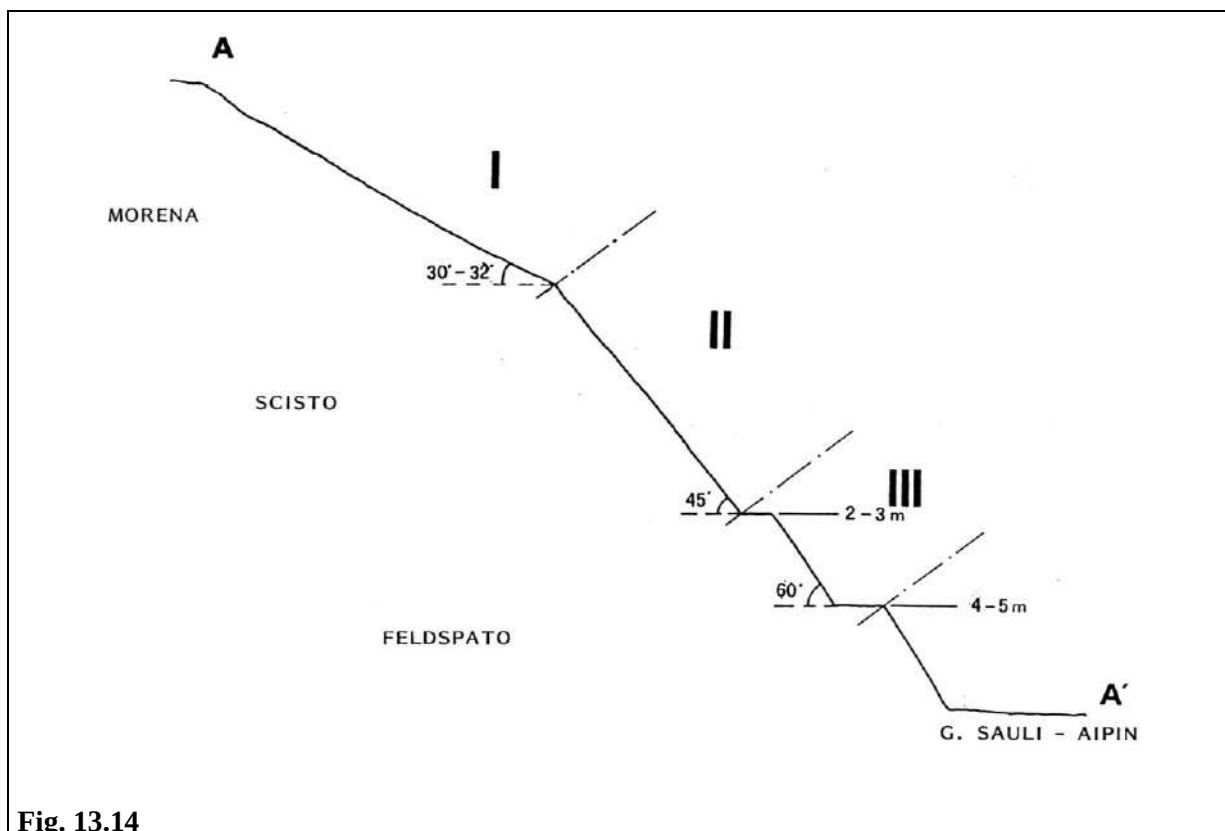


Fig. 13.14

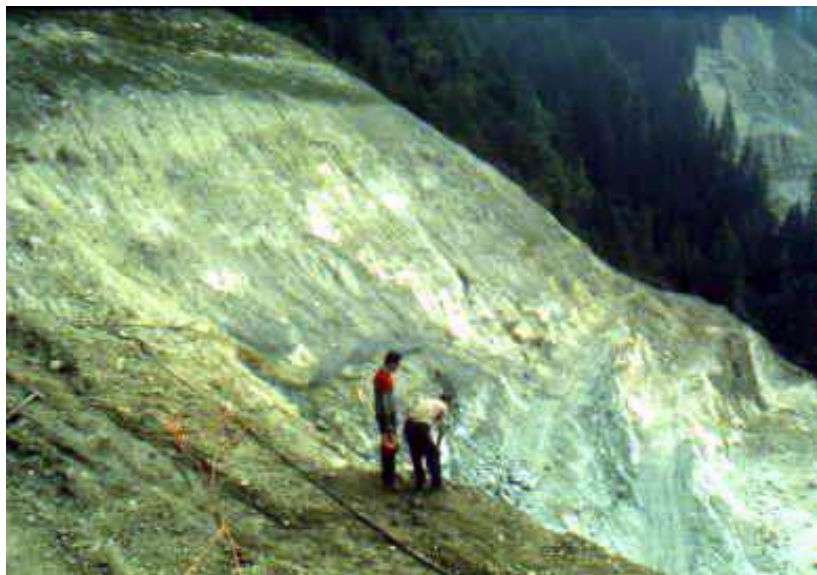


Foto 387: Miniera di Giustino, situazione ante-operam, 1986 - Foto: G. Sauli

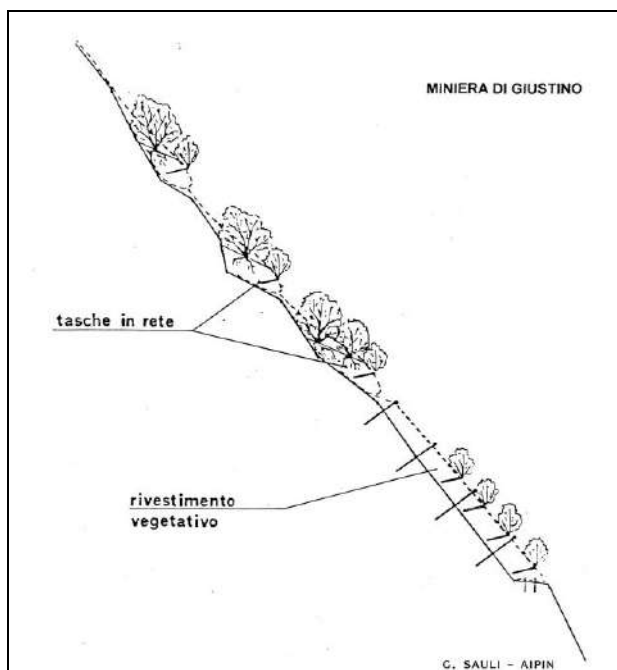


Fig. 13.15

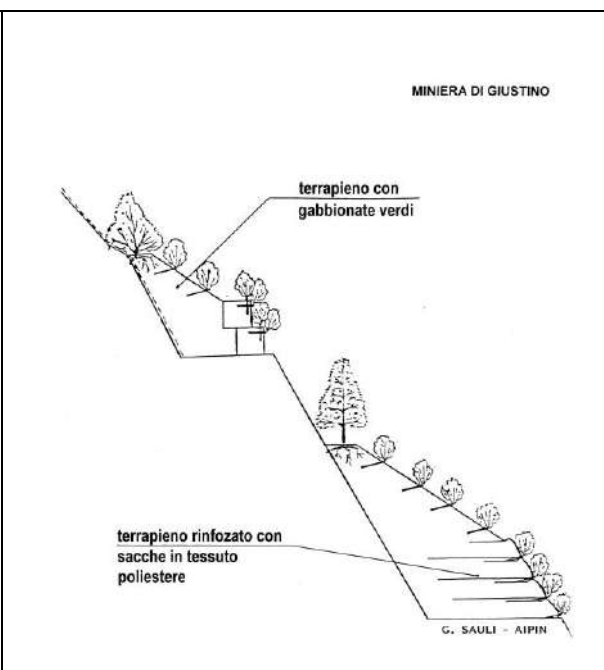


Fig. 13.16



Foto 388: Miniera di Giustino, durante i lavori. Foto: G. Sauli



Foto 389: Miniera di Giustino, dopo 1 anno Foto: G. Sauli



Foto 390: Efficacia degli interventi di consolidamento e rivegetazione Miniera di Giustino, dopo 9 anni - Foto: G. Sauli



Foto 391: Riempimento tasche in rete con terreno sabbioso, Miniera di giustino, ottobre 1986 Foto: G. Sauli



Foto 392: Formazione tasche in rete con talee di salice, Miniera di Giustino, ottobre 1986 Foto: G. Sauli



Foto 393: Tasche in rete rinverdite - Foto: G. Sauli



Foto 394: Rivegetazione e consolidamento al piede dei rilevati mediante gabbionate e terre rinforzate verdi su scavi e gradoni, Miniera di Giustino (TN) Foto: G. Sauli

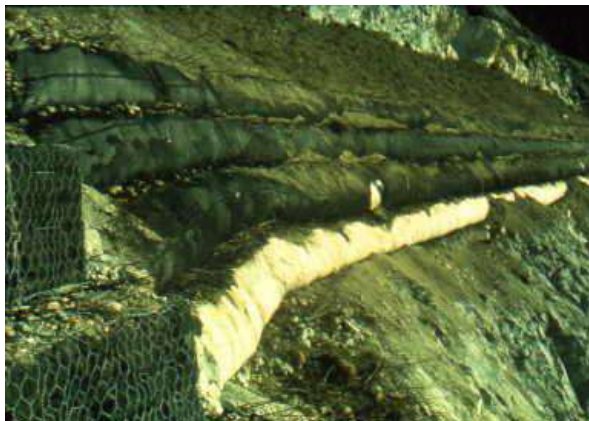


Foto 395: Terra rinforzata verde in costruzione, Miniera di Giustino Foto: G. Sauli



Foto 396: Terra rinforzata verde con talee di salice, Miniera di Giustino (TN) Foto: G.Sauli



Foto 397



Foto 398



Foto 399



Foto 400

Foto 397 ÷ 400: Miniera di Giustino (TN) - Sequenza degli interventi di rivegetazione nel corso di 10 anni



Foto 401: Miniera di Giustino (TN) dopo 27 anni dagli interventi – Foto G. Sauli



Foto 402: Panoramica ravvicinata miniera di Giustino (TN) dopo 27 anni dagli interventi – Foto G. Sauli

Situazioni eccezionali

Vanno considerati eccezionali interventi di rivestimento completo di scarpate in roccia con ricoprimenti in terra, sostenuti da strutture artificiali (materassi verdi, geocelle a nido d'ape, rivestimenti vegetativi in geocompositi rete-stuoia, ecc.). Tali interventi, già sperimentati nel caso della Diga di Ridracoli, danno buoni risultati su pendenze che non superino i 45° e in climi montani dell'Italia centro-nord. Non risultano normalmente proponibili, per motivi di costo, nelle cave e comunque nei climi aridi e in condizioni di forte pendenza.

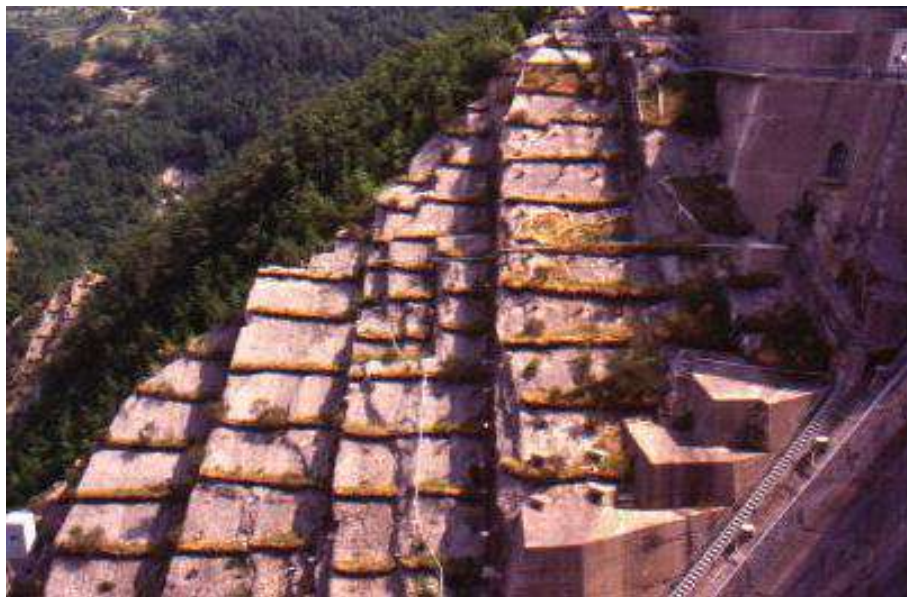


Foto 403: Rivegetazione versanti rocciosi, diga di ridracoli, ante operam, Presenza di graticciate preesistenti, Foto: G. Sauli



Foto 404: Rivegetazione versanti rocciosi, diga di Ridracoli, geocelle a nido d'ape – fase di costruzione Foto: G. Sauli



Foto 405: Rivegetazione versanti rocciosi, diga di Ridracoli, geocelle a nido d'ape – fase di riempimento con terra vegetale Foto: G. Sauli



Foto 406: Rivegetazione versanti rocciosi, diga di Ridracoli, geocelle a nido d'ape rinverdite, Foto: G. Sauli



Foto 407: Rivegetazione versanti rocciosi, diga di Ridracoli, materasso verde, Foto: G. Sauli



Foto 408: Rivegetazione versanti rocciosi, diga di Ridracoli, rivestimento a materasso in opera Foto: G. Sauli



Foto 409: Rivegetazione versanti rocciosi, diga di Ridracoli, materasso verde, Foto: G. Sauli



Foto 410: Ante operam, diga di Ridracoli in costruzione, Foto: G. Sauli



Foto 411



Foto 412

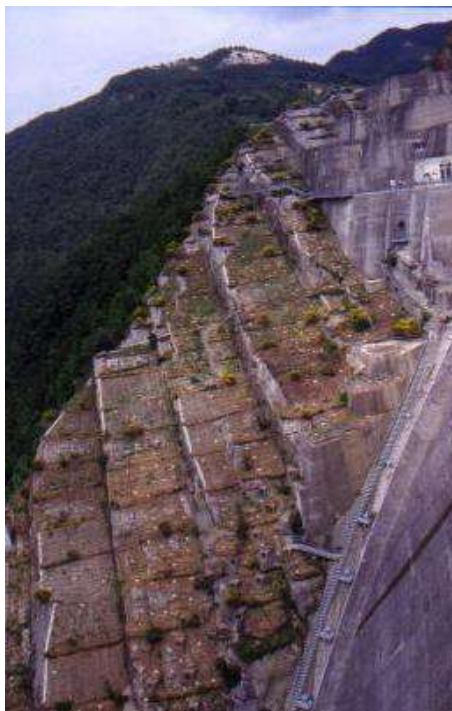


Foto 413

Foto 410 ÷ 413: Rivegetazione versanti rocciosi, diga di Ridracoli, sequenza interventi - Foto: G. Sauli



Foto 414: Rivegetazione versanti rocciosi, diga di Ridracoli, dopo 2 anni, Foto: G. Sauli



Foto 415: Rivegetazione versanti rocciosi, diga di Ridracoli, novembre 2013 - Foto: G. Sauli

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 suoli di ricopertura locali
- 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.

13.2 Applicabilità dell'Ingegneria Naturalistica alle strade

L'applicabilità dell'Ingegneria Naturalistica alle infrastrutture viarie va riferita alle tipologie di opere d'arte collegate alle infrastrutture stesse e alle conseguenti possibili tipologie di interventi a verde quali principalmente:

Rivegetazione e stabilizzazione di scarpate con semine potenziate, stuoie organiche, viminate vive, messa a dimora di arbusti e alberi, ecc.;

Consolidamento e stabilizzazione di portali di gallerie con terre rinforzate verdi, muri cellulari verdi, stuoie e rivestimenti vegetativi, ecc.;

Barriere verdi antirumore , terrapieni verdi di isolamento (antisvio, antiabbagliamento);

Siepi di mezzera tra le carreggiate, siepi e fasce boscate a lato strada (sieponi a muro, siepi a tetto, ecc.);

Rivegetazione di scarpate in ombra dei viadotti;

Sistemi di canalizzazione in stuoie sintetiche rinverdite;

Sistemazioni spondali delle deviazioni dei corsi d'acqua con palificate vive, terre verdi rinforzate, gabbionate verdi, muri cellulari verdi, ecc.;

Sistemazione di versanti franosi a lato strada con tecniche classiche di Ingegneria Naturalistica (gradonate vive, grate e palificate vive, ecc.);

Vasche di prima pioggia quali habitat umidi o a secco;

Provvedimenti di continuità faunistica (sovrappassi e sottopassi verdi, barriere e reti di deviazione per fauna minore, ecc.) aree e piste di cantiere, cave di prestito, piste d'accesso;

Reinserimento paesaggistico delle stazioni di servizio;

Realizzazione di interventi di compensazione naturalistica.

Valgono comunque alcuni principi generali nell'applicabilità dell'Ingegneria Naturalistica:

Finalizzazione degli interventi di rivegetazione alla funzioni antierosiva, di stabilizzazione e di consolidamento dei corpi terrosi e dei suoli denudati legati agli interventi;

Ottenimento di tali funzioni legandole alla ricostituzione di ecosistemi locali mediante impiego di piante autoctone riferite a stadi della serie dinamica della vegetazione potenziale dei siti di intervento.

Ottenere il massimo livello possibile di biodiversità compatibile con la funzionalità strutturale e gestionale dell'opera;

Valutazione dei limiti di impiego delle tecniche in relazione alle funzioni statiche;

Valutazione delle possibili interferenze funzionali (es. invasione dei rami degli alberi e arbusti della sagoma stradale).

13.2.1 Modalità di progettazione degli interventi a verde e di Ingegneria Naturalistica su strade

Caratteristiche stazionali del sito

Per una efficace progettazione degli interventi a verde in ambito stradale vanno innanzitutto conosciute le caratteristiche stazionali del sito quali: latitudine, altitudine, microclima (piovosità e temperatura medie), esposizione e inclinazione di ogni singola scarpata di intervento, stadio della serie dinamica della vegetazione potenziale, substrato geopedologico, ecc..

Tali dati consentono la scelta delle specie vegetali più idonee per gli interventi, in funzione dell'insieme delle condizioni del sito.

Caratteristiche biotecniche delle specie

Nella scelta delle specie vanno, inoltre, considerate le caratteristiche biotecniche delle specie cioè: capacità antierosive delle specie erbacee, tipo di radicazione e sviluppo in altezza e larghezza delle specie legnose, comportamento pioniero, possibilità di riproduzione per via vegetativa tramite talea legnosa in pieno campo, ecc..

Abbinamento con tecniche di Ingegneria Naturalistica

Vanno selezionate le specie arbustive più idonee all'abbinamento con le tecniche di Ingegneria Naturalistica da utilizzare nell'ambito dei singoli interventi del progetto stradale. Data la grande variabilità delle condizioni ambientali, la selezione delle specie è di fondamentale importanza per la riuscita e durata degli interventi ma anche per l'efficacia funzionale attesa dalla tecnica utilizzata.

Un esempio classico è la palificata viva di sostegno in cui lo sviluppo radicale delle piante è condizione prima del successo della tecnica stessa che prevede notoriamente che la funzione di sostegno sia inizialmente a carico del legname morto e passi poi nel tempo a carico della radicazione delle piante legnose abbinate.

Un altro esempio sono le strutture in terra rinforzata in cui le funzioni attese sono:

- a) antierosiva a carico inizialmente delle stuoie poste a contenimento dei suoli posti nello strato esterno, azione nel tempo sostituita dalle radici delle specie erbacee costituenti il cotico erboso;
- b) stabilizzante a carico delle specie arbustive che con lo sviluppo delle radici contribuiscono a stabilizzare il cuneo esterno degli inerti posti a contatto con stuoie e griglie frontali.

Piani di scarpata

Il processo progettuale prevede la formulazione dei cosiddetti "Piani di scarpata" cioè della definizione per ogni scarpata:

- delle miscele delle specie erbacee per le semine;
- delle specie legnose di impiego distinte tra arbustive ed arboree;
- la loro collocazione quali-quantitativa sulle scarpate (sesti di impianto);
- l'abbinamento con tecniche di Ingegneria Naturalistica;
- la combinazione con materiali inerti.

13.2.2 Principali tipologie di opere d'arte

Classicamente sono considerate le principali tipologie di opere d'arte delle infrastrutture stradali e in particolare: scarpate a raso o rilevato; scarpate in scavo o trincea; ponte o viadotto; galleria. Ad esse sono collegati i possibili interventi a verde e di Ingegneria Naturalistica che sono funzione delle morfologie delle strutture, della disponibilità di corpi terrosi a pendenza naturale o sostenuti, delle superfici disponibili o ricavabili a lato strada, delle necessità/opportunità di realizzare interventi connessi quali: sistemazione di corsi d'acqua attraversati, risistemazione di cave di prestito, barriere antirumore, vasche di prima pioggia, aree di svincolo, stazioni di servizio, ecc.

La necessità di realizzare strade con velocità sempre maggiori (raggi di curvatura minori) e al contempo le tecnologie di scavo disponibili negli ultimi decenni hanno modificato sostanzialmente le modalità di progettazione, soprattutto nei territori montani e collinari italiani, rendendo assai frequenti tracciati stradali con prevalente alternanza di gallerie/viadotti. Ciò, risolvendo, solo in parte, le problematiche di tipo paesaggistico, ha creato viceversa altri problemi (grosse discariche di inerti, rivegetazione di imbocchi di gallerie, reinserimento ambientale e paesaggistico dei viadotti).

Scarpate a raso o rilevato

E' la sezione base di tutte le piattaforme stradali che fornisce la possibilità di interventi di rivegetazione su scarpate laterali mediante realizzazione di: siepi, fasce boscate, piantagione di arbusti ed alberi, terrapieni naturali, rinforzati o compressi vegetati, ecc..

Presupposti per la riuscita degli interventi a verde (semine, piantagioni) sono:

- pendenza non superiore a 32 – 35°;
- riporto di terreno vegetale (pochi centimetri di buon terreno vegetale sono meglio di strati maggiori di terreno scadente o di inerte terroso minerale);
- selezione delle miscele di sementi;
- scelta delle specie di arbusti ed alberi in funzione del contesto vegetazionale.

Scarpate in scavo o trincea

Le scarpate in scavo o in trincea rappresentano una casistica molto frequente non solo nei tracciati in zone montane, ma anche in quelli pianiziali:

- quando si cerca di bilanciare le cubature scavi/riporti per limitare i costi di approvvigionamento degli inerti da cave di prestito;
- per evitare antiestetici cavalcavia e viadotti negli incroci con altra viabilità.

Data la natura litoide del substrato e le pendenze di scavo, di solito gli interventi a verde su tali scarpate si limitano a normali idrosemine destinate a fallimento, essendo comunque l'azione antierosiva insufficiente. Si creano problemi funzionali di erosione da ruscellamento nelle litologie meno compatte, o addirittura cedimenti superficiali difficili da ripristinare.

Vanno adottate tecniche di scavo e ripristino che risolvano i problemi sopracitati secondo le modalità che seguono:

- le scarpate in trincea vanno progettate a seconda della litologia, non soltanto in funzione della stabilità geomeccanica complessiva, ma anche della stabilizzazione superficiale. Rocce sciolte quali ghiaie e sabbie terrazzate, argille sovraconsolidate, marne, conglomerati, ecc., vanno, ove non sussistano impedimenti al contorno, scavate a pendenze non superiori ai 35°, per consentire appunto riporti di suolo e successiva rivegetazione o interventi di rivestimento con reti e stuoie o stabilizzanti con viminate e fascinate vive. Tali interventi stabilizzanti a verde e di Ingegneria Naturalistica vanno a beneficio della stabilità superficiale e durata nel tempo delle scarpate stesse. Il ricorso a tecniche di stabilizzazione mediante mantellate in cls effettuato in passato può oggi essere sostituito dall'impiego di geocompositi rinverditi o da tecniche di Ingegneria Naturalistica.
- Vanno effettuati rivestimenti con terreno vegetale di spessore anche minimo (20 cm) normalmente non previsto nei capitolati.
- Vanno preferite, ove possibile dal punto di vista geotecnico, scarpate a tirata unica invece di scarpate a gradoni. Infatti in queste ultime aumenta la pendenza di ogni singola scarpata a pari occupazione complessiva e quindi di superfici di esproprio e si ottiene un antiestetico effetto geometrico legato alla presenza dei gradoni, anche se rivegetati. Problemi di ruscellamento superficiale vanno risolti adottando gli interventi antierosivi e stabilizzanti con tecniche di IN già citati.



Foto 416 - Scarpata in trincea in roccia lavorata a bassa pendenza e a tirata unica senza berme intermedie. Autostrada Capodistria-Lubiana, Località Razdrto (Slovenia). Foto G. Sauli



Foto 417 - Inizio di solchi di erosione su scarpate non rivegetate in trincea in litologia sciolta a matrice argillosa. (3° corsia autostrada Orte-Fiano Foto G. Sauli)

Ponte o viadotto

Sono strutture che danno permeabilità territoriale alla strada e vanno in tal senso prolungati anche dove non sarebbe strettamente necessario, ma sono in genere di difficile inserimento paesaggistico. Si può intervenire sulle spalle dei ponti mediante piantagione di arbusti ed alberi o utilizzando specie arboree autoctone. In presenza di ampi spazi è possibile realizzare vere e proprie fasce boscate di mascheramento, per contro, se gli spazi sono ridotti, possono essere realizzati filari di caducifoglie d'alto fusto quale in particolare il pioppo cipressino. L'impiego di sempreverdi resinose, quali Cipressi, Pini o resinose esotiche, crea una forte intrusione nel paesaggio che normalmente non corrisponde con la connotazione della vegetazione naturale potenziale attraversata. Altro problema è la rivegetazione nelle superfici in ombra dei viadotti per la mancanza d'acqua come fattore limitante.



Foto 418 -Rivegetazione ad arbusti di un rilevato spalla di viadotto (Autobrennero – Bolzano nord – Foto G. Sauli)



Foto 419 - Filare di pioppi cipressini a pronto effetto di mascheramento del nuovo Viadotto di accesso all'area commerciale di Villesse – UD (Foto G. Sauli 2010)

Portali delle gallerie

Da molti decenni non vengono più realizzati portali di gallerie con muri in cls ma è comune la soluzione in prolungamento artificiale a “becco di flauto” o “fetta di salame” che consente la realizzazione di corpi terrosi rivegetabili.



Foto 420 - a destra vecchio portale in cls, a sin nuova tipologia rivegetabile con semine e viminate. (Foto G. Sauli)



Foto 4212 - Soluzioni intermedie sono talvolta necessarie per morfologie locali (autostrada in Slovenia loc. Sezana – Foto G. Sauli)



Foto 422 - Prolungamenti in galleria artificiale con rilevati rivegetati ad alberi locali (Autostrada A 23 galleria di Pontebba – Foto G. Sauli ottobre 1987)



Foto 4233 – idem dopo 23 anni (Foto G. Sauli - 2010)



Foto 424 - GVT Galleria di Servola (TS) – 1987 (Foto G. Sauli)



Foto 425 - GVT Galleria di Servola (TS) – dopo 10 anni (Foto G. Sauli)

13.2.3 Principali tipologie di interventi a verde nelle infrastrutture viarie

Vengono di seguito descritte le principali tipologie di interventi a verde realizzabili nell'ambito delle infrastrutture viarie. Sono stati presi ad esempio interventi campione realizzati in Italia ma derivanti anche da casistica estera.

Va affermato il principio che efficaci interventi a verde non possono limitarsi alle superfici di risulta all'interno dei perimetri di stretta pertinenza dell'infrastruttura (scarpate, aiole, superfici di gallerie artificiali ed imbocchi di gallerie in genere, ecc.). In analogia con quanto viene fatto nel resto d'Europa, le aree di occupazione (anche semplici servitù, non necessariamente espropri) a lato strada vanno estese in funzione appunto della riambientazione paesaggistica e naturalistica della strada (spesso sono sufficienti pochi metri per realizzare siepi e fasce boscate di grande effetto).

13.2.4 Prerinverdimento

Vale la prassi del "prerinverdimento", cioè di realizzare gli interventi a verde durante la costruzione della strada e non di rimandare tutte le opere a verde alla fine dei lavori di costruzione, onde poter usufruire di un anticipo di crescita delle piante e dei cotici erbosi e quindi di una buona dotazione di verde già al momento del collaudo dell'infrastruttura.



Foto 426 - Esempio di prerinverdimento di scarpate stradali si notino le reticelle antifauna a protezione degli arbusti (GVT Loc.Padriciano - Foto G. Sauli)



Foto 427 - Esempio di prerinverdimento: costruzione e rinverdimento di terre rinforzate verdi (GVT – curva di Cattinara – Foto G. Sauli)

Semine

Su tutte le superfici di scarpata con riporti di terreno vegetale vanno normalmente eseguite semine, in genere potenziate quali: semine a paglia e bitume, idrosemine, idrosemine a spessore, idrosemine a matrice di fibre legate, ecc. per la formazione di cotici erbosi con funzione antierosiva. Tale prassi è da sempre attuata in tutte le progettazioni e realizzazioni di scarpate stradali. Vengono di solito usate miscele commerciali. Per zone di pregio naturalistico va impiegato il fiorume, cioè la trebbiatura da prati naturali locali.

Vanno evitati i seguenti possibili errori:

- Semine su superfici prive di terreno vegetale o con terreno di caratteristiche scadenti
- Interventi fuori stagione (aridità estiva, gelo invernale)
- Semine con seme di quantità/qualità insufficiente;
- Proporzioni sbagliate dei materiali costituenti l'idrosemina;
- Eccesso di concimanti con effetto pompaggio del primo anno e successiva carenza.



Foto 428 – Evidente carenza di suolo organico premessa negativa sia per le semine che per la crescita di arbusti. (3° corsia Fiano – Orte - Foto G. Sauli)

Prato in rotolo

Viene talvolta utilizzato per interventi di pronto effetto il rivestimento di scarpata a bassa pendenza con cotico erboso pronto in genere a rotoli disposti a strisce verticali srotolate dall'alto verso il basso, eventualmente fissate con paletti sui pendii più ripidi. Il substrato va comunque rivestito con uno strato di terreno vegetale o di humus sabbioso, per il miglior attecchimento delle piante erbacee. Le miscele impiegate per la produzione dei cotici vanno calibrate in funzione delle condizioni di applicazione. Dopo la posa in opera i tappeti erbosi vanno pressati o rullati. Tale sistema richiede una posa molto accurata per evitare scollamenti.



Foto 4294 – Rivestimento di scarpata con prato in rotolo con problemi iniziali di possibili scollature (Grande viabilità Trieste zona Padriciano - Foto G. Sauli 2008)

Messa a dimora di arbusti ed alberi

Piantazione su scarpate in rilevato

Sulle scarpate in rilevato vanno effettuati interventi di rivegetazione ad arbusti ed alberi secondo le seguenti modalità:

- Riporto di terreno vegetale;
- Messa a dimora di arbusti collocati a fascia ad una distanza di sgombro a lato strada (2 m per le SS, 4 m per le autostrade);
- Messa a dimora di alberi ad una distanza tale dal ciglio strada da non creare interferenza anche nella fase di massimo sviluppo delle piante (fanno eccezione le siepi ed i sieponi boscati a muro a lato strada di cui a capitolo successivo e che prevedono in tal senso periodici interventi di potatura);
- La scelta delle specie legnose deve essere coerente con la vegetazione potenziale del sito e la piantagione va essere effettuata con disposizione non geometrica e mescolando le specie a creare delle formazioni prossimo naturali e/o a macchia seriale;
- La messa a dimora va effettuata nei periodi stagionali favorevoli (autunno-inverno-primavera) con esclusione dei periodi di gelo e di aridità estiva. Ogni pianta verrà collocata in una buca predisposta di dimensione doppia della zolla o pane di terra e rincalzata con suolo organico, torba, ecc. e sarà dotata di pali tutori, dischi o teli pacciamanti per evitare la concorrenza e l'effetto soffocante derivante dalla crescita delle erbe nei primi anni, reti di protezione antifauna (solo per strade non recintate).



Foto 430 – Messa a dimora di arbusto con disco pacciamante e impianto di irrigazione a goccia (Foto G. Sauli)



Foto 431 – Messa a dimora di albero in zolla con rincalzo di torba e terreno vegetale. (Foto G. Sauli)



Foto 432 - Stuoia organica con funzione pacciamante e arbusti aromatici. (Foto G. Sauli)



Foto 4335 – Impiego di teli pacciamanti a protezione di specie arbustive. (Foto G. Sauli)



Foto 434 - Messa a dimora di specie arbustive e arboree, con reti antifauna e pacciamatura a strisce. (Parigi 1994 - Foto G. Sauli)



Foto 435 - Piantagione di arbusti autoctoni e talee di salici arbustivi pionieri (*Salix elaeagnos*, *S. purpurea*) a gradonata su rilevato autostradale su ghiaie calcaree da scavi privo di suolo vegetale Carso triestino Loc. Aurisina (GVT - TS) – Foto G. Sauli 1991



Foto 436 - Idem dopo 12 anni. Ottimo sviluppo degli arbusti con innesco della successione della vegetazione e evidente successo paesaggistico – naturalistico - Foto G. Sauli Giugno 2003



Foto 437 - Idem dopo 18 anni. Agosto 2009

Piantazione su scarpate in trincea o scavo

La piantazione di arbusti ed alberi sulle scarpate in trincea avviene più o meno con le stesse modalità di cui al punto precedente ove sia possibile riportare terreno vegetale sulle scarpate stesse.

Su litologie sciolte (argille, ghiaie, sabbie) va valutata l'opportunità di utilizzare tecniche stabilizzanti (viminate, fascinate vive di salici o tamerici) abbinate a semine e messa a dimora di arbusti pionieri. L'uso di sole stuoie antierosive su questi substrati minerali non ha dato in genere buoni risultati, mentre sono risultate valide semine potenziate con paglia e bitume o con fibre legnose e leganti sintetici.

Ove ciò non sia possibile (pendenza eccessiva, litologia compatta) vanno utilizzati rivestimenti in stuoie combinate con reti metalliche e semine che garantiscono una certa copertura verde e la trattenuta di materiali litoidi di disfacimento delle rocce



Foto 438 - Autostrada Fiano –Orte – Scarpate in trincea in argilla minerale – Piantazione di arbusti ed alberi (Foto G. Sauli 1998)

Canalizzazioni

Fossi di guardia

Le canalizzazioni in testa alle scarpate (fossi di guardia) sono normalmente realizzate in cls per la facile manutenzione, ma risultano di notevole impatto paesaggistico e naturalistico. Tipologie in metallo sono poco usate per la possibilità di sifonamenti (l'acqua scorre sotto la canaletta). Tali strutture possono in molti casi essere realizzate in materiali geosintetici. Nelle foto, in sequenza, la realizzazione di un fosso di guardia in geostuoia tridimensionale sintetica seminata, intasata di ghiaino e bitumata in loco. La struttura ha un notevole riscontro paesaggistico e naturalistico. Difficoltà manutentive possono essere risolte con l'adozione di macchine idonee.



Foto 439 – Canaletta in metallo con problemi di sifonamento (Foto G. Sauli)



Foto 440 – Fosso di guardia tradizionale in cls (3° corsia Roma – Napoli - Foto G. Sauli anni '80)



Foto 441 - Fosso di guardia in geostuoia tridimensionale sintetica seminata, intasata di ghiaino e bitumata in loco (27 ÷ 30) Autostrada dei Trafori anni '80 – Foto G. Sauli)



Foto 442



Foto 443



Foto 444



Foto 445- Canale autostradale in geostuoia tridimensionale sintetica seminata, intasata di ghiaino e bitumata in loco. Oltre che funzioni di scorrimento tali strutture verdi assolvono anche funzioni di infiltrazione con effetti benefici di filtrazione del particolato e ripascimento delle falde. (Germania – Foto G. Sauli)



Foto 446 – idem post operam. Foto G. Sauli

Fasce boscate tampone e siepi

A lato strada vanno realizzati dei sistemi lineari di vegetazione con funzioni multiple tampone (o filtro) e paesaggistico - naturalistiche:

- trappole del particolato e delle polveri in genere;
- anti abbagliamento (se tracciato parallelo ad altra strada o ferrovia);
- barriera visuale e di inserimento paesaggistico;
- elementi della rete ecologica (corridoi);
- segregazione del carbonio.

Le vere e proprie fasce boscate (minimo 10 m di larghezza) assolvono egregiamente alle sopracitate funzioni e sono da considerarsi ottimali ai fini della biodiversità. Per garantire anche funzioni antirumore tali fasce devono raggiungere almeno 25 – 30 m, dimensioni che ne rendono poco proponibile la realizzazione per la necessaria disponibilità di spazio e relativi costi di esproprio. La ricostituzione di aree boscate è invece proponibile sulle coperture di gallerie artificiali o in interventi di compensazione su aree da riqualificare (es. vecchie cave di prestito). Si riportano di seguito alcuni interventi campione.



Foto 447 - Fascia boscata di 10 m di larghezza dopo 20 anni dalla realizzazione (scalo ferroviario di Cervignano del Friuli – UD – Foto G. Sauli)



Foto 448 - Rivegetazione area boscata rilevato galleria Pileggi (3ª corsia Autostrada Orte-Fiano fine anni '90). Visibile un fosso di guardia realizzato in cls. (Foto P. Cornellini)

Per quanto riguarda le siepi vi sono varie tipologie proponibili:

- **sieponi a muro** realizzati con specie alto arbustive ed arboree autoctone che in spazi limitati (5 - 7 m) realizzano strutture verdi verticali adiacenti alla carreggiata stradale. Tali sieponi vengono periodicamente potati con barra verticale per evitare l'invasione dei rami in carreggiata. L'uso di specie sempreverdi esotiche va considerata una intrusione nel paesaggio e non ha significato in termini di biodiversità.



Foto 449 - Siepone a muro (Autostrada A1 – Austria – Foto G. Sauli 2009)



Foto 450 - Siepi a sempreverdi (Foto G. Sauli)

- **siepi a tetto** realizzate con sezione piramidale mediante messa a dimora secondo una distribuzione a fasce di bassi arbusti, alti arbusti ed alberi autoctoni con funzione di intrappolamento dei filetti del vento per far precipitare il particolato. Le siepi a tetto sono in genere realizzate a lato strada anche in aree urbanizzate e necessitano di sporadici interventi di potatura per il mantenimento della morfologia “a tetto”.



Foto 451 - Siepe a tetto (aiuola loc.Domio-S.Dorligo Della Valle – TS – Foto G. Sauli 2009)



Foto 452 - Siepe a tetto (aiuola loc.Domio-S.Dorligo Della Valle – TS – Foto G. Sauli 2011)



Foto 4536 - Siepe a tetto (aiuola loc.Domio-S.Dorligo Della Valle – TS – Foto G. Sauli 2012)



Foto 454 - Siepe a tetto (aiuola loc.Domio-S.Dorligo Della Valle – TS – Foto G. Sauli 2014)



Foto 455 – Siepi in aiola spartitraffico a sempreverdi latifoglie (Foto G. Sauli)

- **siepi di mezzeria** sono molto importanti per una serie di funzioni quali: antiabbagliamento, trappole del particolato, anti invasione della carreggiata in senso opposto di marcia, antischizzo in caso di forti piogge o presenza di sali fondenti. Vengono di solito realizzate con specie con caratteristiche biotecniche idonee ad assolvere alle funzioni indicate (spesso si deve ricorrere a specie non autoctone)



Foto 456 – Siepe spartitraffico a Ligustro – Autostrada A 23 – Foto G. Sauli)



Foto 457 - Idem a sviluppo avvenuto delle piante (Foto G. Sauli)

Strutture di rivestimento

In certe condizioni del substrato, in particolare in scarpate in scavo su litologie sciolte (sabbie, argille) o rocce friabili in superficie (marne, scisti, ecc.) spesso è necessario ricorrere a rivestimenti artificiali per stabilizzare la superficie delle scarpate stesse. Vengono abbinati materiali artificiali con interventi a verde come di seguito illustrati:

- **Mantellate.** Sono dei quadroni di calcestruzzo appoggiati sulla superficie delle scarpate da stabilizzare, riempiti di terreno vegetale e rivegetati mediante semine e messa a dimora di arbusti autoctoni;
- **Mattonelle e autobloccanti in cls.** Sono stati spesso impiegati in passato con buona riuscita funzionale, ma scarsa riuscita dal punto di vista della rivegetazione;

- Stuoie organiche (paglia, cocco, juta, ecc.) e stuoie sintetiche (geostuoie tridimensionali in materiali sintetici). Trattasi di provvedimenti antierosivi la cui azione è strettamente legata allo sviluppo del cotico erboso e che non sempre riescono ad assolvere alla funzione stabilizzante in dipendenza delle condizioni di applicazione (pendenza, tipo di substrato, esposizione, ecc.);
- Rivestimenti in reti metalliche. Le reti metalliche zincate sono un provvedimento classico di rivestimento delle scarpate stradali su tutte le tipologie di rocce da compatte e più o meno friabili. Negli ultimi anni vengono utilizzate in abbinamento con stuoie organiche e sintetiche su substrati litoidi di varia natura ed inerbite mediante idrosemine. La funzione stabilizzante è in genere garantita dalla presenza della rete metallica, mentre il successo di tali interventi dal punto di vista del verde è strettamente legato alle condizioni di ogni singola scarpata. Va rilevato che nel caso di mancato attecchimento delle piante erbacee le stuoie organiche sono preferibili a quelle sintetiche per la scomparsa nel breve periodo che rimette in vista la litologia sottostante, con effetto visuale migliore.



Foto 458 - Autostrada tratto Fiano-Orte stabilizzazione di scarpate in argilla soggette a franamento con mantellate in cls (Foto G. Sauli)



Foto 459 - Scarpate in scavo su substrato sabbioso stabilizzate con mattonelle in cls poggiate su geotessili e rivegetate con piantine di Mesembrianthemum. Dopo quasi 20 anni non c'è traccia di queste piante mentre si è affermata *Inula viscosa* cresciuta spontaneamente (3° corsia Fiano-Orte c/o svincolo di Orte – Foto G. Sauli)

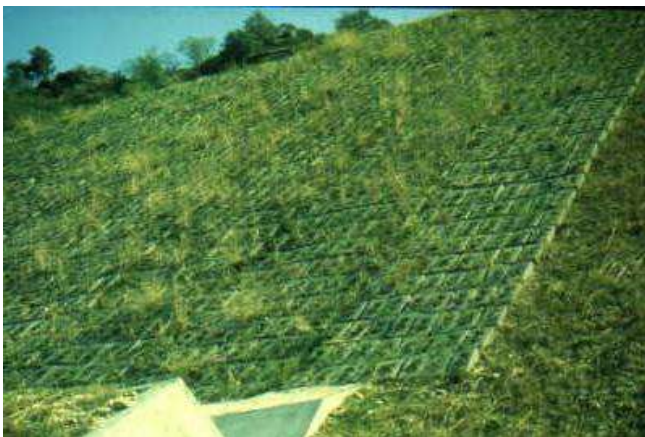


Foto 460



Foto 461



Foto 462 - Stuoie in cocco su scarpate in scavo in litologie sabbiose non sempre hanno assolto alla funzione di stabilizzazione essendo dei provvedimenti antierosivi (Autostrada dei trafori – ottobre 1988 – Foto G. Sauli)



Foto 463 - Scarpate in rocce marnoso-arenacee rivestite con sola rete metallica. Lo sviluppo spontaneo della vegetazione è legato alla presenza di piccole berme su cui si è accumulato materiale terroso fine. (GVT svincolo Grandi motori – TS – Foto G. Sauli 2010).



Foto 464 - Reti metalliche e stuoie organiche su scarpate in scavo in condizioni di forte aridità non sempre producono rivegetazione, pur mantenendo la funzione di stabilizzazione. (Sardegna SS 195 Pula – Foto G. Sauli fine anni '80)



Foto 465 - Rivestimento vegetativo in geostuoia tridimensionale e rete zincata inerbata su scarpate in scavo in litologia sciolta su detrito di falda (Autostrada Carnia -Tarvisio – Foto G. Sauli ottobre 1987)

13.2.5 Strutture di sostegno di scarpate

Terre rinforzate verdi (TRV)

Le strutture in terra rinforzata, cioè i terrapieni con armature orizzontali che consentono pendenze di scarpata superiori all'angolo d'attrito degli inerti (in genere 60°) sono utilizzate nelle costruzioni stradali in sostituzione di muri di sostegno, a cominciare da fine anni '80 ed oggi ampiamente diffuse e normalmente realizzate dalle imprese di costruzione con vari materiali.

Dopo vent'anni di applicazioni, e non solo nel settore delle strade, le tecniche di costruzione ed i vari materiali di rinforzo (armature metalliche, reti metalliche e sintetiche, ecc.) sono ormai ampiamente collaudati dal punto di vista strutturale. Non altrettanto dicasi della componente verde che viene di solito trascurata con risultati spesso deludenti.

Vengono di seguito analizzate le problematiche relative alla crescita del verde (cotici erbosi, specie arbustive) il cui successo è strettamente legato al rispetto di una serie di regole costruttive che variano per ogni struttura in base ad una serie di fattori biotici ed abiotici come di seguito sintetizzato.

- **Caratteristiche microclimatiche e morfologiche.**

Vanno innanzitutto conosciute le caratteristiche stazionali del sito come per ogni altro intervento a verde su scarpata (latitudine, altitudine, piovosità e temperatura medie, esposizione di ogni singola scarpata di intervento, stadio della serie dinamica della vegetazione potenziale del sito, substrato pedologico disponibile, ecc.). Tali dati consentono la scelta delle specie vegetali più idonee, anche in funzione del suolo disponibile.

- **Il terreno vegetale.**

Per una efficace riuscita del rinverdimento delle TRV va collocato uno strato di terreno vegetale a contatto con le stuoie e griglie esterne di contenimento. Succede spesso invece che gli inerti con cui è costruito il rilevato armato vengano stesi a contatto con le stuoie e le griglie esterne venendo quindi a mancare il presupposto primo per l'attecchimento e la crescita delle piante.

- **Stuoie, reti e griglie di contenimento.**

La superficie fronte esterno della TRV va realizzata da un sistema combinato di reti o griglie di contenimento al cui interno vanno collocate delle stuoie con funzione antierosiva di trattenere il terreno vegetale e consentire la radicazione delle piante sia erbacee che arbustive.

Una causa di fallimento o cattiva riuscita del verde sta nei citati materiali sia come caratteristiche che come sequenza nella loro disposizione. Le stuoie organiche spesso utilizzate hanno breve durata per quanto riguarda la fibra (paglia, cocco) mentre spesso le reticelle sintetiche di contenimento delle stuoie stesse permangono a lungo ma impediscono la crescita dei cotici erbosi per la maglia troppo stretta (5 mm). Le stuoie a maglia autoportante (es. juta) non garantiscono altresì una durata sufficiente specie in combinazione con griglie metalliche a maglia larga (10 – 15 cm). I migliori abbinamenti sperimentati sinora sono le stuoie tridimensionali sintetiche abbinata a reti sintetiche o reti/griglie metalliche. Danno invece pessimi risultati i feltri sintetici (tipo tessuti non tessuti anche se di piccolo spessore) che trattengono i materiali fini, ma non consentono la crescita delle erbe.

Le stuoie organiche preseminate forniscono indubbi vantaggi sui risultati e tempi di attecchimento, ma richiedono alcune cautele (stoccaggio al coperto, periodo stagionale di installazione, ecc.) e vanno comunque effettuate semine di rinalzo.

- **Semine**

Le semine hanno un ruolo importante nella riuscita del verde delle TRV. Vengono normalmente effettuate idrosemine e idrosemine a spessore con miscele di sementi adatte alle condizioni stazionali di intervento, concimanti e fertilizzanti, fibra organica (mulch), collanti, ecc. La miglior semina ha viceversa poche prospettive di successo in situazioni di carenza di suolo organico o stuoie e reti inadeguate.



Foto 466 - Idrosemina di rinalzo su TRV (Autostrada V.Veneto - Pian di Vedoia – Foto G. Sauli 1989)

- **Messa a dimora di arbusti**

Un complemento indispensabile per la riuscita degli interventi a verde nelle TRV è la messa a dimora di specie arbustive. Infatti, data la morfologia di questi terrapieni armati (la scarpata esterna è normalmente a 60° di inclinazione) i cotici erbosi sono destinati a deperimento nel tempo, mentre gli arbusti riescono a garantire una durata e copertura notevoli, essendo tali strutture più simili ad un versante arbustato che ad un prato. La scelta delle specie arbustive deve tener conto delle condizioni stazionali con uso esclusivo di specie autoctone e preferenza per gli stadi pionieri. L'uso di specie arboree va invece escluso per evidenti incompatibilità con le strutture (eccessivo sviluppo sia delle radici che dei fusti). In condizioni climatiche adatte va privilegiato l'uso delle talee legnose (salici, tamerici) per la facilità di messa a dimora sia durante la costruzione (collocazione in profondità) che a posteriori se gli inerti utilizzati sono a matrice sciolta.



Foto 467 - Evidente assenza di terra vegetale e stuoie inadeguate limitano la crescita delle erbe alle strisce di contatto tra gli strati delle armature orizzontali (Foto G. Sauli)



Foto 468 - L'uso di feltri sintetici come antierosivo nelle TRV non consente la crescita del cotico erboso (Galleria Rabuiese GVT-TS - Foto G. Sauli 2009)



Foto 469 - TRV con rinforzi orizzontali in armature metalliche e stuoie in cocco come antierosivo. Si noti la terra vegetale appressata alle stuoie e reti esterne. (SP 73 Siena – Foto G. Sauli 2009)



Foto 470 - TRV con rinforzi orizzontali in rete metallica (A4 Casello di Villesse – Foto R. Ferrari)



Foto 471 - TRV con armatura orizzontale in reti sintetiche (GVT loc. Domio – Foto G. Sauli 2008)



Foto 472 - TRV con armatura orizzontale in reti sintetiche e casseri esterni in griglie metalliche, reti sintetiche e stuoie organiche. Si noti la terra vegetale addossata alle stuoie e reti esterne (GVT loc. Domio – Foto G. Sauli 2008)



Foto 473 - Messa a dimora di talee di salice su TRV con griglie metalliche, reti sintetiche e stuoie nella sequenza dall'esterno verso l'interno (GVT - Foto G. Sauli 2009)



Foto 474 - Messa a dimora di Talea di salice su TRV (Foto G. Sauli 2009)



Foto 475 - TRV in reti sintetiche con talee di salice (autostrada del Frejus anni '80 - Foto P. Fantini)



Foto 476 - TRV in reti sintetiche rinverdate (Foto G.P. Pinzani 2009)



Foto 477 - idem dopo il rinverdimento

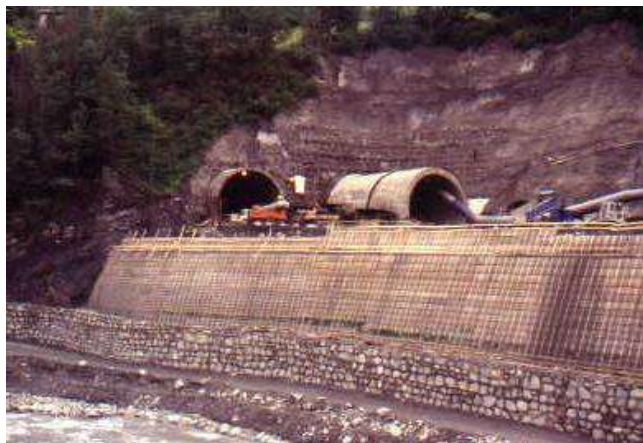


Foto 478 - TRV Autostrada Aosta-M.Bianco svincolo di Morgex. Durante la costruzione (Foto G. Sauli 1988)



Foto 479 - idem dopo 18 anni. Si noti la crescita rigogliosa di arbusti ed alti arbusti che maschera completamente la struttura (Foto G. Sauli 2006)

Muri cellulari in calcestruzzo

I muri cellulari in calcestruzzo sono una ulteriore struttura di sostegno che consente la crescita delle piante. Vengono utilizzati nelle costruzioni stradali sia per il contenimento di scarpate a monte che per sostegno di scarpate in rilevato. In passato sono stati utilizzati per il sostegno di rilevati di copertura di prolungamenti in artificiale di gallerie quando ancora non esistevano sul mercato le terre rinforzate. I muri cellulari presentano alcuni vantaggi (rapidità di costruzione, robustezza e durata) a fronte di alcune possibili controindicazioni relativamente alla crescita delle piante quali: assenza di terreno vegetale, aperture delle nicchie insufficiente, eccessivo drenaggio a tergo, eccessivo riscaldamento del calcestruzzo.



Foto 480 – Muro cellulare di sostegno di terrapieno tra gallerie. (GVT Servola TS – dicembre 1987. Foto G. Sauli)



Foto 481 - Muro cellulare in cls con arbusti autoctoni (Strada per la nuova Stazione di Tarvisio Bosco Verde – Foto G. Sauli 2009)

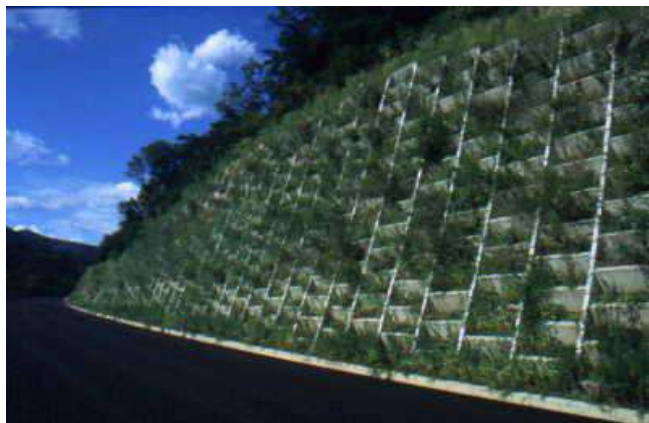


Foto 482 - Muro a nicchie cellulari in terra armata con piantagione di arbusti (Autostrada dei Trafori – Foto G. Sauli 1990)



Foto 483 - idem 15 anni dopo

13.2.6 Barriere verdi antirumore e di isolamento

Le barriere antirumore ed in genere con funzione di isolamento (visuale, antiabbagliamento, ecc.) possono essere realizzate anche con sistemi a verde.

Si è già detto che la sola vegetazione (sieponi, fasce boscate) è insufficiente come barriera con funzione antirumore, mentre vengono utilizzate efficacemente strutture in terrapieno vegetato secondo le tipologie che seguono.

Va precisato che le barriere antirumore verdi possono avere anche una funzione di abbattimento del particolato, limitato però dal fatto che barriere rigide creano scavalco dei filetti del vento incluse particelle sospese, mentre sono più efficaci siepi non tanto fitte che fungono da filtro. In merito andrà attivata una ricerca specifica in sede di attuazione dei piani di monitoraggio.

In terrapieno naturale

Vengono realizzati dei terrapieni a pendenza naturale utilizzando in genere inerti provenienti dagli scavi della infrastruttura, ricoperti di terreno vegetale, idrosemati e piantati con specie arbustive sulle scarpate sia lato strada che lato esterno. Tali strutture hanno il vantaggio di consentire la collocazione di grandi quantità di inerte di scarto, ma presentano lo svantaggio di richiedere notevoli spazi di esproprio laterali alla strada. La piantagione degli arbusti autoctoni avviene soprattutto sulle scarpate con funzione di aumento della scabrezza ai fini del fono assorbimento. L'impiego di siepi o filari di sempreverdi esotiche in testa rilevato non ha efficacia antirumore mentre crea elementi estranei al paesaggio di grande visibilità.



Foto 484 - GVT (TS) terrapieno vegetato di isolamento strada/Area di ricerca. Foto G. Sauli



Foto 485 – Terrapieno vegetato antirumore (Germania anni '80). Foto G. Sauli



Foto 486 – Terrapieno vegetato antirumore (Autostrada A28 - 2010). Foto G. Sauli

Terra rinforzata doppia

I terrapieni in doppia terra rinforzata verde forniscono un'efficace soluzione ai problemi di spazio sopracitati, garantendo comunque la possibilità di una efficace rivegetazione. Anche in queste costruzioni molti sono i materiali impiegabili (metallici, sintetici e/o in fibre organiche). Per quanto riguarda il verde valgono le modalità costruttive già elencate nel capitolo delle terre rinforzate.



Foto 487 – Barriera antirumore in terra rinforzata verde in rete sintetica con talee di salice (Svizzera anni '80). Foto G. Sauli



Foto 488 – idem sviluppo dei salici con effetto scarpata naturale per chi viaggia. Foto G. Sauli

Terrapieni compressi

Sono interessanti dal punto di vista dell'occupazione di spazio le strutture sostenute a terrapieno compresso, riempite di inerte e vegetate che consentono un'efficace azione di fonoisolamento per altezze di barriera sino a 5 m e con occupazione di base di 2 – 3 m.

Le armature di sostegno dei corpi terrosi possono essere in vari materiali: legno, acciaio, calcestruzzo. Le tipologie costruttive sono molto diversificate ed il successo della parte verde è intimamente collegato con una serie di condizioni che ogni tipologia consente.

Applicazioni di oltre 20 anni in Italia ed all'estero consentono di valutare durata ed efficacia sia della parte strutturale che di quella relativa alla vegetazione che si possono riassumere come segue:

- Le strutture **in legno** ad “albero di Natale” hanno il vantaggio di utilizzare un materiale che non si riscalda ed offre nicchie aperte che consentono un buon sviluppo delle piante. La natura del materiale legnoso ha però presentato qualche problema di durata (Autobrennero).

- Le strutture **in calcestruzzo** sono ottimali dal punto di vista strutturale, presentando qualche controindicazione nei confronti della vegetazione per il riscaldamento del materiale, problema che viene superato quando le piante si siano sviluppate fornendo copertura alla struttura stessa.
- Le strutture **in sostegni metallici** sono valide sia dal punto di vista strutturale che di superficie rinverdibile.

Tutte le tipologie citate necessitano generalmente di impianti di irrigazione a goccia ed il successo della copertura vegetale è legato:

- **al substrato terroso** - Vengono impiegati suoli tecnogenici costruiti da matrici locali migliorate con ammedanti.
- **alla scelta delle specie da impianto** - Vanno privilegiate le specie arbustive autoctone con carattere pioniero.



Foto 489 – Barriera antirumore in legno in costruzione (Autobrennero). Foto G. Sauli



Foto 490 – Barriera antirumore in terrapieno compresso in cls vegetata (Austria anni '80). Foto G. Sauli



Foto 491 - Barriera antirumore in terrapieno compresso in cls vegetata (Passante di Mestre). Foto G. Sauli 2009



Foto 492 - Barriera antirumore in cls vegetata (Tangenziale di Torino - Foto R. Santero)



Foto 493 – Barriera antirumore in cls vegetata (Tangenziale di Mantova - Foto R. Santero)



Foto 494 – Barriera antirumore vegetata ad arbusti in terrapieno compresso in struttura metallica. Campione di recente realizzazione con cura particolare per il suolo di riempimento (suolo tecnogenico) ed evidente successo dello sviluppo della vegetazione. (Foto G. Sauli)



Foto 495 – Barriera antirumore vegetata ad arbusti autoctoni in terrapieno compresso in struttura metallica (Autostrada dei Trafori – Foto G. Sauli fine anni '80)



Foto 496 – idem giugno 1996

Barriera antisvio in doppia terra rinforzata

Un'altra funzione delle barriere in doppio terrapieno armato è quella cosiddetta "antisvio" cioè strutture realizzate per impedire che veicoli in circolazione sulla strada possano uscire dalla carreggiata ed invadere gli spazi attigui come la parallela sede ferroviaria o comunque zone urbanizzate. Le modalità di realizzazione e rivegetazione sono le stesse già richiamate per le terre rinforzate verdi.



Foto 497 – Barriera antisvio in doppia terra rinforzata verde in fase di costruzione (Foto F. Ferraiolo)



Foto 498 – idem appena realizzata (Foto F. Ferraiolo)



Foto 499 – idem idrosemina a spessore



Foto 500 – idem a lavoro e rinverdimento ultimato. Separazione tra Autostrada ed AV TO – NO (Foto G. Sauli 2009)

13.2.7 Interventi di rivegetazione delle scarpate in ombra dei viadotti

I fattori limitanti principali della crescita delle piante sulle scarpate nell'ombra dei viadotti sono:

- la carenza di acqua di provenienza meteorica;
- la luce ridotta;
- la povertà dei suoli.

Numerose esperienze hanno dimostrato che efficaci sistemi di irrigazione possono sopperire alla carenza primaria (acqua) consentendo lo sviluppo delle piante. Vengono comunque impiegate specie sciafile ed in particolare l'edera.



Foto 501 – Edera tappezzante sotto i viadotti di accesso all'aeroporto (Tessera – VE) Foto G. Sauli 2008



Foto 502 – Impiego delle acque di sgrondo mediante tubi diffusori per rivegetazione ad edera (Grande Viabilità di Trieste – Via Caboto) gennaio 2010. Foto G. Sauli



Foto 503 – Impiego di edera tappezzante con impianto di irrigazione a goccia all'ombra del viadotto (Viabilità d'accesso alla nuova zona commerciale di Villesse – GO) febbraio 2010. Foto G. Sauli



Foto 504 – Rivegetazione ad esotiche basso arbustive con irrigazione a goccia (Autobrennero loc. Vipiteno) – Foto G. Sauli

13.2.8 Vasche di prima pioggia come habitat umidi o a secco

Il trattamento delle acque di dilavamento delle piattaforme stradali si è posto già dagli anni '90. Le strade, infatti, e in particolare le autostrade, si comportano come dei bacini di raccolta delle acque meteoriche che devono essere sgrondate e smaltite nei recapiti laterali alle strade stesse. Tali acque, in particolare quelle di prima pioggia, dilavano il particolato e gli inquinanti derivanti dal traffico veicolare (metalli pesanti, olii, gomme, polveri, sostanze organiche, ecc.) che si concentrano sulla strade stesse.

L'idea di realizzare delle vasche di raccolta delle acque di prima pioggia (contenenti buona parte del particolato e degli inquinanti rilasciati dai veicoli) ha portato alla sperimentazione, in diversi paesi europei ed anche in Italia, di vasche di prima pioggia sia tecnologiche che in terra con varie risultanze.

Per quanto riguarda le vasche in terra furono realizzate vasche di raccolta delle acque così formate:

- una prima vasca più piccola a fondo cementato per la sedimentazione dei fanghi contenenti la maggior parte del particolato e degli inquinanti (che vengono periodicamente rimossi);
- una seconda vasca, più grande e a fondo in terra, con funzione di fitodepurazione ad elofite (generi *Phragmites*, *Typha*, *Schoenoplectus*, *Juncus*, ecc.) e contemporanea ricostruzione di habitat umidi.

Tali sistemi, già sperimentati a valle degli impianti di depurazione (paludaggio), hanno però mostrato dei limiti d'applicazione ed in particolare:

- necessità funzionale di realizzare delle seconde vasche di notevoli dimensioni con morfologia a labirinto;
- possibilità altresì che l'acqua con inquinanti residui transiti attraverso la vasca (se di piccole dimensioni) e sfiori negli scarichi senza che sia avvenuta la fitodepurazione;
- habitat umidi con forti contenuti di inquinanti e quindi negativi ai fini della fauna;
- necessità di rimozione periodica di tutto il fondo e ricostruzione dell'area umida.

Nell'ultimo decennio in centro Europa si sta affermando l'impiego di:

- fossi di infiltrazione laterali al piede delle scarpate con funzione di sedimentazione dei fanghi e di infiltrazione delle acque residue;
- vasche doppie di cui la prima con funzione di sedimentazione dei fanghi e la seconda, in fondo terroso inerbito, con funzione di infiltrazione e depurazione degli inquinanti residui. Tali strutture costituiscono una valida alternativa alle vasche tecnologiche in calcestruzzo che vengono normalmente inserite nelle progettazioni stradali.

Vanno considerati quali benefit ambientali di tali strutture:

- il ripascimento delle falde (in funzione della geolitologia e geomorfologia del sito);
- la facilità di realizzazione e gestione;
- la segregazione del carbonio (cotici erbosi, suoli);
- la funzione di micro – habitat;
- la facilità di intervento d'emergenza e di ricostruzione in caso di incidenti (sversamento di liquidi inquinanti sulla carreggiata).



Foto 505 – Vasca di prima pioggia con funzione di fitodepurazione (Francia – Foto P. Cornellini)



Foto 506 – Vasca di prima pioggia con funzione di habitat umido e fitodepurazione (Germania – Foto G. Sauli)



Foto 507 – Vasca di prima pioggia a fondo terroso a secco con funzione di infiltrazione ed avanasca in cls di sedimentazione dei fanghi inquinati (ricostruzione autostrada ex DDR – Lipsia – Foto G. Sauli 2005)



Foto 508 – idem fase di gestione

13.2.9 Strutture di deframmentazione di habitat faunistici

Per quanto riguarda le strutture di deframmentazione di habitat faunistici in ambito stradale si rimanda alla Linea guida ISPRA in preparazione che si occupa di tutta la tematica in generale.

Vengono di seguito riportati alcuni esempi di interventi realizzati in Italia ed all'estero quali esempi di buone pratiche da inserire normalmente nelle progettazioni e realizzazioni stradali. Va precisato che le caratteristiche (collocazione, dimensionamento, morfologia, ecc.) di tali provvedimenti sono collegate alle indagini specialistiche sulla fauna locale che vanno effettuate nell'ambito degli Studi di impatto propedeutici alla progettazione. Vale comunque il principio di collocare comunque, anche in assenza di dati specifici, frequenti varchi di continuità territoriale oltre ai normali provvedimenti relativi alla viabilità locale ed agricola.

Il problema è non solo di tipo naturalistico, ma anche relativo alla sicurezza dei veicoli. In tal senso le strutture di continuità faunistica (sottopassi, sovrappassi, ecc.) vanno collegate con sistemi di recinzioni e/o di deterrenza (es. catarifrangenti speciali che riflettono le luci delle macchine verso l'esterno delle carreggiate).

Sussistono alcune tipologie più frequenti (vedi foto allegate):

- sovrappassi destinati in genere a popolazioni di grossi mammiferi (ungulati, lupo, orso) i cui habitat di transito siano interferiti dalla struttura viaria. Per avere efficacia nei confronti della fauna tali strutture devono avere certe dimensioni, non essere attraversate da viabilità locale, essere rivegetate, non essere adiacenti a zone urbanizzate o comunque recintate);
- sottopassi per gli stessi animali di grossa taglia che devono avere grandi dimensioni (luce almeno doppia della larghezza della strada ed altezza minima di 4 – 5 m) salvo il non utilizzo. Risultano validi per tale funzione i viadotti, anche prolungati al di là della loro necessità funzionale e finalizzati appunto al transito normale degli animali;
- sottopassi con la stessa funzione destinati però a fauna minore (volpi, lepri, ricci, ecc.) e di varia dimensione in funzione delle specie. Vale il principio che l'animale deve vedere la luce alla fine dello scatolare o tombino ma l'altezza viene mantenuta limitata per non consentire il transito di mezzi agricoli ;
- Sistemi di siepi ad invito per sovrappassi e sottopassi;
- sistemi di svio, invito e sottopasso per anfibi. Tale problematica molto diffusa nel centro Europa investe anche l'Italia centro – nord. Gli anfibi notoriamente hanno dei dinamismi stagionali che li portano dai quartieri di caccia (versanti) a quelli di riproduzione (laghi, stagni, lanche, acque debolmente correnti, ecc.) a valle. Tali movimenti intercettano le strade a mezza costa in zone collinari e montane dove sono possibili delle vere e proprie stragi specialmente di notte e con tempo piovoso, con evidente pericolo anche per i veicoli in transito.



Foto 509 – Sovrappasso per orsi (Autostrada A2 presso Arnoldstein - Austria – Foto G. Sauli)



Foto 510 – Galleria artificiale rivegetata con funzioni di continuità faunistica (Grande Viabilità Triestina loc. Prosecco – Foto G. Sauli)



Foto 511 – Idem in costruzione



Foto 512 – Idem rivegetazione a landa ed arbusti locali dopo 20 anni (Foto G. Sauli 2009)



Foto 513 – Ponte per ungulati con strutture di invito ad imbuto (Lussemburgo anni '80). Foto G. Sauli



Foto 514 – Sottopasso per uso faunistico (GVT loc. Slivia – Foto G. Sauli 2009)



Foto 515 – Sottopasso scatolare per fauna minore (Collegamento Cimpello – Sequals – PN – Foto G. Sauli)



Foto 516 – Passaggio per fauna a tubo (Collegamento Cimpello – Sequals – PN – Foto G. Sauli)



Foto 517 – Investimenti di fauna minore sulle strade statali e provinciali sono frequenti in quanto non recintate (Collegamento Cimpello – Sequals – PN – Foto G. Sauli)



Foto 518 - Rospo comune (Bufo bufo) in riproduzione. Lo stadio di girino richiede acque stagnanti verso le quali gli anfibii sono necessariamente attratti in primavera (Foto G. Sauli).



Foto 519 – Strutture metalliche di svio per anfibii collegate con diaframmi direzionali e sottopassi (Germania). Foto G. Sauli



Foto 520 - Strutture metalliche di svio per anfibii collegate con diaframmi direzionali e sottopassi (Germania). Foto G. Sauli



Foto 521 - Strutture metalliche di svio per anfibii collegate con diaframmi direzionali e sottopassi (Germania). Foto G. Sauli

13.3 Applicabilità dell'Ingegneria Naturalistica alle discariche

Recupero ambientale di discariche, con particolare riferimento a rifiuti solidi urbani (RSU), rifiuti tossici nocivi (RTN), inerti e inerti industriali

L'argomento discariche viene qui preso in considerazione principalmente per quanto riguarda i recuperi a verde che risultano necessari, a discarica esaurita, date le vaste superfici in terra che si vengono a creare nelle parti superiori delle discariche stesse e nelle adiacenze (piazze di stoccaggio e manovra, piste interne, ecc.).

Viene di seguito riportata una casistica di interventi a verde su discariche a livello nazionale e centroeuropeo organizzate secondo le seguenti tipologie:

- Discariche di rifiuti solidi urbani (RSU)
- Discariche di rifiuti tossici nocivi (RTN)
- Discariche di inerti
- Discariche minerarie e di inerti derivati da processi industriali

Dal punto di vista del recupero in genere gli interventi a verde possono essere affrontati quando la discarica o un suo lotto funzionale siano esauriti e ne sia stata effettuata la chiusura superiore secondo le tecnologie previste dal progetto.

Le tecniche di rivegetazione risultano a questo punto di solito semplificate e si svolgono secondo le seguenti modalità:

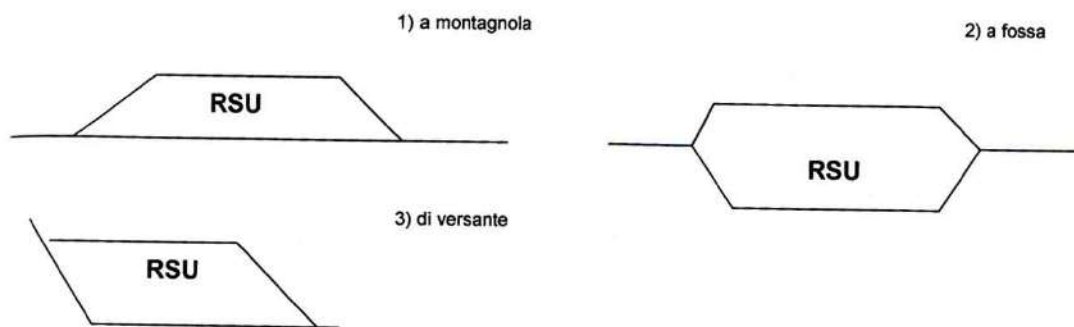
- riporto di terreno vegetale sugli inerti drenanti di ricopertura (di solito almeno 30 cm di terreno agrario su almeno 50 – 100 cm di inerte drenante);
- eventuale trapianto in zolla a mosaico (copertura dei trapianti di circa il 10 %) di cotici di formazioni erbacee di prati-pascoli polifiti se la discarica è in vicinanza o adiacenza ad aree protette, aree SIC – ZPS, o comunque aree ad elevata naturalità,
- semine con fiorume proveniente dalle formazioni naturali o paraturali citate;
- semine o idrosemine potenziate con miscele adatte alla situazione pedoclimatica ed ambientale locale;
- messa a dimora di specie arbustive autoctone con disposizione a isole ed evitando geometrismi. L'impiego di specie arboree va limitato, per ovvie ragioni funzionali di durata dei teli di sigillatura superiore, alle sole fasce marginali esterne al vero e proprio corpo discarica;
- tecniche di ingegneria naturalistica che vanno adottate negli interventi di consolidamento dei terrapieni e nella sistemazione di opere di canalizzazione perimetrali. Sono talvolta utili interventi con tecniche antierosive o stabilizzanti anche sulle parti in scarpata della discarica stessa per evitare effetti di ruscellamento o solchi in tratti in pendenza (stuoie organiche, viminate o gradonate vive, geocelle a nido d'ape, ecc.);
- realizzazione di fasce boscate tampone.

13.3.1 Discariche di RSU

Per quanto riguarda le discariche di RSU la strategia più diffusa attualmente in Italia si basa su tecniche di “incaramellamento” del corpo discarica mediante materiali impermeabili che permettono un totale isolamento dall’ambiente esterno.

A questo scopo vengono usati geomembrane e materiali bentonitici che hanno dei coefficienti di permeabilità molto bassa ($K=10^{-11}$). Rispetto alla morfologia si individuano tre principali tipologie come di seguito illustrate:

Inizialmente (anni '80) veniva impermeabilizzato solamente il fondo della discarica, per evitare l’inquinamento



delle sottostanti falde acquifere da parte dei liquidi percolanti.

La parte superiore era lasciata senza impermeabilizzazione, perché così facendo veniva evitato l’accumulo dei biogas che rendevano però asfittico il terreno non permettendo la crescita delle piante. Attualmente invece, viene eseguito anche un isolamento superiore e i biogas formati, derivanti dalle fermentazioni aerobiche e anaerobiche dei rifiuti, vengono intercettati con un sistema di tubi drenanti per consentirne l’utilizzo. A volte il biogas non viene recuperato, ma bruciato tramite delle torce di sfiato e scarico.

Un esempio di impermeabilizzazione di un fondo di discarica può prevedere in genere i seguenti strati (dall’alto verso il basso):

=====	Geomembrana
.....	Letto di sabbia per proteggere la geomembrana dagli strappi
_____	Strati di bentonite 1) impermeabilizzano
	2) assorbono e attutiscono gli urti
.....	Litologia locale (roccia in posto)

Il rivestimento superiore può essere costituito da (dall’alto verso il basso):

^^^^^^^^^^	Terreno vegetale
*****	Pacco drenante ghiaia/sabbia (80-150 cm)
_____	Non tessuto (ad es. feltro)
=====	Geomembrana
.....	Sabbia /ghiaia (inerte recuperabile in loco)

Tale rivestimento permette alla fine la messa a dimora degli arbusti che possono spingere il loro apparato radicale all’interno del terreno vegetale e all’interno del corpo drenante, per fermarsi a livello del non tessuto senza apportare alcun danno alle geomembrane.

La copertura dei rifiuti avviene anche giornalmente tramite la stesura di inerte a strati.

A copertura terminata la realizzazione del verde è relativamente semplice, tranne che per gli ormai noti problemi di reperimento delle miscele di sementi e di arbusti.

Casistica di interventi a verde in discariche di RSU

Discarica di Bologna

Viene riportato quale esempio di una delle prime e più grandi discariche a “montagnola” quello della discarica di Bologna, visibile dall’autostrada Bologna-Firenze. Il recupero a verde di questa discarica è stato effettuato solamente mediante realizzazione di cotico erboso.



Foto 522 - Discarica a montagnola, discarica di Bologna anni '90 - Foto: G. Sauli



Foto 523 - Discarica a montagnola, Bologna, 2010- Foto: G. Sauli

L’effetto finale non è ottimale e l’habitat risulta monotono e con elementi di geometrismo legato alla sistemazione morfologica a gradoni. Una copertura con arbusti (fatta salva l’interferenza degli apparati radicali con i sistemi di isolamento superiori) consentirebbe un miglior effetto paesaggistico ed un maggior tenore di biodiversità dell’ecosistema ricostruito.

DISCARICA DI SCIAVES (BREZZANONE-BZ)

La discarica di RSU di Sciaves (Bressanone-BZ) è stata realizzata sull’imposta di un vecchio scavo di versante con all’ingresso un impianto di compostaggio in cui convoglia gran parte della materia organica. Il residuo in uscita dal compostaggio viene avviato a discarica, qui i rifiuti vengono coperti da uno strato di terra.

La geomembrana (nera) viene saldata sul posto per impedire sia la fuoriuscita del biogas, sia il percolamento dell’acqua piovana.



Foto 524 - Fase di ricoprimento con terreno vegetale del I° lotto. Discarica di RSU di Sciaves (BZ), Foto: G. Sauli



Foto 525 - Sigillatura e copertura superiore con geomembrane e non tessuti. Discarica RSU di Sciaves (BZ) Foto: G. Sauli

Lo strato bianco visibile nell’immagine, è rappresentato dal geotessuto sopra al quale viene posto l’inerte drenante. Lo strato finale è dato appunto dalla terra vegetale, che nel caso delle discariche di versante è sempre di difficile reperimento.

Nel caso di Sciaves oltre alle semina sono stati messi a dimora arbusti autoctoni e realizzate delle gradonate vive con salici lungo le scarpate.



Foto 526 - Rivegetazione mediante semine, messa a dimora di arbusti e gradonate vive di salice. Discarica RSU di versante di Sciaves (BZ). Foto: F. Palmeri



Foto 527 - Discarica RSU di versante di Sciaves (BZ). Foto: G. Sauli, 2004

Pur essendoci uno sfondo a Pini silvestri negli immediati dintorni della discarica, questi non sono stati utilizzati nel rinverdimento, in quanto i pini emettono un lungo apparato radicale fittonante in grado di danneggiare la geomembrana e rischiano comunque di destabilizzare i ricoprimenti.

DISCARICA DI MANIAGO (PN)

Viene riportato il caso della discarica di RSU in loc. Cossana in prossimità di Maniago (PN). L'ambiente circostante è rappresentato dai cosiddetti "magredi" prati –pascoli aridi su terrazzi ghiaiosi del T. Cellina, ricchi di specie di prato arido (Crisopogoneto). La discarica è realizzata parzialmente a fossa con chiusura a "montagnola". Nel 1° lotto della discarica è già stato effettuato il recupero a verde, ma l'aspetto attuale è dominato dalla crescita delle infestanti. Nei lotti successivi è previsto l'utilizzo nelle semine del fiorume prelevato mediante sfalcatura o trebbiatura nei prati-pascoli naturali situati in adiacenza, nonché interventi di sfalcio di manutenzione per evitare il fenomeno delle infestanti.



Foto 528 – Discarica di Maniago (PN) Loc. Cossana. Preparazione del fondo di discarica a fossa. Foto: G. Sauli - 2002



Foto 529 – Discarica RSU di Maniago (PN) Loc. Cossana, lotto in fase di chiusura.

Foto: G. Sauli, 2002



Foto 530 – Discarica di RSU di Maniago (PN) Loc. Cossana. Rinverdimento del I° lotto visibile a sinistra dell'immagine. Foto: G. Sauli - 2002

Un problema di questa ed altre discariche è rappresentato dalle polveri, la strada di accesso infatti è sterrata e numerosi camion la percorrono giornalmente. Per ovviare a questo inconveniente esistono alcune possibili soluzioni da usare in alternativa o in concomitanza:

- la strada potrebbe essere asfaltata (rimuovendo in seguito l'asfalto)
- possono essere effettuate delle bagnature con le autobotti,
- le polveri potrebbero essere arginate con delle siepi a bordo strada.



Foto 531 – Siepi antipolvere a bordo strada, Foto: G. Sauli

DISCARICA DI TRIVIGNANO (UD)

Viene riportato il caso della discarica di RSU di Trivignano (UD) che è stata realizzata in una cava di ghiaia di pianura e per la quale le modalità di isolamento e recupero sono in analogia con le precedenti.



Foto 532 – Discarica di Trivignano (UD) giugno 2003, Foto: G. Sauli



Foto 533 – Discarica di Trivignano (UD) giugno 2003, Foto: G. Sauli

Le opere di rinaturalizzazione della discarica fanno parte di un piano più ad ampio respiro di ricostruzione delle reti ecologiche nell'ambito del Comune di Trivignano, a cominciare da fasce boscate tampone perimetrali alla discarica stessa.



Foto 534 – Fascia boscata tampone perimetrale alla discarica di RSU di Trivignano (UD) - Foto: G. Sauli, 2003



Foto 535 – Fascia boscata tampone perimetrale alla discarica di RSU di Trivignano (UD) - Foto: G. Sauli, luglio 2007



Foto 536– Discarica di Trivignano (UD) luglio 2007 - Foto: G. Sauli

13.3.2 Discariche di RTN

Discarica di Gonnese (CA)

Si riporta il caso della discarica di rifiuti tossici-nocivi di Gonnese (CA) che è stata realizzata in una ex cava di bentonite in un contesto di alto valore paesaggistico e naturalistico di gariga costiera sarda con affioramenti di massi granitici, creando i presupposti per interventi molto impegnativi dal punto di vista naturalistico.



Foto 537 – Gonnese, Foto: G. Sauli



Foto 538 - Interventi di rivegetazione con semina e messa a dimora di specie arbustive autoctone e non, compresa disposizione non naturaliforme di massi granitici come presenti nell'habitat naturale circostante. Discarica di fanghi industriali di Gonnese (CA), Foto: G. Sauli

Il recupero è progettato a lotti di cui il primo è stato completato, il secondo e il terzo sono in corso.

Il circostante citato paesaggio orientava il ripristino verso la ricostruzione della gariga, ma nel primo lotto le specie vegetali impiegate, pur facenti parte di quell'habitat (cisto, rosmarino, lentisco, ecc.), vennero sistemate con disposizione geometrica a isole monospecifiche e con utilizzo anche di specie esotiche (Agave). Stessa sorte spettò ai massi granitici, recuperati per essere sparsi in modo casuale (naturale!) sul terreno, e che vennero invece sistemati con disposizione architettonica, con un risultato finale distante dalle ricercate realizzazioni di soluzioni naturali e quanto più possibile simili all'ambiente circostante (ricucitura all'ambiente circostante/innescò di sistemi naturali).

Discarica di tossici nocivi di Gennaluas (CA)

Nelle Foto seguenti viene illustrata la preparazione della sigillatura del fondo di una delle più grosse discariche della Sardegna destinata a ricevere i fanghi industriali dell'impianto Enichem di Porto Scuso. La discarica è stata impostata rimodellando la morfologia della parte a cielo aperto della vecchia miniera di pirite (articolata in buona parte in galleria).



Foto 539 - Preparazione della sigillatura di fondo della discarica di fanghi industriali di Gennaluas (CA), su un rimodellamento morfologico della vecchia miniera di pirite. Foto Ecos



Foto 540 - Preparazione della sigillatura di fondo della discarica di fanghi industriali di Gennaluas (CA), su un rimodellamento morfologico della vecchia miniera di pirite. Foto: G. Sauli

A carico della Società che gestirà la discarica è in fase di realizzazione nell'ambito della discarica un Museo e centro visite della miniera che illustrerà le passate attività minerarie.

Come già detto uno dei problemi delle cave e delle discariche sono le polveri, dovute alla massiccia circolazione dei camion. Nella foto seguente un'autobotte sta spargendo acqua lungo le strade interne della discarica, sistema costoso e di difficile applicazione in zone carenti d'acqua, come ad esempio la Sardegna.



Foto 541 – Spargimento d’acqua lungo le strade interne della discarica, Gennaluas (CA). Foto: G. Sauli

13.3.3 Discariche di inerti

Nei grossi progetti di infrastrutture viarie viene normalmente prodotto e realizzato il “piano cave e discariche” che prevede le fonti di approvvigionamento inerti da costruzione e la messa a discarica degli inerti in eccedenza o non riutilizzabili per scarse caratteristiche geotecniche. In genere tali inerti di scarto vengono collocati in aree di cava esaurite quale ricomposizione morfologica e paesaggistica almeno parziale.

Si riportano due casi di riciclaggio di inerti per rimodellamenti morfologici e recuperi a verde di cave in roccia abbandonate o in fase di chiusura:

Cava di calcare Scoria (TS)

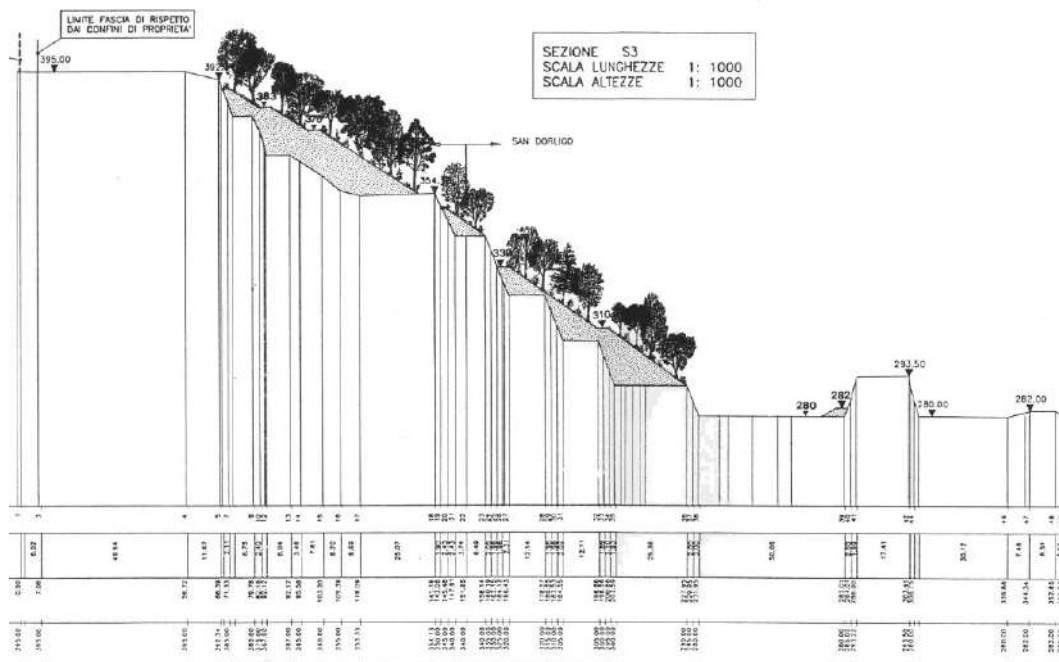


Fig. 13.17 -



Foto 542: Cava Scoria (TS) 2009



Foto 543: Cava Scoria (TS) ottobre 2013

Cava ex Faccanoni (TS)



Foto 544 – Cava Faccanoni, situazione attuale



Foto 545 - Progetto per collocazione a discarica di inerti di scarto e contemporanea ricomposizione morfologica parziale dell' ex cava Faccanoni (fotomontaggio).

In entrambi i casi vengono appunto riciclati inerti di scarto derivanti da scavi di fondazioni, demolizioni, ecc. derivanti sia dal fabbisogno della città che da alcune grosse infrastrutture viarie attualmente in costruzione nella provincia di Trieste.

Per le ricoperture si utilizzano suoli a matrice calcarea di provenienza locale.

Sono previsti interventi di idrosemina e messa a dimora di arbusti tipici della vegetazione del Carso triestino da cui si attende un recupero paesaggistico delle due cave citate.

13.3.4 Discariche minerarie

Discarica della miniera di Campo Pisano (CA)

Quanto sopra riportato può esser applicato anche in ambito mediterraneo, salvo selezione delle specie arbustive, suffrutescose ed erbacee da impiegare nelle singole regioni e località.

Viene riportato il caso di un intervento campione eseguito su una discarica di sterili a basso contenuto di zinco e piombo nella miniera di Campo Pisano (Iglesias - CA).

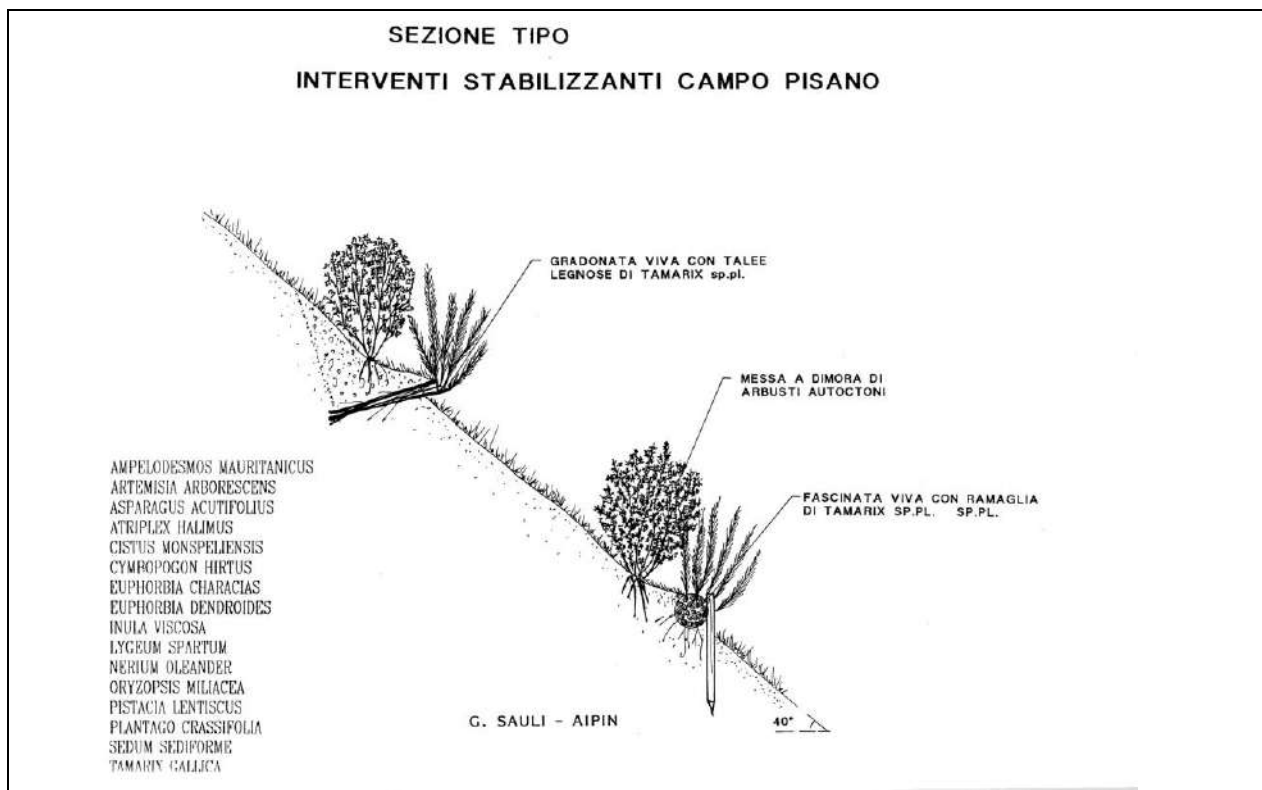


Fig. 13.18



Foto 546



Foto 547



Foto 548



Foto 549



Foto 550



Foto 551



Foto 552



Foto 553



Foto 554: Discarica della miniera di Campo Pisano, Luglio 2012

La scarpata interessata dalle opere (circa 1000 m² con pendenza 40°-45°) fu suddivisa in otto particelle longitudinali (5x 25 m) che sono state rinaturate con differenti metodiche, onde valutare in modo comparativo i risultati ottenuti.

Le tecniche impiegate sono state:

Rivestimento con biofello presemato e preconciato, fissato con rete metallica a maglia 10 x 10 cm;

Fascinate e cordone vive di tamerici alternate a messa a dimora di arbusti autoctoni;

Palizzata viva di tamerici;

Copertura con stuoia in fibra di cocco e piantagione di piante erbacee perenni;

Rivestimento in paglia con rizomi sminuzzati di graminacee e semina;

Copertura con terra vegetale, stuoia in fibra di cocco e semina;

Messa a dimora di arbusti autoctoni di gariga mediterranea e cespi di graminacee in vaso;

Testimone (senza interventi).

Su tutte le parcelle è stata inoltre eseguita una idrosemina di copertura con miscuglio di specie selezionate tra le più resistenti alle condizioni di aridità e di carenza nutrizionale.

Fu prevista l'irrigazione solamente nella parte superiore dei versanti e fu limitata al primo periodo di vegetazione; l'acqua è un fattore condizionante primario in queste situazioni, per cui inizialmente l'attecchimento e la crescita furono migliori nella zona sommitale.

Il risultato delle sperimentazione indica l'impiego di arbusti pionieri mediterranei come prioritario nelle rivegetazioni di scarpate in condizioni di forte aridità, mentre le semine danno scarsi risultati salvo impiego di specie erbacee locali da attuare mediante fiorume, spargimento di fienagioni o trapianto di cespi di graminacee locali.

In un'altra discarica della zona, in quegli anni, alcune scarpate vennero rinverdite con il *Mesembryanthemum* (fico degli ottentotti) sfruttando la sua capacità di veloce tappezzante. I risultati furono però nulli a causa delle sue non valide capacità biotecniche.



Foto 555: *Mesembryanthemum*

Discariche minerarie e industriali del centro Europa (Germania)

Vengono riportate alcune immagini di discariche di inerti del centro-Europa e in particolare:

Una discarica derivante da scoperchiatura di miniere di carbone nella Ruhr (Germania) con realizzazione di enormi colline (chiamate Halden in tedesco) completamente rivegetate.



Foto 556 -

Discariche di residui di lavorazioni industriali della soda (Hannover- Germania), con impiego di semine con fiorume e specie derivate da formazioni prative naturali su vaste superfici di neoformazione e in assenza di terreno vegetale.



Foto 557: Discarica industriale di residui di lavorazione della soda, fase di deposito su morfologia a “collina”, Hannover (Germania) 2002, Foto: G. Sauli



Foto 558: Rivegetazione a prato stabile con specie erbacee locali tra cui dominante *Camagrostis epigejos* della discarica industriale di residui di lavorazione della soda. Hannover (Germania) 2002, Foto: G. Sauli



Foto 559: Discarica industriale a “collina” di residui di lavorazione della soda,”con interventi di idrosemia. Hannover (Germania) 2002, Foto: G. Sauli

13.4 Applicabilità dell'Ingegneria Naturalistica ai metanodotti

Premesse

L'applicabilità dell'I.N. alle condotte interrate va riferita alle tipologie legate alle rivegetazioni delle aree di intervento quali principalmente:

- Le superfici delle fasce di intervento per la posa in sotterraneo delle tubazioni lungo i tracciati dei metanodotti;
- Le aree dei cantieri e le piste d'accesso;
- Il mascheramento e il reinserimento paesaggistico delle stazioni di pompaggio;
- La realizzazione di interventi di compensazione naturalistica.

Valgono alcuni principi generali dell'I.N. derivanti dall'impiego tradizionale sui versanti:

- Finalizzazione degli interventi di rivegetazione alla funzione antierosiva e di stabilizzazione dei suoli denudati di intervento;
- Ottenimento di tali funzioni comunque legato alla ricostituzione di ecosistemi locali mediante impiego di piante autoctone riferite a stadi delle serie dinamiche della vegetazione potenziale dei siti di intervento;
- Impiego prevalente di tecniche con funzione di stabilizzazione (messa a dimora di talee legnose, di arbusti e di alberi, viminate vive e palizzate abbinate a canalette, gradonate e cordonate vive);
- Impiego di tecniche combinate di I.N. (grate vive, palificate vive, terre rinforzate verdi, gabbionate verdi, ecc.) per situazioni particolari di pendenza e substrato geopedologico lungo i tracciati delle condotte, interventi spondali per attraversamento di corsi d'acqua o in aree contermini;
- Reinserimento paesaggistico anche strettamente legato all'impiego di piante autoctone in quanto si opera in prevalenza in ambiti extraurbani.
- Ricostruzione di elementi dell'ecomosaico in funzione della percentuale di presenza. Ad esempio se il tracciato attraversa un'area boscata è verosimile ricostruire cespuglieti e prati – pascoli piuttosto che ricostruire bosco in zone dove il bosco è abbondantemente presente, mentre mancano altri stadi della serie dinamica.

Modalità di selezione degli interventi a verde e di ingegneria naturalistica

Va innanzitutto considerato che le interazioni ambientali della realizzazione di un metanodotto sono limitate alla fase di costruzione dell'opera, mentre risultano del tutto marginali quelle relative all'esercizio del metanodotto.

Nella progettazione di una linea di trasporto del gas vanno, di norma, adottate alcune scelte di base che, di fatto, permettono una minimizzazione delle interferenze dell'opera con l'ambiente naturale. Tali scelte possono essere così schematizzate:

- ubicazione del tracciato lontano, per quanto possibile, dalle aree di pregio naturalistico;
- interrimento dell'intero tratto della condotta;
- accantonamento dello strato superficiale del terreno e sua ridistribuzione lungo la fascia di lavoro ;
- utilizzazione di aree prive di vegetazione per lo stoccaggio dei tubi;
- utilizzazione, per quanto possibile, della viabilità esistente per l'accesso alla fascia di lavoro;
- riutilizzo di gallerie esistenti;
- utilizzazione, nei tratti caratterizzati da copertura boschiva, di esistenti varchi;
- realizzazione delle stazioni di lancio e ricevimento pig all'interno di aree recintate esistenti o in fase di ampliamento;
- realizzazione delle difese spondali con tecniche di ingegneria naturalistica;
- programmazione dei lavori, per quanto reso possibile dalle esigenze di cantiere, nei periodi più idonei dal punto di vista climatico.

La progettazione dei ripristini ambientali, va affinata e definita al termine dei lavori sulla base delle problematiche emerse. Dopo il rinterro della condotta ed al completamento dei lavori di costruzione saranno eseguiti gli interventi di ripristino ambientale, allo scopo di ristabilire nell'area gli equilibri naturali preesistenti e, contemporaneamente, permettere la ripresa della normale attività di utilizzo del territorio.

Caratteristiche stazionali dei siti

Per loro conformazione i tracciati dei gasdotti attraversano ambienti anche molto differenziati nell'ambito di uno stesso progetto (colture estensive di fondovalle, colture collinari, zone montane boscate, ecc.).

Per una efficace progettazione degli interventi di ricomposizione dei suoli e rivegetazione vanno innanzitutto conosciute le caratteristiche stazionali dei singoli tratti di intervento (latitudine, altitudine, microclima (piovosità e temperatura medie), esposizione e inclinazione di ogni singolo versante e scarpata, stadio della serie dinamica della vegetazione potenziale, substrato geopedologico, ecc.).

Tali dati consentono la scelta delle specie vegetali più idonee per gli interventi, anche in funzione del suolo disponibile.

Caratteristiche biotecniche delle specie

Nella scelta delle specie vanno anche considerate le caratteristiche biotecniche delle specie (capacità antierosive delle erbacee, tipo di radicazione e sviluppo in altezza e larghezza delle legnose, comportamento pioniero, possibilità di riproduzione per via vegetativa tramite talea legnosa in pieno campo, ecc.).

Abbinamento con tecniche di Ingegneria Naturalistica

Vanno selezionate le specie arbustive più idonee all'abbinamento con le tecniche di Ingegneria Naturalistica da utilizzare nell'ambito del progetto.

Data la grande variabilità delle condizioni ambientali del territorio italiano, la selezione delle specie è di fondamentale importanza per la riuscita e durata degli interventi ma anche per l'efficacia funzionale attesa dalla tecnica utilizzata.

Un esempio classico è la palificata viva di sostegno in cui lo sviluppo radicale delle piante è condizione prima del successo della tecnica stessa che prevede notoriamente che la funzione di sostegno sia inizialmente a carico del legname e passi poi nel tempo a carico della radicazione delle piante legnose abbinate.

Potenziale interferenza con le strutture

Anche nel caso delle condotte interrato alcune delle tecniche a verde rientrano nella categoria del "verde tecnico" (tedesco "Vegetationstechnik" tradotto letteralmente: "tecniche di vegetazione") cioè dell'uso tecnico delle piante cioè del verde realizzato tenendo conto delle esigenze e quindi delle limitazioni funzionali indotte dalle attività umane.

Vale comunque sempre il principio già citato in premessa di realizzare il massimo livello di biodiversità compatibile con le limitazioni funzionali strutturali e gestionali intrinseche dell'opera.

La verifica delle caratteristiche biotecniche delle piante va effettuata in funzione delle potenziali interferenze con la infrastruttura.

Vanno prese in considerazione:

- interferenze infrastrutturali, ad esempio la radicazione eccessiva di certe specie può interferire con le tubature delle condotte (oggi giorno l'utilizzo di tubi inguainati ha praticamente eliminato tale inconveniente),
- interferenze gestionali, ad esempio l'eccessiva rivegetazione può limitare gli accessi veicolari per i controlli e le manutenzioni

Le interferenze potenziali legate allo sviluppo delle piante devono essere tenute in conto sia in fase di progettazione (selezione e collocazione delle piante), sia in fase di gestione prevedendo periodici interventi di manutenzione di cui si dirà al capitolo specifico.

13.4.1 Impatto potenziale dei tracciati delle condotte interrate

Le condotte interrate vanno considerate a tutti gli effetti nella categoria delle infrastrutture lineari la cui realizzazione produce una "intrusione" nel territorio di notevole impatto potenziale, legato alle operazioni di scavo per l'interramento delle tubature.

Nelle figure allegate sono schematizzate le possibili dimensioni delle aree di passaggio in condizioni normali (fascia sino a 32 m per i diametri maggiori) o in condizioni ristrette.

Ciò ha prodotto in passato delle "cicatrici" di notevole impatto visuale, specialmente nei versanti montani, in cui venivano effettuate opere di ricomposizione molto semplificate (idrosemine) spesso in contrasto con gli ecosistemi circostanti.

L'utilizzo di tubazioni inguainate negli ultimi 15 – 20 anni ha reso possibile eseguire interventi di piantagione lungo i tracciati delle condotte, non essendoci più il problema di eventuali interferenze degli apparati radicali con l'integrità delle tubazioni stesse.

Ciò ha migliorato notevolmente le possibilità di reinserimento paesaggistico delle condotte interrate.

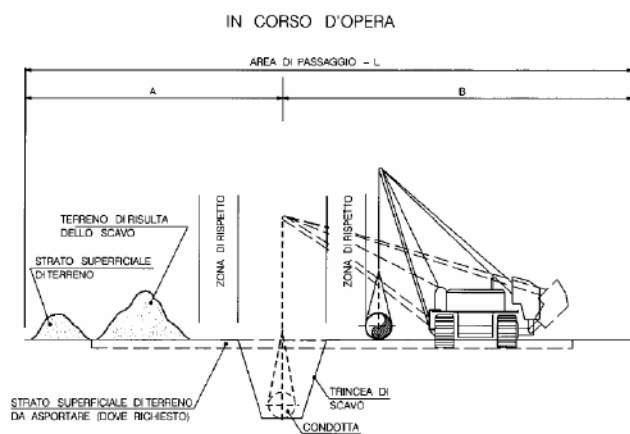


Fig.13.19 Area di passaggio normale condotta

DIAMETRO CONDOTTA		AREA DI PASSAGGIO NORMALE		
mm	inch	A (m)	B (m)	L (m)
50-150	2-6	6	8	14
200-300	8-12	7	9	16
350-450	14-18	8	11	19
500-600	20-24	9	12	21
650-750	26-30	10	14	24
800-950	32-38	11	15	26
1000-1200	40-48	12	18	30
1300-1500	50-60	13	19	32

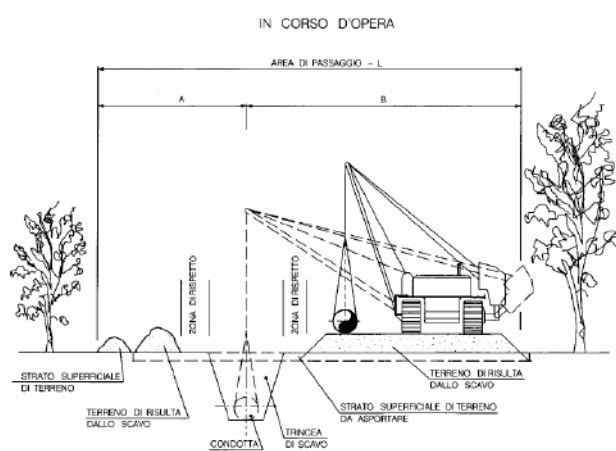


Fig. 13.20 Area di passaggio ristretto condotta

DIAMETRO CONDOTTA		AREA DI PASSAGGIO RISTRETTO		
mm	inch	A (m)	B (m)	L (m)
50-150	2-6	4	8	12
200-300	8-12	5	9	14
350-450	14-18	6	10	16
500-600	20-24	7	11	18
650-750	26-30	8	12	20
800-950	32-38	9	13	22
1000-1200	40-48	9	13	22
1300-1500	50-60	10	14	24



Foto 560: M. Sei Busi Monfalcone (GO) – Visibile il tracciato dell'oleodotto transalpino soggetto a pulizia periodica (a destra) parallelo al recente metanodotto inguinato (a sinistra) non soggetto a pulizia – Foto G. Sauli, 2010

Vengono di seguito presentate alcune immagini di scavi per posa delle condotte che danno un'idea delle fasce d'occupazione legate agli scavi, accumuli e piste laterali. Le immagini degli scavi sono abbinate a quelle delle ricomposizioni morfologiche e regimazioni superficiali che vengono realizzate e che sono la premessa per gli interventi a verde e di ingegneria naturalistica.



Foto 561: Metanodotto Malborghetto – Bordano (UD) Loc. canale Cialatta. Tracciato in zona boscata con ripristino previsto a prato, fase di cantiere, Posa delle tubature maggio 2002 – Foto G. Sauli

13.4.2 Casistica di interventi di rivegetazione e ingegneria naturalistica di metanodotti

Viene di seguito riportata una casistica significativa di oltre 10 anni di interventi di mitigazione a verde e di ingegneria naturalistica su tracciati di metanodotti in Italia. Come si evince dal materiale fotografico si tratta di un nuovo modo di intervenire sulle tematiche del verde di cui bisogna dare atto sia ai realizzatori (Snamretegas che si ringrazia per i materiali gentilmente concessi) sia agli interlocutori istituzionali (Ministero Ambiente, MIBAC, Regioni, Comuni, ecc.) che in sede istruttoria e di autorizzazione hanno adottato prescrizioni particolareggiate in senso naturalistico e paesaggistico.

Metanodotto Malborghetto - Bordano (UD) attraversamento versante boscato loc. Chiaranda (Val Aupa – Moggio udinese)

Si tratta di un versante in roccia dolomitica e detrito con inclinazione di 35° - 40° in esposizione meridionale, con copertura forestale a pinete a Pino nero d'Austria, qui nelle stazioni naturali. Precedenti interventi su una condotta degli anni '80 hanno dimostrato la scarsa efficacia della ripresa delle resinose in assenza di altri interventi.

Nel 2002 è stato realizzato il metanodotto che è un tratto del Malborghetto – Bordano, su cui sono stati progettati e realizzati interventi di stabilizzazione e consolidamento del versante con tecniche di ingegneria naturalistica e rivegetazione con specie arbustive ed alto arbustive.

Gli interventi si sono riproposti di diversificare l'ecosistema, non riproponendo semplicemente le formazioni boschive a Pino nero esistenti, ma creando dei cespuglietti abbinati a tecniche di ingegneria naturalistica, rese necessarie dalle pendenze e dall'inevitabile impiego di materiale sciolto nelle ricomposizioni morfologiche.

Sono state in particolare realizzate (metanodotto vecchio e nuovo):

- palificata doppia viva
- cordonate vive
- palizzate con talee, canaletta e fascinate morte
- idrosemina 30 gr/m²
- piantagione di specie arbustive ed alto arbustive autoctone con protezioni antifauna in rete singole e ad isole (recinti). Sono state impiegate le seguenti specie: Carpino nero, Sorbo montano, Orniello, Salice eleagno, Nocciolo, Pero corvino, Lantana, Ligustro volgare, Crespino.

Si riporta di seguito la documentazione fotografica degli interventi a verde e le risultanze in sequenza dal 2002 al 2011.



Foto 562: Tratto prima dei lavori: per il ripristino della seconda condotta (anni '80) si noti il maggiore impiego di conifere, che, a distanza di anni, presentavano ancora uno sviluppo non ottimale. - 2001 (Foto Snamretegas)

Metanodotto Malborghetto – Bordano (UD) Loc. Chiaranda (Moggio Udinese, Val Aupa), - Sequenza fotografica vista frontale interventi dal 2002 al 2014



Foto 563: Anno 2002



Foto 564: Anno 2002



Foto 565: Anno 2003



Foto 566: Metanodotto Malborghetto – Bordano (UD) Loc. Chiaranda (Moggio Udinese, Val Aupa), agosto 2003 - Foto G. Sauli



Foto 567: Anno 2009



Foto 568: Anno 2010



Foto 569: Anno 2011 - Risultanze dopo 8 anni.

Le piante messe a dimora (semenzali di 1-2 anni di altezza 60 – 80 cm sono oggi alti arbusti (di latifoglie) di 3-4 metri. Le protezioni sono state rimosse nel 2009.



Foto 570: Situazione a giugno 2014

Metanodotto Malborghetto - Bordano (UD) interventi di stabilizzazione e rivegetazione di una discarica di inerti derivanti dalla galleria di attraversamento Val di Gleris – Val Alba sotto il M. Chiavals



Foto 571: Interventi con cordone vive sulle scarpate del deposito (Foto Snamretegas 2005)



Foto 572: Interventi con cordone vive sulle scarpate del deposito dopo un anno (Foto Snamretegas 2006)



Foto 573: distribuzione di fiorume e messa a dimora di arbusti autoctoni al piede della scarpata (Foto Snamretegas 2005)



Foto 574: Metanodotto Panoramica degli interventi di IN sulla deponia – Foto V. Zago, luglio 2007



Foto 575: Metanodotto Malborghetto – Bordano (UD) Loc. Val di Gleris , Cordonate vive – Foto G. Sauli 2006 **Foto 576: Situazione a giugno 2014**



Foto 577: Interventi con cordonate vive sulle scarpate del deposito dopo quattro anni (Foto Snamretegas 2009)

Metanodotto Malborghetto - Bordano (UD) interventi di stabilizzazione e rivegetazione di versanti forestati loc. Malborghetto

Viene presentata una sequenza relativa alla messa a dimora di arbusti ed alberi su un tratto di metanodotto che attraversa una zona boscata (Foresta di Tarvisio – UD) e in cui si è applicata la strategia della messa a dimora ad isole per i seguenti motivi:

- Creazione di nuclei di vegetazione volutamente discontinui e con prevalenza di specie arbustive per differenziare l'habitat forestale circostante;
- Impiego di recinzioni circolari ad “isole” per proteggere le giovani piante dai possibili danni da fauna selvatica;
- Previsione di asporto delle reti metalliche nel medio periodo (5 – 6 anni) ad affermazione avvenuta delle piante;



Foto 578: Metanodotto Malborghetto – Bordano (UD) Loc. canale Cialatta. Messa a dimora di alberi e arbusti con protezione in rete metallica a “isole”. 21.11.’03 – Foto G. Sauli



Foto 579: Metanodotto Malborghetto – Bordano (UD) Loc. canale Cialatta. Messa a dimora di alberi e arbusti con protezione in rete metallica a “isole” rinalzo delle buche con terra vegetale locale 21.11.’03 – Foto G. Sauli



Foto 580: Metanodotto Malborghetto – Bordano (UD) Loc. canale Cialatta. Protezione a “isole”. 21.11.’03 – Foto G. Sauli



Foto 581: Metanodotto Malborghetto – Bordano (UD) Loc. canale Cialatta. Protezione a “isole”, particolare rete a maglia fitta antilepre. 21.11.’03 – Foto G. Sauli



Foto 582: Metanodotto Malborghetto – Bordano (UD) Loc. canale Cialatta. Contenitori da trapianto in fitocella e vasetto. 21.11.’03 – Foto G. Sauli



Foto 583: Metanodotto Malborghetto – Bordano (UD) Loc. canale Cialatta. Inzaffardatura piante a radice nuda. 21.11.’03 – Foto G. Sauli

Metanodotto Malborghetto - Bordano (UD) interventi di stabilizzazione versante con gradonate vive e messa a dimora di arbusti loc. Pontebba

Viene presentato il caso di un tratto di versante in località Pontebba (UD) dove è stata effettuata la stabilizzazione in condizioni di pendenza limite (35 -40°) mediante realizzazione di gradonate vive di salici, alternate a canalette trasversali, messa a dimora di arbusti autoctoni e semine.

Nella sequenza dal 2003 al 2010 si notano ottime risultanze:

- Di tipo funzionale con totale stabilizzazione delle superfici di ricomposizione dopo scavi e reinterri a seguito della realizzazione e pieno sviluppo dei salici delle gradonate ;
- Di tipo naturalistico, con sviluppo delle piante arbustive piantate, e inizio del processo di affermazione di cespuglietti in ambito boscato.



Foto 584: Metanodotto Malborghetto – Bordano (UD) Loc. Pontebba. Gradonate vive e canaletta con graticciata, giugno 2003 – Foto G. Sauli



Foto 585: Metanodotto Malborghetto – Bordano (UD) Loc. Pontebba. Gradonate vive, giugno 2003 – Foto G. Sauli



Foto 586: Metanodotto Malborghetto – Bordano (UD) Loc. Pontebba. messa a dimora di arbusti tra le file di gradonate – Foto G. Sauli Agosto 2006



Foto 587: Metanodotto Malborghetto – Bordano (UD) Loc. Pontebba. Gradonate vive con canaletta e messa a dimora di arbusti. Ottime risultanze funzionali e naturalistiche, agosto 2006 – Foto G. Sauli



Foto 588: Metanodotto Malborghetto – Bordano (UD) Loc. Pontebba. Gradonate vive con canaletta e messa a dimora di arbusti. Ottime risultanze funzionali e naturalistiche dopo 7 anni anche in termini di biodiversità con costituzione di cespuglietti in zona boscata. Giugno 2010 – Foto G. Sauli

Metanodotto Bordano – Flaibano (UD) loc. Piani di Osoppo trapianti in zolla di prato stabile



Foto 589: Taglio ed espianto delle zolle erbose – 2003 Foto Snamretgas



Foto 590: Stoccaggio su pallets delle zolle – 2003 Foto Snamretgas



Foto 591: Metanodotto Bordano – Flaibano Loc. Piani di Osoppo; trapianti in zolla con zolle poste a strato singolo su pallet con foglio di polietilene; spessore medio zolle 10 cm, preparazione fondo con stesura terreno rimosso in precedenza – Foto G. Sauli 2004



Foto 592: Prelievo delle zolle (Aprile 2004) Snamretgas



Foto 593: Metanodotto Bordano – Flaibano Loc. Piani di Osoppo; trapianti in zolla, rimessa in pristino delle zolle – Foto G. Sauli 2004



Foto 594: Riposizionamento delle zolle – 2004 Foto Snamretgas



Foto 595: Pista di lavoro ripristinata – 2004 Foto Snamretegas



Foto 596: Particolare del rullo frangizolle - 2004 Foto Snamretegas



597: Pista di lavoro ripristinata dopo 3 mesi (luglio 2004) – Foto Snamretegas

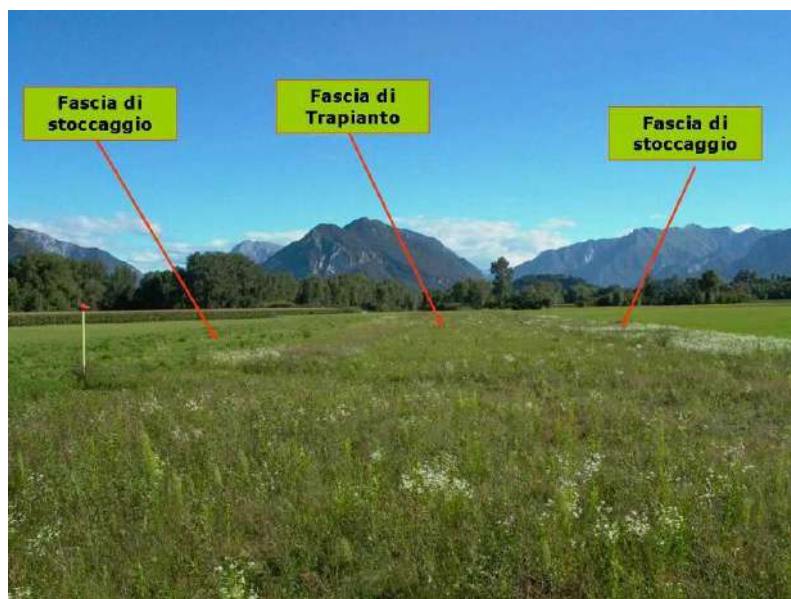


Foto 598: Pista di lavoro ripristinata dopo 4 mesi (agosto 2004) Foto Snamretegas



Foto 599: Pista di lavoro ripristinata (2004) Foto Snamretegas



Foto 600: Metanodotto Bordano – Flaibano (UD) Pista ripristinata mediante trapianto zolle erbose. Presenza di infestanti sul vecchio tracciato. Foto G. Sauli, 2004



Foto 601: Nel 2009 il tratto si presenta omogeneo e il prato stabile è soggetto a periodici sfalci per la fienagione. Foto Snamretegas

Metanodotto Bernalda - Brindisi interventi di trapianto e messa a dimora di arbusti di gariga mediterranea - Fasi ante operam , cantiere e post operam di interventi di trapianto di arbusti di gariga

I monitoraggi della Snam testimoniano di una percentuale di attecchimento media su tutti gli interventi attorno al 50% che va considerata soddisfacente pensando alle condizioni di estrema aridità estiva delle aree di intervento. Il trapianto in loco come facilmente noto è l'unico metodo che garantisce l'autoctonia delle specie anche dal punto di vista genetico ed è pratica da adottare specie in ambito mediterraneo per la difficoltà di reperimento di piante dal mercato vivaistico.



Foto 602: Metanodotto Bernalda – Brindisi, Loc. Massafra, situazione ante operam (1997 – '98)
– Foto G. Sauli



Foto 603: Metanodotto Bernalda – Brindisi, Loc. Massafra, lavori di trapianto di arbusti di gariga mediterranea (dicembre 2001) – Foto G. Sauli



Foto 604: Metanodotto Bernalda – Brindisi, Loc. Massafra, lavori di trapianto di arbusti di gariga mediterranea (dicembre 2001) – Foto G. Sauli



Foto 605: Metanodotto Bernalda – Brindisi, Loc. Massafra, lavori di trapianto di arbusti di gariga mediterranea (dicembre 2001) – Foto G. Sauli



Foto 606: Metanodotto Bernalda – Brindisi, Loc. Massafra, lavori di trapianto di arbusti di gariga mediterranea (dicembre 2001) – Foto G. Sauli



Foto 607: Metanodotto Bernalda – Brindisi, Loc. Massafra, lavori di trapianto di arbusti di gariga mediterranea (dicembre 2001) – Foto G. Sauli



Foto 608: Metanodotto Bernalda – Brindisi Loc. Crispiano; situazione piantagione arbusti ad opera appena eseguita (2002). Si noti un notevole ricaccio di cisti – Foto G. Sauli



Foto 609: Metanodotto Bernalda – Brindisi Loc. Crispiano; situazione piantagione arbusti dopo due anni (2004)– Foto G. Sauli



Foto 610: Metanodotto Bernalda – Brindisi Loc. Crispiano; particolare Rosmarino dopo due anni (2004)– Foto G. Sauli

Metanodotto Bernalda Brindisi

Esempio di scheda di monitoraggio di intervento di piantagione con specie di Macchia e Gariga (da documentazione Snamretegas)

4. TRATTO DI MACCHIA-GARIGA: ANALISI CHIMICO FISICA DEI SUOLI

Parametri	Unità di misura	Terreno indisturbato	Fascia lavori
pH	unità pH	7,84	7,88
Scheletro	%	47	59
Sabbia	%	40	58
Limo	%	35	20
Argilla	%	25	22
Sostanza organica	% s.s.	3,26	1,36
Azoto totale	% s.s.	0,15	0,09
Calcare totale	% s.s.	40,47	66,2
Potassio scambiabile	mg/kg s.s.	386	179
Fosforo assimilabile	mg/kg s.s.	5,7	6,3

In questo suolo non è stato effettuato il riporto di terreno in superficie.

Notiamo la maggiore presenza di scheletro nella fascia lavori, anche se risulta comunque elevata nel tratto indisturbato.

Nel suolo originario si nota comunque un maggior equilibrio tra le componenti della “terra fine” e buon contenuto di sostanza organica.

4. TRATTO DI MACCHIA-GARIGA: RIPRISTINI VEGETAZIONALI

Piante forestali n° 550 (Pino 20%, Pero selvatico 20%, Fillirea 20%, Lentisco 20%, Rosmarino 20%)				
Piante selvatiche			morte	%
Lentisco selv.	n°	64	31	49
Rosmarino selv.	n°	59	6	10
Cisto selv.	n°	44	5	11
Pino d'Aleppo selv.	n°	35	28	80
Asparago selv.	n°	3	3	100
Calicotome selv.	n°	5	1	20
Ranno selv.	n°	5	4	80
Dafne	n°	7	4	57
Totale selvatiche	n°	220	82	37

La mortalità è stata leggermente inferiore (37%) rispetto alla media complessiva (40%).

Ottime rese di Rosmarino e Cisto (10 e 11%) mentre il lentisco può aver risentito della maggior grossolanità del suolo.

Il Pino d'Aleppo non ha dato risultati significativi all'espianto.



Foto 611: Tratto di macchia prima dei ripristini vegetazionali

La mortalità è stata leggermente inferiore (37%) rispetto alla media complessiva (40%).

Ottime rese di Rosmarino e Cisto (10 e 11%) mentre il lentisco può aver risentito della maggior grossolanità del suolo.

Il Pino d'Aleppo non ha dato risultati significativi all'espianto.



Foto 612: In questo tratto è particolarmente evidente la natura dei terreni: quasi litosuoli.

Questa è una caratteristica anche dei tratti indisturbati, seppur più strutturati e uniformemente “colonizzati” dalle cenosi erbacee e arbustive.



Foto 613: Risultato ad un anno dai lavori di rivegetazione

13.4.3 Interventi a verde nelle centrali di compressione

Gli interventi a verde sono finalizzati all’inserimento paesaggistico delle centrali, attenuando l’impatto visivo delle opere edili ed impiantistiche già nel breve periodo mediante la formazione di fasce boscate perimetrali con l’impiego di alberature d’alto fusto nelle aree esterne alle Centrali.

Anche gli interventi negli spazi interni alle aree di centrale, hanno lo scopo di contribuire in modo sostanziale alla mitigazione visiva delle infrastrutture impiantistiche e dei fabbricati. Si deve però evitare, per ragioni di sicurezza, la messa a dimora piante in aree prospicienti impianti e tubazioni o in aree che presentano strutture impiantistiche o servizi interrati, concentrando le piantagioni solo nelle aree idonee per gli spazi richiesti.

Verde di arredo interno

(prati, siepi, pavimentazioni verdi, coperture edifici a verde pensile)



Foto 614: Area interna a prato Centrale di Melizzano (BN) - Foto SNAM



Foto 615: Area interna a prato e siepi ornamentali Centrale di Melizzano (BN) - Foto SNAM

Fasce perimetrali di mascheramento visuale



Foto 616: Fascia boscata perimetrale Stazione pompaggio Bordano (UD) - Foto G. Sauli, 2003



Foto 617: Fascia boscata perimetrale Stazione pompaggio Bordano (UD) - Foto G. Sauli, 2003

13.5. Applicabilità dell'Ingegneria Naturalistica al trasporto elettrico

I principi e i metodi dell'ingegneria naturalistica possono essere applicati in numerosi settori infrastrutturali. Il trasporto elettrico presenta ambiti di intervento analoghi ad altri settori, come ad esempio il ripristino delle aree di cantiere, ma anche alcune peculiarità, come ad esempio quelle legate alla gestione delle interferenze tra linee aree e vegetazione. Pertanto, nella presente trattazione, oltre ad una panoramica generale dell'argomento, verranno messe in evidenza le specificità del settore e proposta una casistica di esperienze maturate nell'ambito di progetti già realizzati.

Descrizione degli interventi

In generale le principali azioni mitigative connesse alla realizzazione di infrastrutture di trasporto elettrico sono:

Stazioni elettriche

- riqualificazione delle aree dei cantieri e delle piste d'accesso;
- mascheramento dell'impianto;
- arredo verde;
- opere di compensazione (da realizzare in accordo con gli Enti Locali previa disponibilità delle aree).

Linee elettriche

- riqualificazione delle aree dei cantieri e delle piste d'accesso;
- ricomposizione del suolo alla base dei tralicci di nuova realizzazione (nelle aree interne al traliccio e immediatamente adiacenti) ;
- fasce di taglio raso per tracciati che attraversano zone boscate;
- interferenze con singole alberature d'alto fusto;
- ricucitura delle superfici derivanti dagli interventi di demolizione (ricomposizione del suolo, riqualificazione, ricostituzione dell'uso agricolo e/o di cenosi a prato) ;
- opere di compensazione (da realizzare in accordo con gli Enti Locali previa disponibilità delle aree);

Nel dettaglio le possibili operazioni per la realizzazione di interventi a verde da adottare nell'ambito delle infrastrutture di trasporto elettrico sono riportate nei paragrafi seguenti per tipologia di opera e in sequenza cronologica.

13.5.1 Stazioni Elettriche di nuova realizzazione

- Individuazione e trapianto di singole alberature o macchie arbustive di pregio naturalistico che interferiscano con le future infrastrutture (conduttori aerei, cavi interrati, ecc.).
- Scotico dello strato vegetale, separato da strati sottostanti minerali, delle superfici della costruenda stazione e accumulo per riutilizzo come terreno vegetale e inerte terroso;
- Realizzazione di siepi e fasce boscate di mascheramento su aree perimetrali.
- Realizzazione di terrapieni di mascheramento anche utilizzando i materiali di scavo.
- Riporto dello scotico vegetale (previa eventuale ammendamento) su scarpate e zone piane.
- Rivestimento delle scarpate con stuoie organiche (juta, cocco, paglia) con funzioni antierosive.
- Realizzazione di interventi stabilizzanti ove necessari su scarpata (vimate, fascinate).
- Idrosemine.
- Messa a dimora di arbusti ed alberi autoctoni delle serie dinamiche della vegetazione potenziale del sito.
- Impiego di *shelter* antifauna, dischi o teli pacciamanti per contenimento delle infestanti.
- Realizzazione di singoli interventi di consolidamento in terre verdi rinforzate, palificate vive, gabbionate verdi.
- Attivazione di un programma di manutenzione pluriennale (irrigazione, sfalci periodici, potature di rinforzo, sostituzione fallanze, ecc.).

Adeguamento di Stazioni Elettriche esistenti

Per i progetti di adeguamento, ampliamento, ristrutturazione di Stazioni Elettriche esistenti le possibilità di interventi a verde sono in genere molto limitate dalle preesistenze morfologiche ed urbanistiche in cui le SE sono inserite (vicinanza di strade, centri abitati, morfologie particolari, ecc.). Vale la raccomandazione di effettuare, almeno per le aree in ampliamento, interventi di rivegetazione e mascheramento a verde, come proposti nel capitolo precedente. Vanno in tal senso sfruttate tutte le possibili superfici perimetrali, anche esterne alle recinzioni.

Linee elettriche di nuova costruzione

- Scotici preventivi e successiva riqualificazione delle aree dei cantieri e piste d'accesso (ricomposizione del suolo, semine).
- Scotici preventivi e ricomposizione del suolo e semine nelle aree interne alla base del traliccio e immediatamente adiacenti coinvolte nelle aree dei minicantieri relativi alle basi dei tralicci di nuova realizzazione.
- Realizzazione di fasce boscate o filari di mascheramento visuale.
- Eventuali interventi di trapianto in sito di fitocenosi arbustive in aree a prato-pascolo o a macchia.
 - Interventi di taglio su fasce di bosco attraversate dall'elettrodotto per possibili interferenze alberi – conduttori (taglio raso; potature a determinate altezze).
- Ripiantagione con specie arbustive a macchia nelle fasce di taglio raso di fasce boscate.

Dismissione di linee esistenti

Gli interventi di demolizione (asporto di strutture metalliche, isolatori e cementizie di tralicci e basamenti) lasciano libere superfici che devono essere restituite all'uso del suolo originario, prevedendo quindi la ricomposizione del suolo e, a seconda dei casi, interventi di semina o rivegetazione.

13.5.2 Progettazione delle diverse tipologie di intervento ed esempi di realizzazione

Si riportano di seguito alcuni casi esemplificativi di interventi a verde e di ingegneria naturalistica corredati da stralci di elaborati di progetto documentazioni fotografiche di opere realizzate.

Stazioni elettriche di nuova realizzazione

Le stazioni elettriche di nuova progettazione sono generalmente realizzate su aree piane in zone planiziali o collinari. Le superfici di occupazione variano in genere da 3 a 10 ha.

Vengono considerate due morfologie principali di intervento:

- in zone planiziali agricole;
- in zone collinari.

In entrambi i casi una moderna progettazione deve prevedere fasce esterne alle recinzioni degli impianti industriali della stazione, da destinare ad opere di mascheramento mediante interventi di rivegetazione.

Siepi, sieponi e fasce boscate

Nelle nuove realizzazioni sono realizzabili tipologie di mascheramento perimetrale a verde, a seconda dello spazio disponibile, mediante:

- fasce ad arbusti da utilizzarsi nelle zone di ingresso dei conduttori, dove non vanno piantate specie arboree per motivi di possibile interferenza con i cavi;
- sieponi di specie arbustive ed altoarbustive autoctone ove lo spazio a disposizione sia limitato (inf. a 10 m) e tenendo conto comunque della necessità di realizzare una pista perimetrale in fondo inerbito o in ghiaia di sgombro in adiacenza alla recinzione della stazione. Il sesto di impianto e la disposizione delle varie specie vanno realizzati a mosaico per creare varietà ecotonale e visuale. Va tenuto conto anche delle caratteristiche biotecniche delle specie per la formazione di sieponi: ad esempio per le regioni del nord Italia il Carpino bianco (*Carpinus betulus*) è un'ottima specie stabilizzante e coprente che mantiene a lungo le foglie anche d'inverno;
- anche in situazioni particolari di mancanza di spazio vanno comunque evitate le siepi monospecifiche con specie esotiche a morfologia geometrica e realizzate invece siepi polispecifiche con essenze arbustive autoctone disposte in modo alternato;
- fasce boscate vere e proprie ad arbusti ed alberi locali. Va proposta la disposizione ad altezze crescenti a partire dalla recinzione verso l'esterno (prato – bassi arbusti – alti arbusti – alberi) per vari motivi di sicurezza e non interferenza. Anche in questo caso sesti di impianto e disposizione delle varie specie vanno realizzati a mosaico. Vanno evitate disposizioni a file e forme geometriche di impianto, che si discostano eccessivamente dalle morfologie naturali. Per soddisfare la necessità di sfalci meccanici per il controllo delle invasive, si possono prevedere file curve o a spirale;
- per aree piane dove si intendono impiantare cenosi arboree può essere utilizzata la disposizione a “macchia seriale”, che prevede una striscia esterna a soli arbusti ed una interna ad alberi di dimensioni varie e

crescenti. Lo scopo è quello di ricreare le condizioni ecotonali; inoltre se si adotta una forma circolare si esalta l'effetto di protezione interna creando habitat per specie faunistiche silvicole.

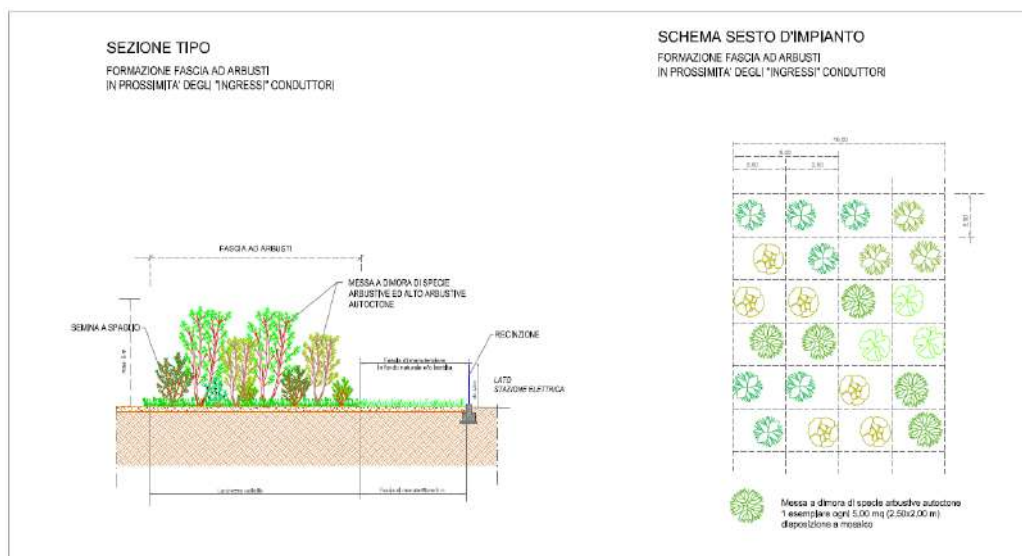


Fig. 13.21– Fascia ad arbusti misti autoctoni

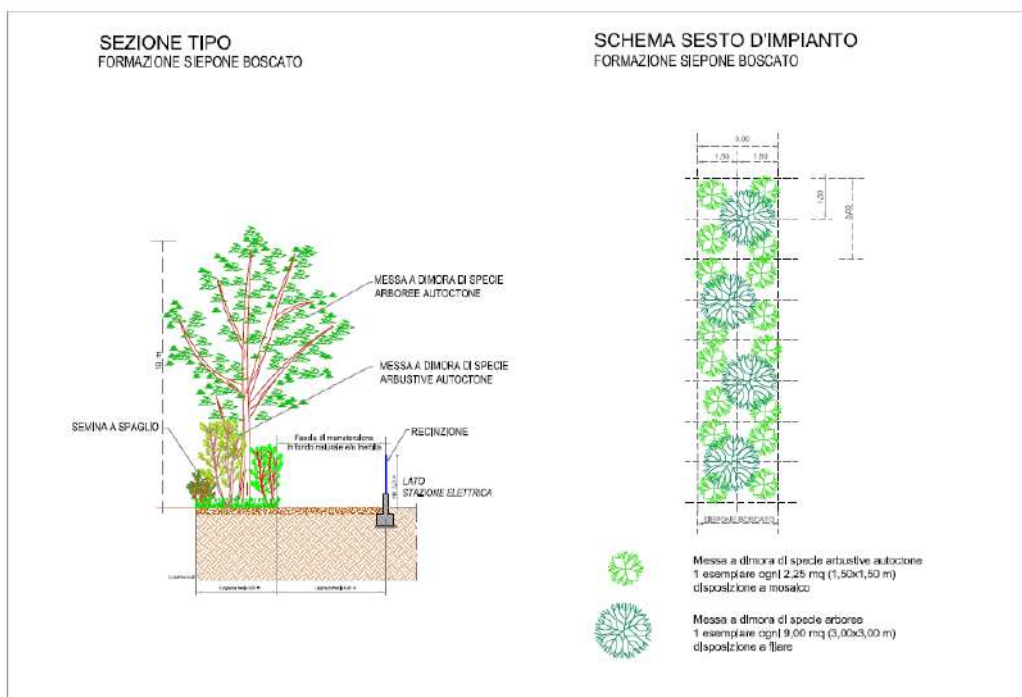


Fig. 13.22 - Siepone boscato con specie arbustive, alto arbustive ed arboree alternate (Naturstudio Scarl)

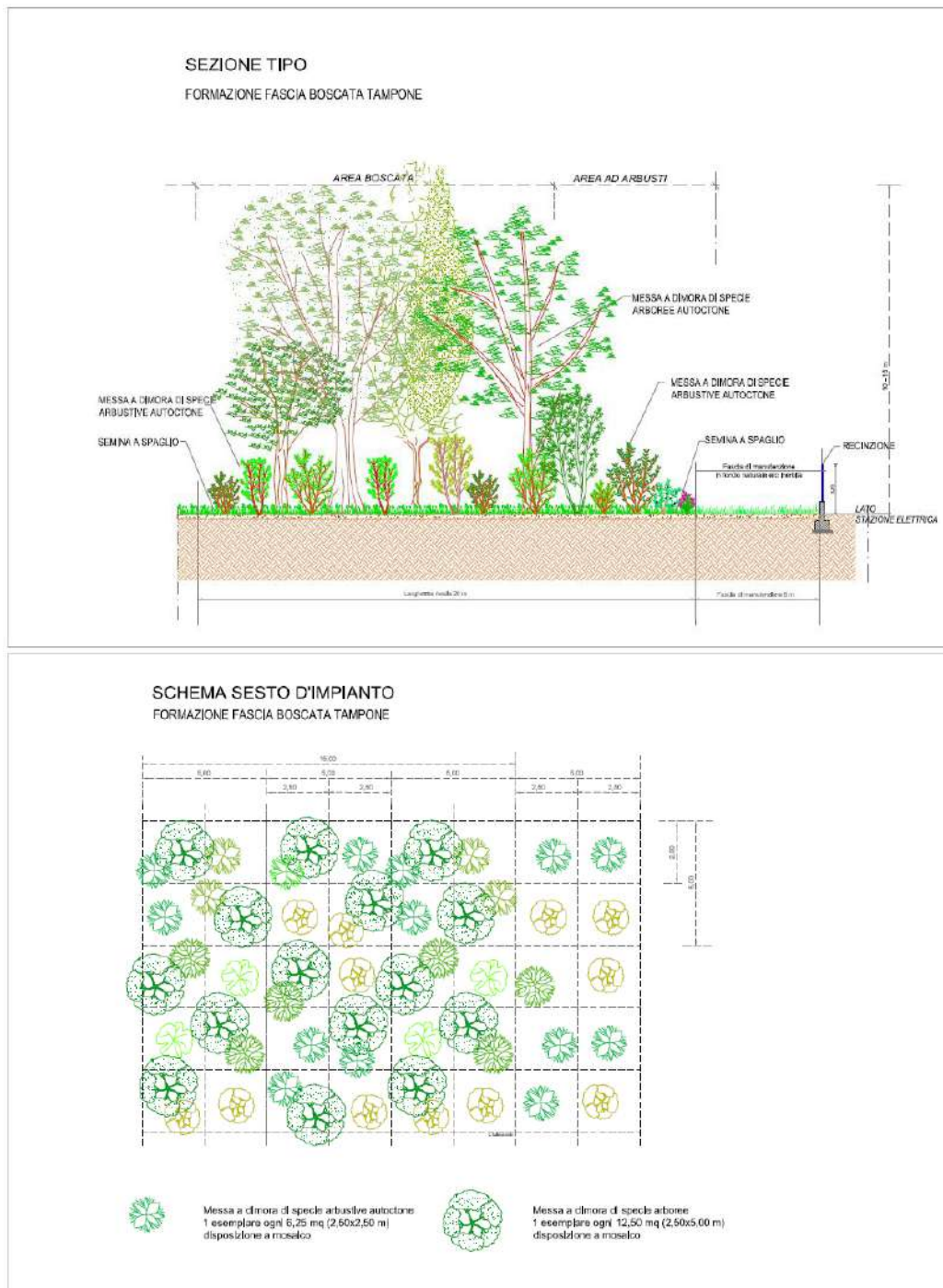


Fig. 13.23: Fascia boscata tampone realizzata mediante messa a dimora di arbusti ed alberi verso l'esterno e di soli arbusti verso l'interno dell'area della stazione per non creare interferenze con la zona di recinzione e la fascia di sgombrò perimetrale. (Naturstudio Scarl)

In alcuni casi vengono ancora oggi realizzati muri perimetrali in calcestruzzo con funzione antincendio ed anti-intrusione in aree dove sussistono particolari problematiche in tal senso.

In tali situazioni possono essere realizzati, esternamente al perimetro, siepioni e fasce boscate di mascheramento.



Foto 618: SE di S. Severo (FG) a servizio della Centrale a turbogas in costruzione, scarpata interna della recinzione con muro in cls rivegetabile, febbraio 2010. (Foto G. Sauli)



Foto 619: SE di S. Severo (FG) a servizio della Centrale a turbogas in costruzione, vista esterna del muro di recinzione in cls antincendio ed antiintrusione, febbraio 2010. (Foto G. Sauli)



Foto 620: SE di S. Severo (FG) a servizio della Centrale a turbogas in costruzione, muro recinzione in cls, antincendio ed antiintrusione, febbraio 2010. (Foto G. Sauli)

Interventi di mascheramento su terrapieni rivegetati

Nella costruzione di nuove SE in zone piane va presa in considerazione la realizzazione di terrapieni perimetrali con funzione duplice :

- di mascheramento efficace dalla prospettiva di punti visuali esterni, in quanto si realizzano terrapieni collocati in adiacenza agli impianti, di facile e rapido rinverdimento per formazione di cotici erbosi da semine e miglioramento nel tempo a carico di arbusti ed alberi messi a dimora sulle scarpate e sulla testa dei terrapieni stessi;
- di deposito e riciclaggio dei materiali di scotico e scavo nell'ambito dello stesso cantiere, con risparmio dei costi di trasporto e messa a discarica.

Importante anche effettuare l'analisi pedologica del suolo di scotico per determinarne le caratteristiche ed in particolare la granulometria e la percentuale di sostanza organica in funzione del riutilizzo come terreno vegetale.

Si riportano di seguito a titolo di esempio, le risultanze di interventi di mascheramento di Stazioni Elettriche di recente costruzione mediante realizzazione di terrapieni e zone piane perimetrali rivegetati. In particolare si farà riferimento ai seguenti due casi:

1 - SE di Maleo (LO) dove sono stati scoticati circa 50 cm di suoli agrari a granulometria prevalente sabbiosa (65 – 75 %) e buon contenuto di sostanza organica (2 – 3 %). Questi suoli risultano adatti al riutilizzo tal quale come suolo di copertura dei terrapieni di mascheramento e zone piane perimetrali (vedi planimetria) e alla costruzione dei terrapieni stessi miscelandoli con inerte ghiaioso di cava per migliorarne la stabilità (angolo di scarpata 27° -30°).

2 - SE di Chignolo Po (PV) dove invece il suolo di scotico è risultato franco limoso argilloso (52 + 23 % di limo e argilla) con medio-bassa percentuale di sostanza organica (2 %). Questo suolo è risultato quindi poco adatto alla formazione dei rilevati, per i quali è stato necessariamente alternato a strati con inerte di cava, e per niente adatto come terreno vegetale di copertura. Si è dovuto pertanto approvvigionare dall'esterno terreno a matrice sabbiosa con conseguente necessità di provvedimenti antierosivi (stuoie di juta).

La disposizione e la morfologia dei terrapieni (talvolta chiamati erroneamente “dune”) dipende dal tipo di suolo, dalle disponibilità di spazio, dalle strade di accesso e perimetrali, dall'esame attento delle possibili interferenze con le linee aeree e interrate in arrivo/partenza alla SE. Vanno considerati, oltre all'altezza degli stessi (5 – 6 m), anche il futuro sviluppo delle piante arboree che vengono messe a dimora in testa ai terrapieni. Infatti per tutte le superfici in scarpata e in piano nelle fasce perimetrali destinate al verde, vanno progettate e realizzate piantagioni di arbusti ed alberi alternando fasce ad arbusti, fasce boscate e zone semplicemente inerbite in funzione delle possibili interferenze, ma anche nell'ottica di ricreare fisionomie più naturaliformi possibile.

Esperienze datate di terrapieni boscati di mascheramento di impianti industriali hanno dato validi risultati sia in termini visuali che naturalistici.

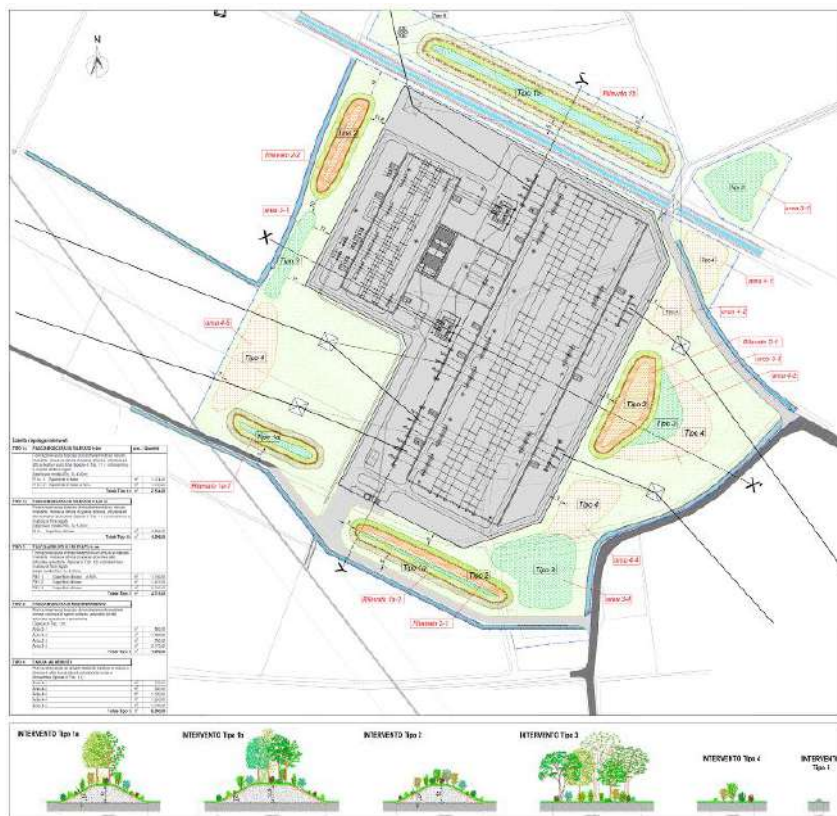


Fig. 13.24 – Planimetria e sezioni tipo di interventi di mascheramento e rivegetazione della nuova Stazione Elettrica di Maleo (LO) (Progetto esecutivo Terna Spa)

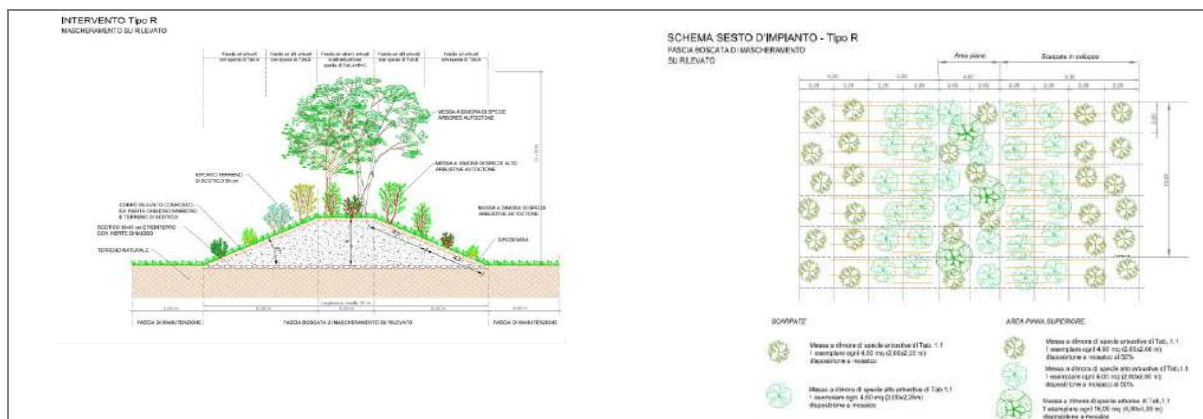


Fig. 13.25 – Sezione e sesto di impianto tipo di intervento di rivegetazione di terrapieno di mascheramento di stazione elettrica di Maleo (LO). (Progetto esecutivo Terna Spa)



Foto 621: SE di Maleo (LO) Situazione ante operam (Foto G. Sauli)



Foto 622: SE di Maleo (LO) Simulazione fotografica della costruzione della sola stazione



Foto 623: SE di Maleo (LO) Simulazione fotografica delle risultanze visuali degli interventi a verde previsti



Foto 624: Nuova S.E. di Maleo (LO). Formazione di rilevati di mascheramento con utilizzo dei materiali di scotico misti a inerte di cava. (Foto G. Sauli, inverno 2011)



Foto 625: Nuova S.E. di Chignolo Po (PV). Completamento terrapieni di mascheramento con stuoie antierosive in juta. (Foto G. Sauli, estate 2011)



Foto 626: Nuova stazione elettrica di Maleo (LO) - Piantagioni di arbusti ed alberi su terrapieno e aree piane. Visibili gli shelter di protezione antifauna. (Foto G. Sauli, dicembre 2011)



Foto 627: Nuova stazione elettrica di Maleo (LO) - Piantagioni di arbusti ed alberi su terrapieno e aree piane. Visibili gli shelter di protezione antifauna. (Foto G. Sauli, maggio 2014)



Foto 628: Stazione elettrica di Chignolo Po (PV) – Inerbimenti e messa a dimora di arbusti ed alberi. (Foto G. Sauli, dicembre 2011)



Foto 629: Stazione elettrica di Chignolo Po (PV) a seguito di sfalci (Foto A. Corneo, giugno 2014)



Foto 630: Rilevato vegetato ad arbusti ed alberi dopo 10 anni in ambito industriale (depuratore Consorzio Laguna UD). (Foto G. Sauli, luglio 2007)



Foto 631: Effetto di mascheramento di impianto industriale mediante terrapieno vegetato in località Tolmezzo UD. (Foto G. Sauli, giugno 2003)

Rivegetazione di scarpate perimetrali

Nel caso di stazioni elettriche realizzate a mezza costa in zone collinari vanno principalmente considerati interventi di rivegetazione sulle scarpate in scavo e rilevato, nonché nelle aree circostanti.

Nella scelta degli interventi a verde valgono sempre le regole dell'impiego di specie arbustive ed arboree autoctone riferite alle serie dinamiche della vegetazione potenziale del sito.

Va inoltre tenuto presente l'ecomosaico di area vasta in cui è inserito l'impianto. Gli interventi a verde vanno selezionati in funzione di una incentivazione della diversità degli habitat. In caso ad esempio di contesto a prato – pascolo vanno realizzate piantagioni ad arbusti ed alberi mentre al contrario per zone in cui prevalgono le superfici a bosco gli interventi saranno mirati alla costituzione di prati e cespuglieti

Si riportano a titolo di esempio i casi della nuova SE di Ittiri (SS) collegata con una nuova linea elettrica con la esistente stazione di Codrongianos (SS) e quello della nuova SE di Bisaccia (AV) anche a servizio dei numerosi parchi eolici dell'area.

SE di Ittiri (SS)

La stazione è inserita in un contesto in parte a prato-pascolo e in parte a Sughereta (per volontà del Comune). Il progetto di rivegetazione ha previsto piantagione di specie arbustive della gariga ed arboree della macchia mediterranea sulle scarpate. Dato il contesto a sughereta il progetto ha previsto la conservazione attiva di tali pregiate cenosi mediante recinzioni di protezione in fase di cantiere.

Gli effetti delle piantagioni di progetto sono stimati in base alle fotosimulazioni allegate. Viene anche riportata la situazione reale al fine giugno 2011 con le scarpate appena ricoperte dal suolo forestale derivante dagli scotici effettuati. Si resta in attesa dell'effetto che deriverà dalle idrosemine e piantagioni.



Foto 632: Panoramica area futura stazione Ittiri (SS), vista da Est. Situazione ante operam. (Foto G. Sauli)



Foto 633: Panoramica area futura stazione Ittiri (SS), vista da Est. Fotosimulazione a stazione costruita e verde sviluppato. (Foto G. Sauli)



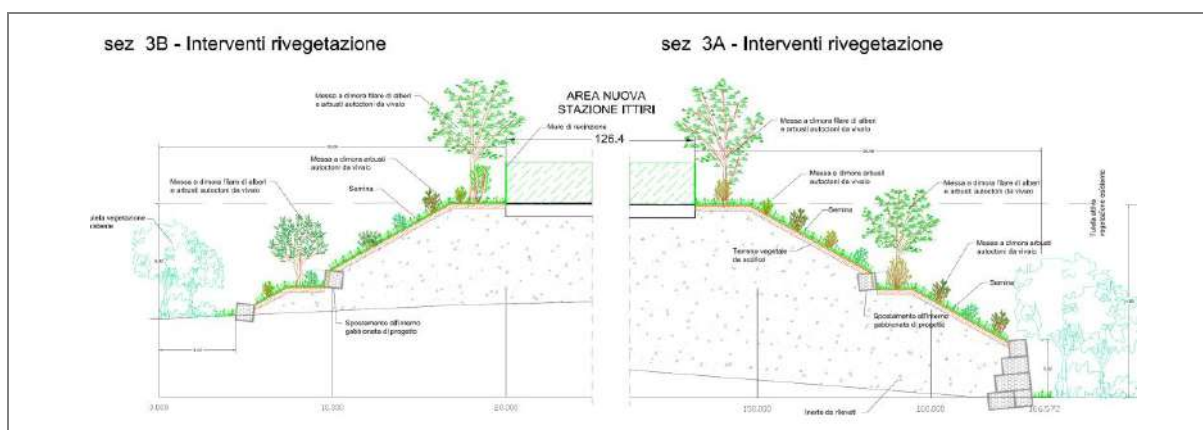
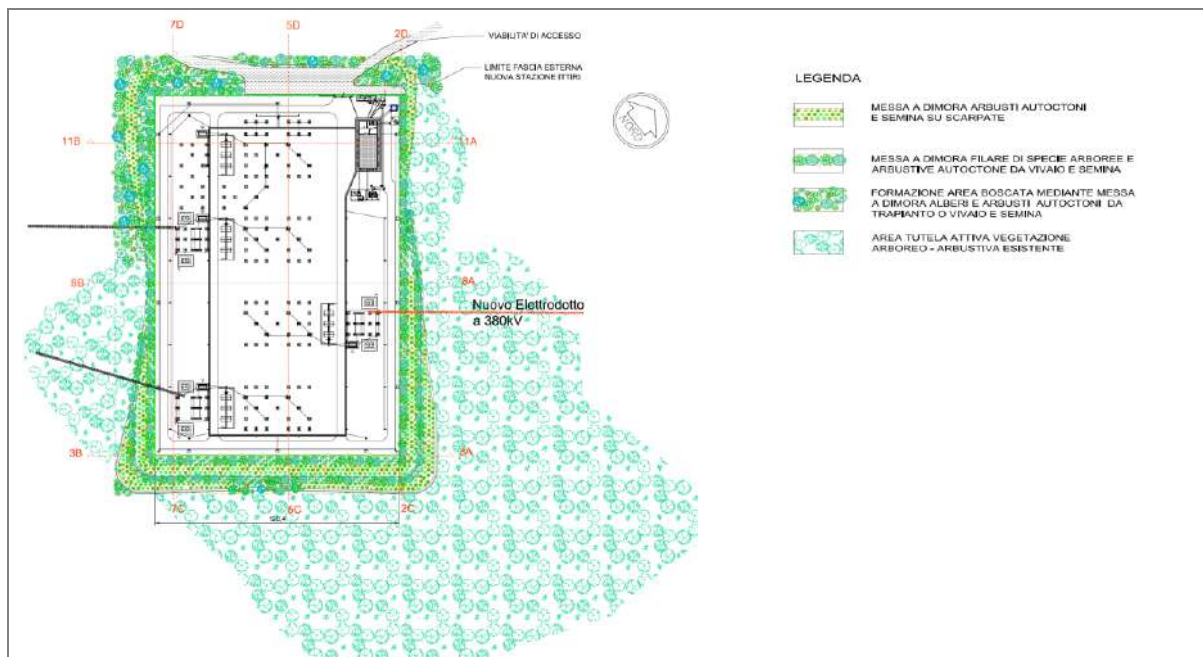
Foto 634: Panoramica reale stazione elettrica di Ittiri (SS) costruita. Stato al 24.6.2011 prima degli interventi a verde. (Foto G. Sauli)



Foto 635: Nuova stazione elettrica di Ittiri (SS), scarpata esp. Ovest prima degli interventi a verde. (Foto G. Sauli, giugno 2011)



Foto 636: Stazione elettrica di Ittiri (SS), scarpate prima degli interventi a verde e sughereta e gariga a cisti dell'area circostante. (Foto G. Sauli, giugno 2011)



SE di Bisaccia (AV)

La stazione è inserita in un contesto collinare comunità erbacee riferibili al prato-pascolo e prevede la realizzazione di ampi rilevati a bassa pendenza (colmate) che saranno oggetto di interventi a verde.



Foto 637: SE di Bisaccia (AV) in costruzione. Panoramica da nord con ampie scarpate in rilevato a valle. (Foto G. Sauli, febbraio 2010)



Foto 638: SE di Bisaccia (AV) in costruzione. Panoramica dell'intera area di cantiere. (Foto G. Sauli, febbraio 2010)

13.5.3 Adeguamento di Stazioni Elettriche esistenti

Nel caso di opere di adeguamento di stazioni esistenti, il progetto degli interventi a verde deve tener conto delle morfologie e delle infrastrutture preesistenti nel sito (strade, centri abitati, ecc.), anche in ottemperanza ad eventuali prescrizioni degli Enti coinvolti. Sarà pertanto necessario utilizzare al massimo tutte le superfici perimetrali disponibili, anche esterne alle recinzioni.

Siepi perimetrali

Si riportano alcune immagini di siepi perimetrali di stazioni elettriche esistenti, realizzate con specie arbustive esotiche. Tale sistema di mascheramento visuale collocato all'interno della recinzione non viene di solito più utilizzato nelle nuove costruzioni, dove vengono destinati agli interventi a verde e di mascheramento spazi più ampi esternamente all'impianto.



Foto 639: SE di Casellina (FI): siepe di lauroceraso (Foto G. Sauli, gennaio 2010)



Foto 640: SE di Fusina (VE): siepi arbustive a Photinia latifolia. (Foto G. Sauli, maggio 2011)



Foto 641: SE di Pallanzeno (VB). La costruzione adiacente non consente di realizzare una fascia verde di mascheramento. (Foto G. Sauli, dicembre 2009)



Foto 642: SE di Pallanzeno (VB). La siepe a sempreverdi non è coerente con sfondala vegetazione circostante ed è insufficiente come mascheramento. (Foto G. Sauli, dicembre 2009)

Interventi su scarpate esistenti

Vengono di seguito presentati gli interventi a verde di mascheramento progettati nell'ambito dei lavori di adeguamento delle stazioni elettriche di Scilla (RC), in cui sono stati progettati una serie di interventi migliorativi della situazione esistente sulla base di prescrizioni del Comune e di Codrongianos (SS), di cui è stato progettato il mascheramento mediante realizzazione di una fascia boscata esterna.

SE di Scilla (RC)

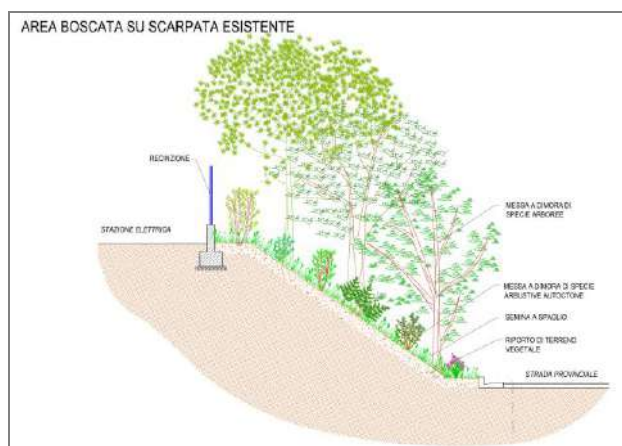


Fig. 13.28- Fascia boscata su scarpata esistente realizzata mediante semina e semplice messa a dimora di alberi ed arbusti autoctoni. (Progetto fattibilità Terna Spa)



Foto 643: SE di Scilla. Stato ante operam della scarpata lato strada. (Foto G. Sauli)



Foto 644: SE di Scilla. Simulazione fotografica delle risultanze visuali degli interventi di mitigazione previsti con piantagione di alberi ed arbusti autoctoni sulla scarpata esistente.

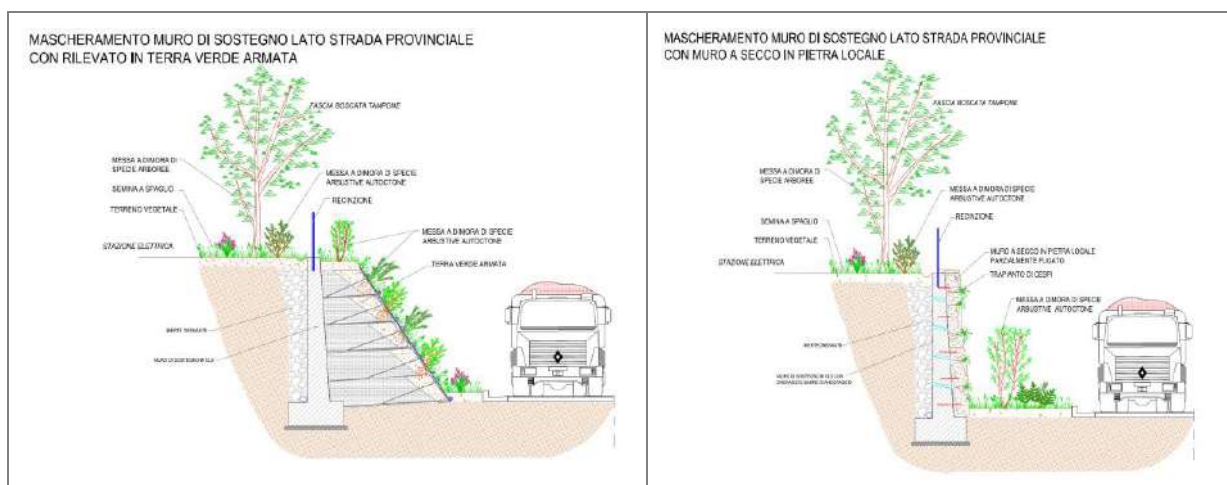


Fig. 13.29 – Alternativa progettuale 1. Mascheramento del muro di sostegno lato strada con rilevato in terra verde armata. (Progetto fattibilità Terna Spa)

Fig. 13.301 – Alternativa progettuale 2. – Mascheramento del muro di sostegno lato strada con muro a secco in pietra locale parzialmente fugato in modo da garantire la formazione di microhabitat. (Progetto fattibilità Terna Spa).



Foto 645: SE di Scilla. Simulazione fotografica delle risultanze visuali degli interventi di mitigazione previsti.

**Alternativa progettuale 1:
soluzione con terra verde
rinforzata (esterna), piantagione di
alberi ed arbusti autoctoni
all'interno della recinzione**



Foto 646: SE di Scilla. Simulazione fotografica delle risultanze visuali degli interventi di mitigazione previsti.

Alternativa progettuale 2: soluzione con rivestimento in muro a secco in pietra locale, piantagione di arbusti autoctoni e fascia boscata tampone all'interno della recinzione

SE di Codrongianos (SS)



Foto 647: Stazione di Codrongianos (SS). Stato ante operam visto da Nord Ovest. (Foto G. Sauli, dicembre 2009)



Foto 648: Stazione di Codrongianos (SS). Fotosimulazione con realizzazione della fascia boscata esterna.

13.5.4 Linee elettriche di nuova costruzione

Per motivi dimensionali, i tralicci delle linee elettriche sono di difficile inserimento nel paesaggio e abbinamenti con vegetazione sono scarsamente efficaci. Per le nuove linee ci si orienta prevalentemente sull'utilizzo di tipi di traliccio di recente progettazione che ne migliorano l'inserimento paesaggistico e ne riducono l'ingombro al suolo;

fra questi vi sono i pali monostelo, che possono essere verniciati in colori coerenti con il contesto paesaggistico e i tralicci tipo Foster.

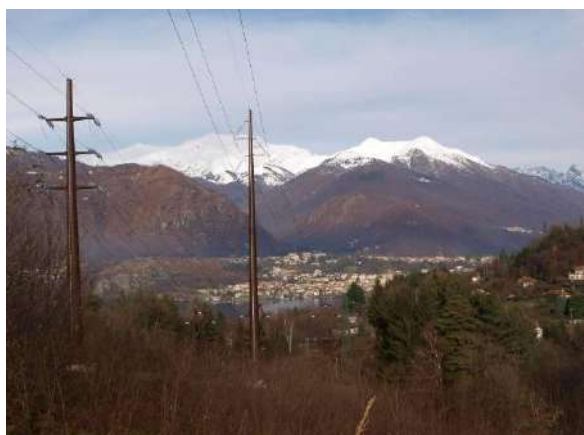


Foto 649: Pali monostelo in zona Lago d'Orta (NO). (Foto G. Sauli, dicembre 2009)



Foto 650: Pali monostelo a mezza costa in Loc. Omegna (VB). (Foto G. Sauli, dicembre 2009)



Foto 651: Miglioramento dell'impatto paesaggistico mediante gradazione cromatica decrescente su pali di aerogeneratore. Analogamente, questa soluzione cromatica, con gradazioni decrescenti sulle tonalità del verde e del grigio, è applicabile anche ai pali monostelo delle nuove linee elettriche. (Foto G. Sauli)



Foto 652: Traliccio tipo Foster località Scandicci (FI). (Foto G. Sauli, gennaio 2010)

Filari e fasce boscate di mascheramento visuale per linee in zone di pianura

Per le linee che attraversano zone di pianura, in alcuni casi possono essere realizzati interventi a verde di mascheramento mediante filari di alberi che raggiungono nell'età adulta anche dimensioni notevoli, come il pioppo cipressino, tipico del paesaggio padano veneto.

Laddove possibile, è auspicabile la realizzazione di fasce di vegetazione boscata abbinate ai filari di pioppi cipressini.



Foto 653: Filari Pioppo cipressino in pianura veneta. (Foto G. Sauli, maggio 2011)



Foto 654: Idrovia Padova-Venezia (Vigonovo -VE). Area di costruzione di una linea a pali monostelo, stato ante operam. (Foto G. Sauli)



Foto 655: Idrovia Padova-Venezia (Vigonovo -VE). Linea a pali monostelo con filare associato. Simulazione fotografica stato finale



Foto 658: Zoppicature di altezza differenziata. Traliccio in località S. Barbara (Scandicci, FI). (Foto G. Sauli, gennaio 2010)



Foto 659: Nuova linea 132 kV loc. Pieve Vergonte (VB). L'ampio spazio sotto il traliccio consente l'eventuale accesso di mezzi agricoli. (Foto G. Sauli, dicembre 2009)



Foto 660: Base cementata di palo "gatto", Omegna (VB). (Foto G. Sauli, dicembre 2009)



Foto 661: Base cementata di palo "gatto", Omegna (VB). (Foto G. Sauli, dicembre 2009)



Foto 662: Basamento di un palo monostelo, Omegna (VB). (Foto G. Sauli, dicembre 2009)

Interventi di riqualificazione dei cantieri e delle piste dei tralicci

Nelle aree dei cantieri di deposito, manovra, trasporto, tesatura e relative piste, vanno per prima cosa effettuati interventi di ricomposizione dei suoli, in genere anche con riporti di terreno vegetale e semine.



Foto 663: Piste di accesso ai minicantieri, da ripristinare a fine lavoro; S. Barbara (Scandicci, FI). (Foto G. Sauli, gennaio 2010)



Foto 664: Postazione di lavoro per tesatura; S. Barbara (Scandicci, FI). (Foto G. Sauli, gennaio 2010)



Foto 665: Trasporto dei conduttori tramite piste temporanee; S. Barbara (Scandicci, FI). (Foto G. Sauli, gennaio 2010)



Foto 666: Minicantiere per la demolizione di un vecchio traliccio; S. Barbara (Scandicci, FI). (Foto G. Sauli, gennaio 2010)

13.5.5 Dismissione di linee esistenti

Nel processo di razionalizzazione delle reti, la costruzione di nuove linee è sempre accompagnata dalla dismissione di tratti più lunghi di vecchie linee. Le superfici dei basamenti vengono ricondotte all'uso del suolo circostante (agricolo, prato). In genere va effettuato il riporto di terreno vegetale ed eseguite delle semine di protezione.

Anche in questo caso l'ipotesi, avanzata da alcuni progettisti, di rivegetare con essenze arbustive, non è percorribile per il fatto che tali superfici devono essere riportate all'uso del suolo previsto dai proprietari.



Foto 667: Nuova linea 132 kV loc. Pieve Vergonte (VB). Fase di demolizione di vecchie linee. (Foto G. Sauli, dicembre 2009)



Foto 668: Operazioni di demolizione di tralicci in aree a prato; Borgomanero (NO). (Foto G. Sauli, dicembre 2009)



Foto 669: Operazioni di demolizione di tralicci in aree a prato; Borgomanero (NO). (Foto G. Sauli, dicembre 2009)



Foto 670: Lavori di demolizione con uso di elicottero sulla linea Loc. Omegna (VB). (Foto G. Sauli, dicembre 2009)



Foto 671: Base di un traliccio demolito con ricomposizione del suolo; Loc. Omegna (VB). (Foto G. Sauli, dicembre 2009)



Foto 672: Base di un traliccio demolito con ricomposizione suolo; Loc. Omegna (VB). (Foto G. Sauli, dicembre 2009)



Foto 673: Demolizioni e nuove costruzioni in parallelo con ricomposizione del suolo; Borgomanero (NO). (Foto G. Sauli, dicembre 2009)



Foto 674: Area di un vecchio sito; Borgomanero (NO). (Foto G. Sauli, dicembre 2009)



Foto 675: Demolizione e nuova costruzione in zona collinare. (Foto G. Sauli)

14. NUOVE TIPOLOGIE CONSOLIDANTI DI INGEGNERIA NATURALISTICA

Introduzione

Le palificate vive in legno sono tra le opere più caratteristiche dell'ingegneria naturalistica, usate come opere a gravità alternative ai muri in cemento armato, con un campo di applicazione che va dall'ambito terrestre, come opere consolidanti di versante, all'ambito idraulico ove al consolidamento longitudinale delle sponde si aggiunge quello trasversale dell'alveo come briglia in legname e pietrame.

La palificata tradizionale più diffusa, usata da oltre un secolo, è la palificata viva doppia costituita da un cassone di tronchi riempito di terra e di piante (fig.14.1). La palificata doppia risulta la struttura di ingegneria naturalistica più robusta tra le opere di sostegno in legno ed è comunque la più idonea in situazioni ove c'è il rischio di un cedimento della fondazione. La palificata doppia proprio per la sua robustezza richiede molti tronchi di legno e molte chiodature, per cui nelle situazioni ove non sussiste il rischio di un cedimento della fondazione possono essere usate altri tipi di palificate che utilizzano meno legname e meno chiodi, a parità di resistenza alla spinta delle terre; tali situazioni si riscontrano, in genere, alla base di scarpate stradali o di versanti con un terreno di fondazione stabile.

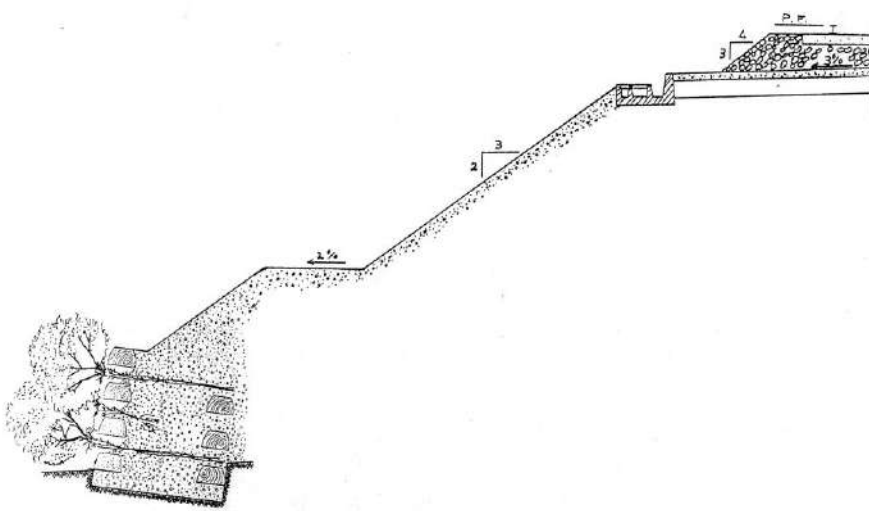


Fig.14.1 Palificata viva doppia al piede di una scarpata ferroviaria

In questi ultimi anni si è sviluppato in Italia un filone di ricerca per realizzare nuovi tipi di palificate vive, con la finalità del risparmio dei materiali e dei tempi di realizzazione, questione fondamentale nel settore delle infrastrutture stradali, ove va limitato al massimo il disagio dei cantieri.

Tali palificate appartengono alle opere di ingegneria naturalistica combinate, nelle quali il raggiungimento dell'obiettivo progettuale avviene tramite l'utilizzo, accanto alle piante vive ed alla terra di riempimento, di materiali morti quali i tronchi di legno, le strutture metalliche, etc. Sono, quindi, varianti della classica palificata viva a parete doppia, in alternativa ai muri a gravità di altezza di circa due metri, soprattutto sulle scarpate stradali. La concezione progettuale di tali nuove palificate parte dalla esigenza di sperimentare tipologie di ingegneria naturalistica con l'obiettivo di:

- Maggior rapidità di realizzazione
- Minore quantità di materiali impiegati
- Completa integrazione con le opere classiche

Tra le varianti della classica palificata doppia usate in Italia vanno ricordate la palificata *Vesuvio* sec. Menegazzi che funziona come una palificata doppia tirantata, molto usata all'interno del Parco Nazionale del Vesuvio e la palificata *Venezia* sec. Papa fondata su pali, usata nelle Marche.

Le quattro palificate presentate di seguito: palificata viva *Roma*, palificata viva *latina*, palificata viva *L'Aquila*, palificata viva *loricata* partono, invece, da un approccio leggermente diverso da quello classico nel considerare la statica ed i componenti della struttura.

La statica

Per quanto riguarda la palificata viva *Roma*, palificata viva *latina* e palificata viva *L'Aquila*, queste dal punto di vista statico si considerano sempre opere a gravità che resistono alla spinta delle terre tramite il peso proprio, dovendo soddisfare le classiche verifiche a slittamento, rotazione ed schiacciamento della fondazione, oltre alla verifica di stabilità globale del versante.

Va però precisato che mentre nel caso della palificata doppia la spinta delle terre si ipotizza su un cassone di tronchi assimilato ad una scatola di legno piena di terra, cioè sulla parete posteriore della scatola stessa, queste palificate sono essenzialmente prive di parete posteriore e la spinta delle terre si esercita direttamente sul cuneo della terra di riempimento. La caratteristica di tali palificate è il telaio triangolare di pali incernierati, collegato ai tronchi della fondazione ove si scarica il peso stabilizzante del terreno sovrastante, funzionando come un fermalibri a L appesantito dai libri stessi.

Le palificate, ai fini statici, equivalgono, in pratica, ad un terra rinforzata dai tronchi e dalle piante, ove la funzione della struttura in legno è quella di rendere stabile il fronte anteriore ad una pendenza di 60° .

Alle spinte del versante, a tergo, l'opera resiste a gravità ed è la terra con il suo volume e peso specifico nettamente superiore a quello del legno (terra = γ_t circa 1800 Kg/mc, legno = γ_l circa 700 Kg/mc), che dà il massimo contributo; ne consegue l'importanza della terra di riempimento e delle sue caratteristiche geotecniche, in particolare della coesione. L'incremento della coesione indotto da una idonea costipazione degli strati, anche semplicemente, con la pressione dei piedi insieme a quello indotto nel tempo dalle radici delle piante basta a giustificare, come risulta da esperienze consolidate, la stabilità della pendenza di un fronte di 60° di altezza limitata, dopo la decomposizione dei tronchi.

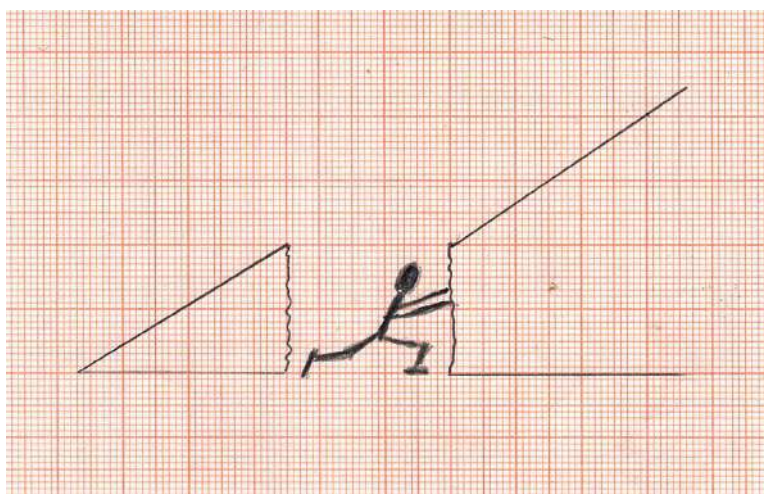


Fig.14.2 L'opera di sostegno a gravità sostituisce, con un minore ingombro, il cuneo di terra asportato

La struttura a gravità che si oppone alla spinta non è, quindi, un cassone di legno riempito di terra, bensì un cuneo di terra rinforzato dai tronchi e dalle piante, ove la funzione degli elementi in legno è quella di mantenere temporaneamente in equilibrio a 60° il fronte anteriore della terra che senza il loro sostegno si disporrebbe naturalmente a circa 30° (fig. 14.3).

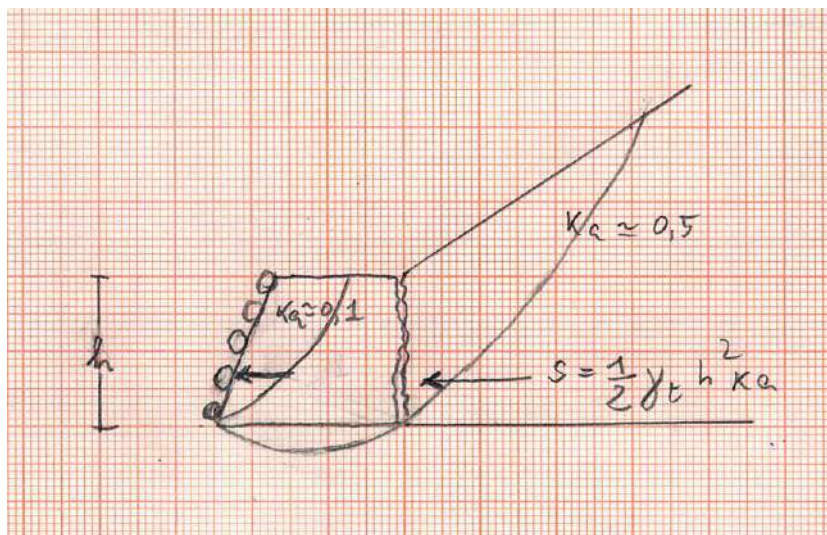


Fig.14.3: Schema statico della palificata con spinte diverse a tergo e sul fronte

Ne deriva che la spinta agente sul fronte anteriore in legno delle palificate è comunque inferiore a quella sulla struttura complessiva con una riduzione del fattore k_a sia per l'inclinazione del fronte a 60° invece che verticale sia per una superficie superiore piana. A tale riduzione della spinta può dare un notevole contributo la coesione della terra di riempimento della struttura fino a spiegare l'equilibrio di fronti di palificate a tronchi decomposti.

Decenni di esperienze hanno dimostrato come dopo 10-20 anni circa i tronchi si decompongono e come il legno delle piante vive, nel tempo, sostituisce la funzione del legno morto dei tronchi mantenendo il fronte di terra in equilibrio a 60° , grazie alla coesione indotta dallo sviluppo degli apparati radicali ed alla compattazione.

In definitiva tre sono gli elementi che contribuiscono alla statica delle palificate:

- Il terreno di riempimento che forma un cuneo di terra che si oppone alla spinta del versante
- Il legno, la cui struttura ha il compito di rendere stabile il fronte anteriore a 60° resistendo a una spinta, comunque inferiore a quella del versante.
- Le piante che con lo sviluppo delle radici aumenteranno la coesione interna

Le verifiche statiche eseguite mostrano un comportamento migliore rispetto alla palificata doppia di analoghe dimensioni in quanto il volume occupato dal legno è minore e la terra ha un peso specifico superiore.

La statica della palificata loricata (fig.14.4) è completamente diversa dalle altre, in quanto la spinta agisce sul fronte anteriore in legno e non sul cuneo di terra a tergo e viene bilanciata dalla componente dovuta all'attrito del peso della piramide di terra gravante sulla piastra. Il vantaggio di tale schema statico è la possibilità di accostare il più possibile la struttura al versante con uno scavo limitato e concentrato, con un grande risparmio dei movimenti terra, particolarmente apprezzabile sulle scarpate di difficile accesso.

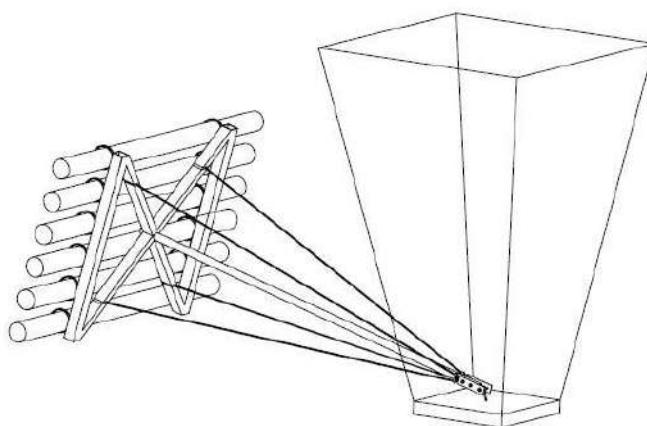


Fig.14.4 Schema statico della palificata loricata (disegno di Riccardo Di Bella)

La struttura : il telaio a triangolo

L'elemento strutturale innovativo delle quattro palificate rispetto alla palificata doppia basata su una struttura a rettangolo è il telaio a triangolo:

- triangolo verticale con un tirante posteriore nel caso della palificata *Roma*, *L'Aquila* e *loricata*
- triangolo orizzontale nel caso della palificata *latina*.

L'obiettivo del risparmio dei materiali viene raggiunto, quindi, con il telaio triangolare ed un uso modulare dei tronchi stessi. La lunghezza standard del modulo base è di 4 m con interasse dei telai di 2 m

Il risparmio di legname rispetto alla palificata doppia è valutabile intorno al 15-35%, e quello delle chiodature va dal 20 al 30% (nella loricata non sono previste chiodature dei tronchi).

Rispetto alle tradizionali barre di acciaio ad aderenza migliorata è oggi consolidato l'uso di viti da legno che rendono il lavoro ancora più rapido. Nella palificata *Roma* e *L'Aquila* nelle giunzioni dei tronchi del telaio a triangolo si usano le barre filettate con dadi e rondelle.

La riduzione dei tronchi e delle chiodature comporta una riduzione del costo della manodopera ed una meccanizzazione più spinta dei lavori con riduzione dei tempi morti di utilizzo delle macchine.

Nella tabella sotto sono confrontati i materiali ed i costi rispetto alla palificata doppia.

	Palificata doppia	Palificata <i>Roma</i>	Palificata <i>latina</i>	Palificata <i>L'Aquila</i>	Palificata <i>loricata</i> (struttura legno-acciaio)
Lunghezza (m) tronchi D 20 cm	64	50	53	54	24
Numero chiodature	38	24	26	30	-
Costi Euro/mc	150	130	120	130	100

Tabella 14.1 Confronti tra le varie palificate per un modulo di 4 m di lunghezza e di 2 m di altezza

	Palificata doppia	Palificata <i>Roma</i>	Palificata <i>latina</i>	Palificata <i>L'Aquila</i>	Palificata <i>loricata</i>
Sistemazioni idrauliche	X				X
Strade in pendenza				X	
Strade in piano	X	X	X		X
Base dei Versanti	X	X	X		X
Versanti in stabili	X				X

Tabella 14.2: Campi di applicazione ottimali

Di seguito vengono descritti i quattro nuovi tipi di palificate.

14.1 La palificata viva “Roma”

La palificata viva tipo *Roma* (Cornellini, 2001) è la prima delle nuove palificate e rappresenta una elaborazione eclettica della palificata viva a parete doppia, della grata, della palizzata e delle terre rinforzate, con possibili applicazioni didattiche nei corsi di ingegneria naturalistica, in quanto:

- equivale alla base di una palificata viva doppia per i primi due ordini di tronchi
- presenta dei montanti anteriori come una palizzata
- si configura come una grata togliendo il primo palo infisso anteriormente
- l'insieme paramento frontale – rete metallica funziona secondo i principi delle terre rinforzate



Foto 676: Palificata Roma- Urbanizzazione La Leprignano (RM) 2007 Foto P. Cornellini **Foto 677: Idem 2009 Foto P. Cornellini**

Grazie al recente utilizzo delle viti da legno al posto delle barre di acciaio ad aderenza migliorata è oggi possibile una versione della palificata *Roma* ancora più semplice e rapida che fa a meno del montante anteriore e che vede i tronchi correnti anteriori fissati direttamente con le viti e sul montante posteriore (foto successiva).



Foto 678: Palificata Roma senza palo frontale Martinsicuro (TE) Foto P. Cornellini



Foto 679: Modello palificata Roma Corso Università Tuscia 2008 Foto P. Cornellini

Per la descrizione si rimanda alla scheda relativa delle tecniche (in Appendice).

14.2 La palificata viva latina

La palificata viva *latina* (Cornellini, 2008) a cassone triangolare è una elaborazione della palificata doppia e della palificata semplice ottenuta tramite l'allungamento e la congiunzione a triangolo nella parte posteriore dei trasversi della palificata semplice

Rispetto alla palificata viva doppia non si presenta come una struttura omogenea a cassone continuo, ma con tratti rinforzati : i cassoni triangolari, collegati dai correnti anteriori , come le torri di guardia di una fortificazione collegate dalle mura

La palificata viva *latina* presenta i seguenti vantaggi funzionali:

- è facilissima da realizzare per chi conosce la palificata semplice o doppia, senza bisogno di particolare formazione delle imprese in quanto è una via di mezzo tra le due tipologie;
- è modulare con i correnti di lunghezza di 4 m , interasse dei trasversi di 2 m e lunghezza dei trasversi di 2 o 2,5 m , a seconda dell'altezza, con semplificazione sia del calcolo dei materiali che della realizzazione;
- comporta, rispetto alla palificata doppia, un risparmio del legno intorno al 25 % e delle chiodature del 45% circa, che, unitamente al risparmio di tempo per la realizzazione, si traduce in risparmio di costi e di energia;
- è molto rapida per il ridotto uso di chiodature

Inoltre, per la modularità costruttiva, il corrente da 4 m appoggia solo su due trasversi di interasse di 2 m, ed, quindi, stabile, mentre, nel caso comune di tre punti di contatto del corrente sui tre trasversi sotto si deve spesso intervenire per ristabilire il contatto continuo del corrente con il terzo trasverso o con la motosega o aggiungendo zeppe sugli appoggi intermedi presenti; tale vantaggio si traduce in una ottimizzazione dei materiali e nella possibilità di sfruttare al massimo l'attrito del contatto corrente-trasverso.

La modularità realizzativa è massima, essendo un modulo di 4 m ripetibile per n volte ;

per lunghezze che non sono multiple di 4 il residuo tratto si può realizzare tramite una palificata doppia; la palificata *latina* è, infatti , perfettamente integrabile con la palificata doppia dalla quale non si distingue quasi sul fronte anteriore, una volta riempita con la terra e le piante.



Foto 680: La palificata latina presenta tratti rinforzati collegati dai correnti , come le torri di guardia collegate dalle mura. Mura romane di Porta Palatina a Torino. Foto P. Cornellini



Foto 681: Cassoni triangolari collegati dai correnti.. Parco Nazionale del Vesuvio. Foto P. Cornellini

La palificata doppia è sicuramente più solida nelle situazioni in cui vi siano dei possibili cedimenti delle fondazioni (ad esempio briglie con erosione e sifonamenti in alveo od opere di sostegno su frane in terreni cedevoli), ma nelle situazioni di opera di sostegno in ambito terrestre su fondazioni stabili rappresenta una valida alternativa.



Foto 682: Palificata latina a lavori ultimati sotto il Vesuvio 2007 Foto P. Cornellini



Foto 683: Stessa foto dopo 2 anni 2009 Foto P. Cornellini



Foto 684: Palificata latina L'Aquila Foto C. Crocetti 2009



Foto 685: Palificata latina L'Aquila dopo un anno Foto C. Crocetti 2010

Palificata viva "latina"

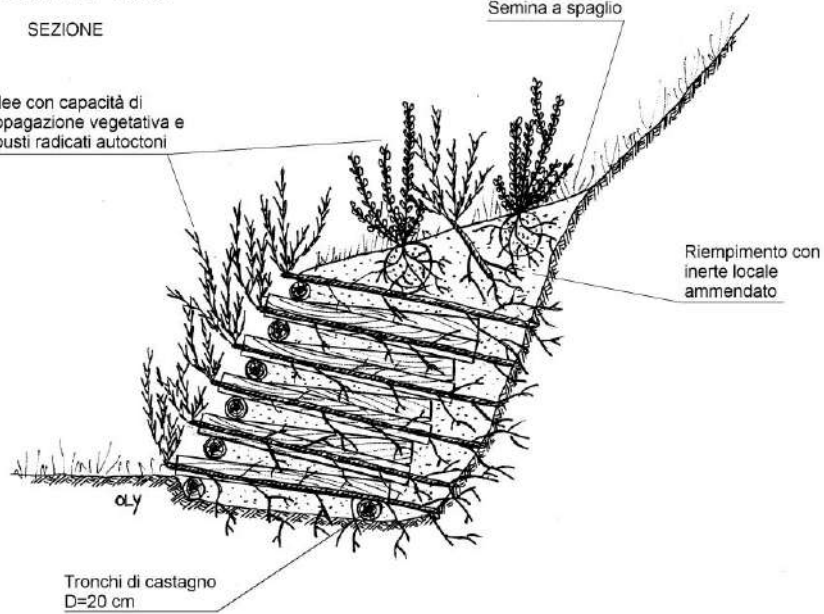
SEZIONE

Talee con capacità di
propagazione vegetativa e
arbusti radicati autoctoni

Semina a spaglio

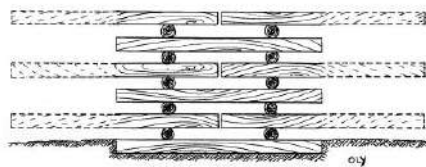
Riempimento con
inerte locale
ammendato

Tronchi di castagno
D=20 cm

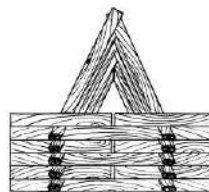


Palificata viva "latina" (modulo di 4 metri)

PROSPETTO



1 metro



PIANTA

1 metro

Fig.14.5 - Palificata viva latina sec. Cornellini (disegni di Olivia Iacoangeli)

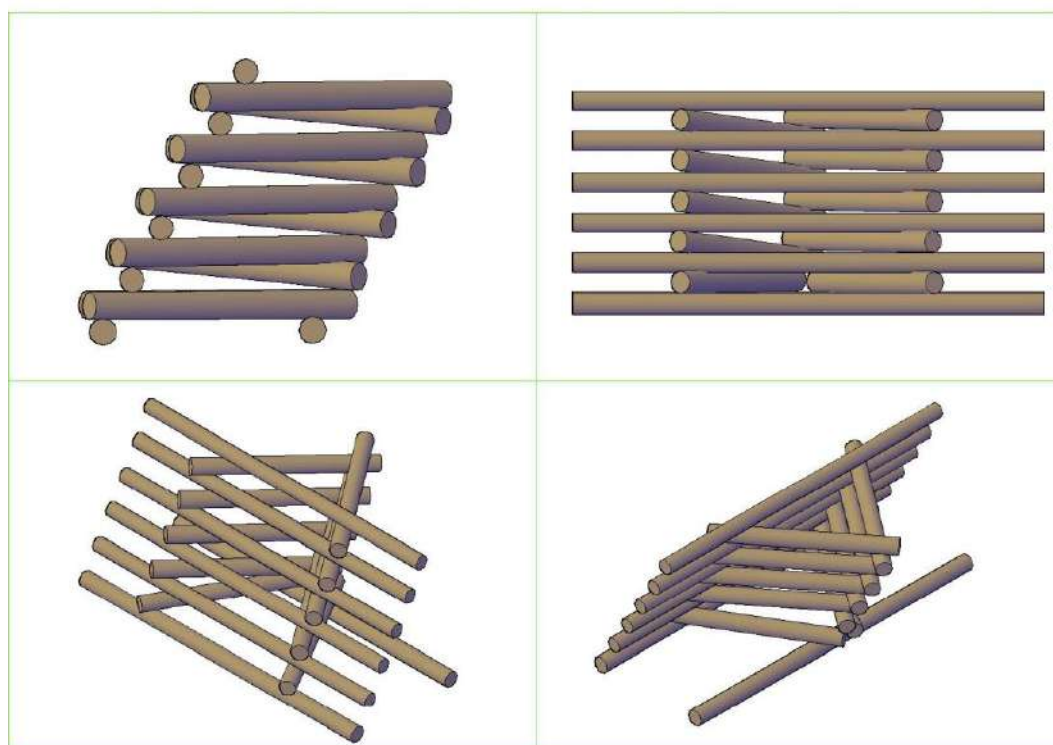


Fig.14.6 - Schema costruttivo Palificata latina. Corso Università Tuscia- La Sapienza -Bracciano (RM) 2008

Descrizione della palificata viva *latina*

E' realizzata per il consolidamento del piede di pendii instabili con una struttura in tondami di castagno o larice di $\varnothing$ 20 - 25 cm, posti alternativamente in senso longitudinale (correnti $L=4$ m) ed in senso trasversale (traversi $L=2-2,5$ m a seconda dell'altezza) a formare cassoni triangolari in legname uniti tra loro dai correnti stessi; i traversi, posti a interasse di 2 m, formano un triangolo isoscele con i primi due in basso fissati sull'unico corrente posteriore e i successivi chiodati tra loro; i tondami sono fissati tra di loro con viti da legno o tondini di acciaio a.m. $\varnothing$ 10-12 mm con lunghezza di poco inferiore ai due tronchi sovrapposti; per una maggiore stabilità la palificata andrà interrata con una pendenza di circa 10° verso monte ed il fronte avrà una pendenza di 60° che garantisce anche la miglior crescita delle piante; una fila di picchetti di acciaio può consolidare ulteriormente la palificata alla base; l'intera struttura va riempita a strati con l'inerte ricavato dallo scavo ammendato con terra di coltivo e negli interstizi tra i tondami orizzontali vanno collocate, ove coerenti ecologicamente, talee legnose di salici, tamerici od altre specie adatte alla riproduzione vegetativa, nonché piante radicate di specie arbustive pioniere. Rami e piante non devono sporgere più di 10-20 cm dal fronte e le talee devono arrivare nella parte posteriore sino al terreno naturale.

Nel caso di difesa spondale: una fila di massi sarà posta al piede della palificata, a contatto con l'acqua, legati con una fune di acciaio di $\varnothing$ 16 mm e ulteriormente fissati con picchetti in acciaio di lunghezza di circa 2 m, infissi nel fondo per almeno $\frac{3}{4}$ della lunghezza; gli interstizi tra i tondami vanno, inoltre, riempiti con massi sino al livello della portata formativa.

La palificata può essere realizzata per singoli tratti modulari di 4 m e i raccordi possono essere effettuati anche con tratti di palificata doppia; la struttura non deve essere più alta di 2 – 2,2 m..

Il periodo d'intervento corrisponde, nel caso di uso delle talee, al riposo vegetativo con esclusione dei periodi di innevamento e gelo profondo e, nel caso di arbusti radicati, a tutto l'anno con esclusione dei periodi di aridità estiva e di gelo

L'effetto consolidante della struttura in legno, una volta marcita, sarà sostituito dallo sviluppo dell'apparato radicale.



**Foto 686: Palificata latina 2007
Parco del Furlo(PU) Foto P. Cornellini**



Foto 687: Idem 2010



Foto 688: Parco L'Aquila Genio Militare Esercito Italiano Roma Cecchignola Foto P. Cornellini 2011



Foto 689: Palificata latina nei Cantieri didattici Corso Ingegneria Naturalistica Scuola Geometri Tallini Formia 2010 Foto P. Cornellini



Foto 690 e Foto 691: Palificata Latina a Coconuco (Colombia) – 2011 Foto C. Crocetti

Voce di capitolato palificata *latina*

Consolidamento del piede di pendii instabili con palificata in tondami di castagno o larice di $\varnothing$ 20 - 25 cm, posti alternativamente in senso longitudinale (correnti $L=4$ m) ed in senso trasversale (traversi $L=2-2,5$ m a seconda dell'altezza) a formare cassoni triangolari in legname uniti tra loro dai correnti stessi; i traversi, posti a interasse di 2 m, formeranno un triangolo isoscele con i primi due in basso fissati sull'unico corrente posteriore e i successivi chiodati tra loro; i tondami saranno fissati tra di loro con viti da legno o tondini di acciaio a.m. $\varnothing$ 10-12 mm con lunghezza di poco inferiore ai due tronchi sovrapposti;

La fondazione sarà incassata con una pendenza di circa 10° ed il fronte avrà una pendenza di 60° . L'intera struttura verrà riempita a strati con l'inerte ricavato dallo scavo ammendato con terra di coltivo e negli interstizi tra i tondami orizzontali verranno collocate talee legnose di salici, tamerici od altre specie adatte alla riproduzione vegetativa e/o specie arbustive pioniere autoctone. Rami e piante dovranno sporgere non più di 10-20 cm dalla palificata e le talee dovranno arrivare nella parte posteriore sino al terreno naturale.

Il periodo d'intervento corrisponde, nel caso di uso delle talee, al riposo vegetativo con esclusione dei periodi di innevamento e gelo profondo e, nel caso di uso di arbusti radicati, a tutto l'anno con esclusione dei periodi di aridità estiva e di gelo

14.3 La palificata viva L'Aquila , una nuova opera di ingegneria naturalistica per le strade di montagna

La palificata viva *L'Aquila* (Cornellini 2011), dedicata alla città colpita dal terremoto, viene proposta come alternativa alle opere di sostegno tradizionali nel settore delle infrastrutture stradali in pendenza con tutti i vantaggi naturalistici e paesaggistici tipici delle opere di ingegneria naturalistica.

La palificata viva *L'Aquila* ha il suo campo di applicazione, quindi, unicamente nelle scarpate in pendenza delle strade di montagna e non nelle aree piane: viene, infatti, incontro a tre problemi:

- un *problema tecnico* che si presenta nel costruire una palificata su una strada in pendenza con la necessità di dover scavare una fondazione orizzontale notevolmente più profonda che in pianura (un modulo lungo 4 m su una pendenza della strada del 10% comporta un ulteriore scavo triangolare profondo a monte 0,4 m)
- un *problema economico*, legato al precedente, di maggiori costi di scavo e “perdita” di materiale (tronchi e chiodature) interrato, che non contribuisce alla stabilità del versante, ma è necessario solo per raggiungere le altezze di progetto
- il *problema di inserimento paesaggistico* dovuto alla disarmonia tra una struttura a linee parallele orizzontali (i correnti della palificata) ed una a linea inclinata (la strada in pendenza).

Per realizzare, quindi, una struttura ben inserita nel paesaggio montano nella fase iniziale di vita della palificata, prima dello sviluppo degli arbusti che eliminerà, comunque, la suddetta disarmonia, si realizza una struttura con i tronchi correnti paralleli alla pendenza della strada, ma con una fondazione orizzontale di modulo ridotto per diminuire gli scavi.

La palificata viva *L'Aquila* rappresenta una elaborazione eclettica della palificata viva *Roma* e della grata, con una fondazione a gradini di modulo pari alla metà di quello di una fondazione in piano; la struttura è resa possibile nella versione attuale dall'impiego delle viti da legno che consentono tempi di realizzazione molto più rapidi rispetto alle classiche barre di acciaio ad aderenza migliorata e, grazie alla loro resistenza, di chiodare i correnti sui montanti senza il tronco anteriore di fissaggio tipico della palificata *Roma*.

Infatti, la palificata *L'Aquila*:

- equivale alla base, per i primi due ordini di tronchi, ad una palificata viva doppia
- presenta il modulo del triangolo come la palificata *Roma*, anche se modificato con un doppio montante
- si configura come una grata
- l'insieme paramento frontale-triangolo-fondazione funziona secondo i principi delle terre rinforzate



Foto 692: Costruzione palificata L'Aquila Parco Nazionale del Gran Sasso (AQ) 2009 durante i lavori Foto C. Crocetti



Foto 693: Palificata L'Aquila Parco Nazionale del Gran Sasso (AQ) 2011 Foto L. Ruggieri

Descrizione della Palificata *L'Aquila*

E' realizzata per il consolidamento del piede di scarpate instabili su strade in pendenza con una struttura in tondami di tondami di castagno o larice di circa 20 cm di diametro, collegati da telai triangolari costituiti da due montanti ed un tirante fissati sui correnti, anteriore e posteriore, della fondazione. Per una maggiore stabilità la

palificata va interrata in uno scavo di fondazione profondo quanto il diametro del corrente, con una leggera pendenza verso monte; il fronte anteriore deve avere una pendenza di 60° che garantisce anche la miglior crescita delle piante.

La palificata può essere realizzata per singoli tratti modulari di 4 m; con una altezza di 1,8-2 m.

La fondazione, per ridurre lo scavo, è a gradini orizzontali di lunghezza di 2 m con sovrapposizione dei correnti di circa 20 cm; i trasversi saranno posti a circa 20 cm dal bordo esterno del tronco di fondazione.

Il primo corrente, di lunghezza leggermente superiore ai 4 m, in modo che la proiezione sia comunque di 4 m., sarà posizionato sul primo e terzo trasverso con una pendenza parallela alla strada (vedi prospetto fig.14.7).

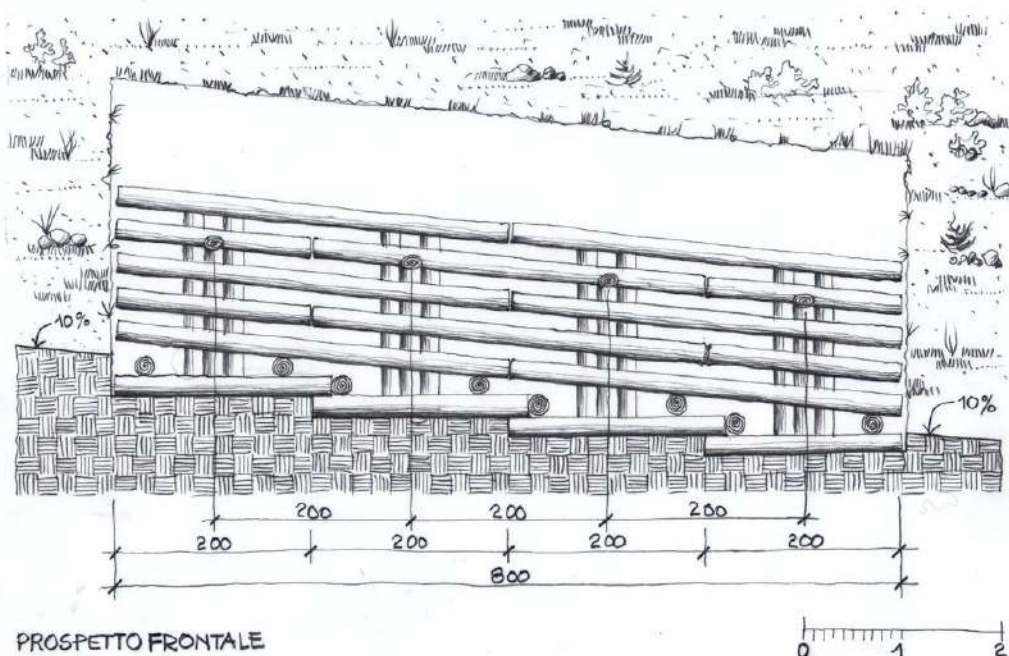


Fig.14.7 - (disegno di Vincenzo Reggimenti)

La costruzione della fondazione a gradini, realizzata come descritto sopra, comporta una pendenza dell'opera di circa il 10%. Per strade di pendenza superiore o inferiore sarà possibile, comunque, intervenire sul posizionamento del primo corrente con l'inserimento di un leggero spessore o con un leggero intacco con la motosega, per mantenere il parallelismo del corrente con la strada. Nei tratti in cui la distanza tra il primo corrente e quello di fondazione risulta eccessiva per la stabilità del terreno a tergo, si potrà inserire uno spessore di spezzoni di tronchi. (vedi fig. 14.8).

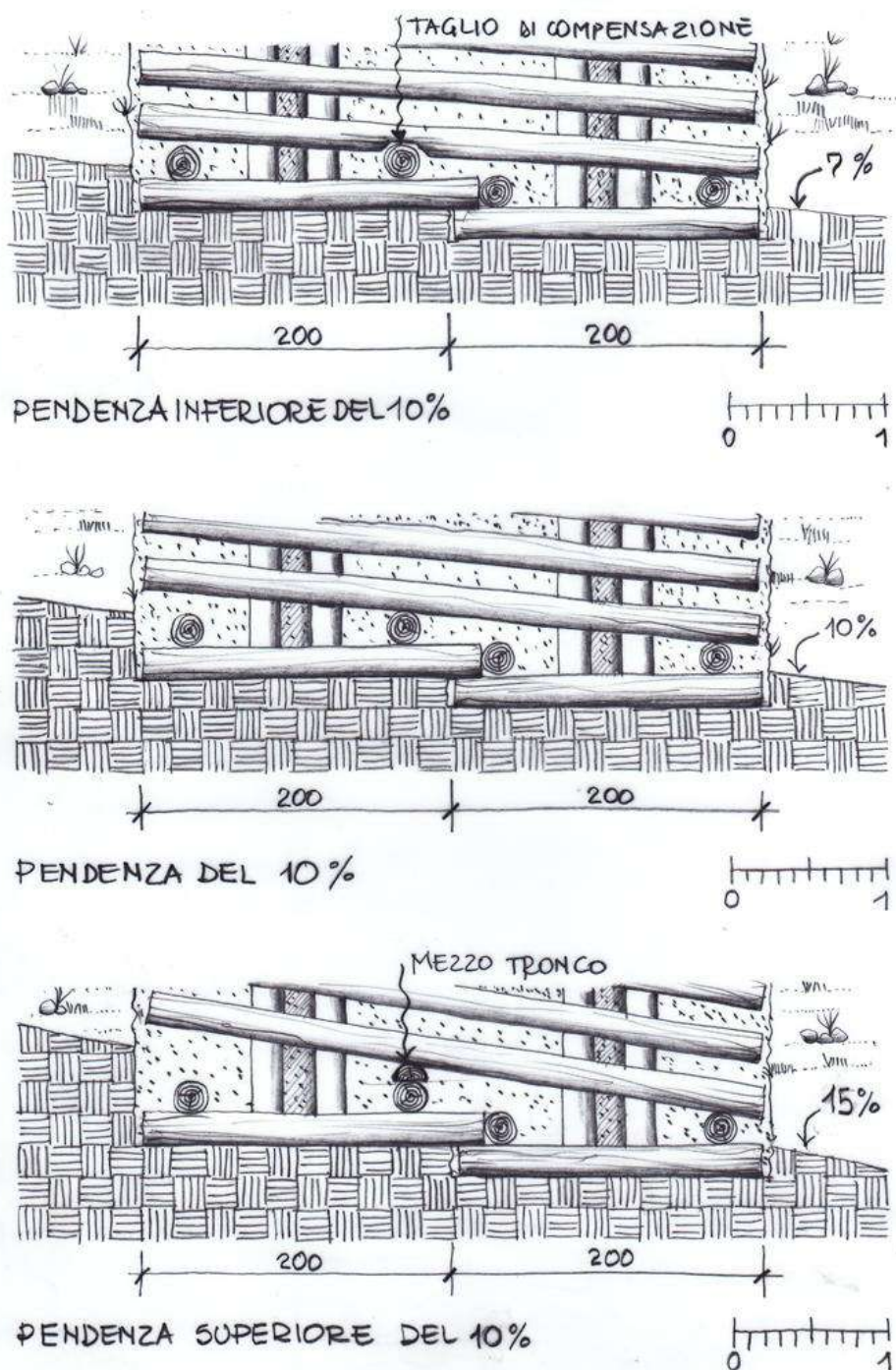


Fig. 14.8 Mantenimento del parallelismo con la strada per pendenze uguali o diverse dal 10% (disegno di Vincenzo Reggimenti)

Successivamente saranno posizionati due montanti anteriori con una pendenza di 60° , infissi nel terreno in aderenza al corrente di fondazione anteriore e chiodati allo stesso; i montanti saranno incernierati al tirante di collegamento, a sua volta chiodato al corrente di fondazione posteriore a formare i telai triangolari, posti ad interasse di 2 m (fig. 14.9).

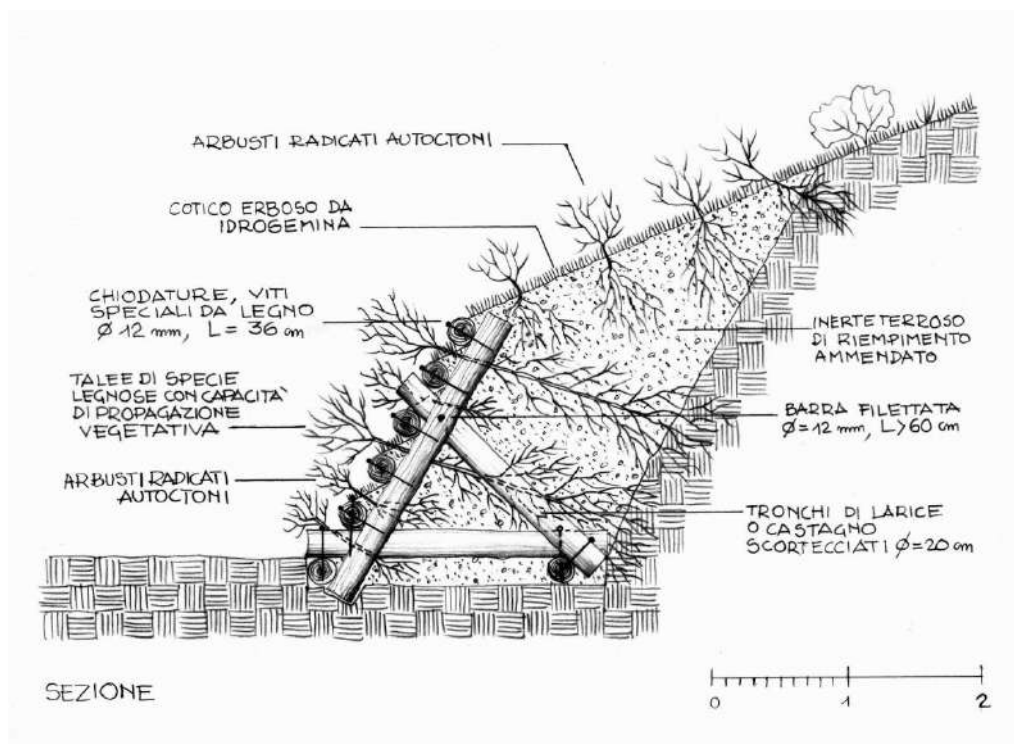


Fig.14.9 Palificata viva L'Aquila sec.Cornellini (disegno di Vincenzo Reggimenti)

Una volta impostati i triangoli, saranno fissati ad essi i successivi correnti paralleli al primo ottenendo, di conseguenza, una struttura parallela alla pendenza della strada (schema tridimensionale delle fasi di montaggio (vedi fig.14.10).

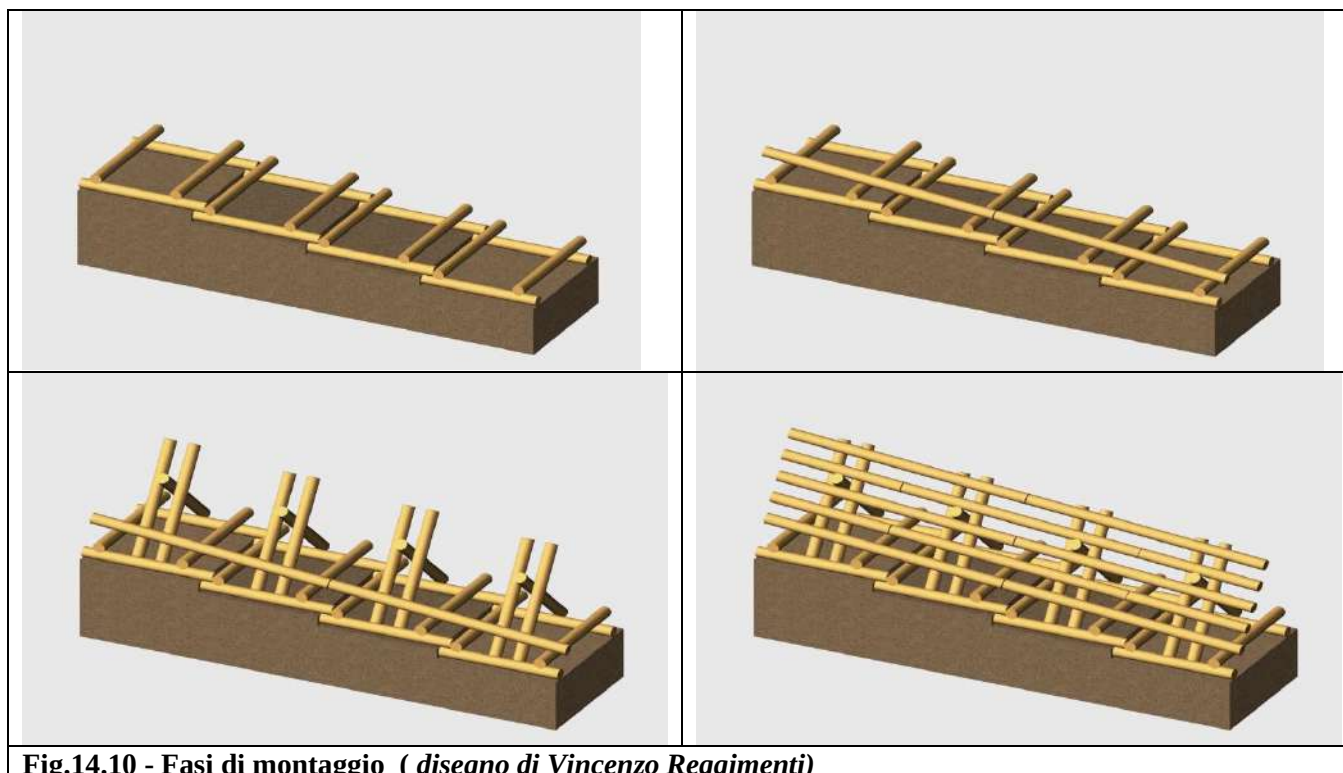


Fig.14.10 - Fasi di montaggio (disegno di Vincenzo Reggimenti)

Le chiodature vanno realizzate con viti da legno del diametro di 12 mm, con lunghezza di poco inferiore ai due tronchi sovrapposti. e, per le cerniere orizzontali di collegamento del triangolo, vanno usate barre filettate in acciaio del diametro di 12 mm. con dadi e rondelle. Per tale ultima operazione si richiede l'uso di punte di trapano della lunghezza superiore alla somma di tre diametri , ad esempio, maggiore di 60 cm. circa, nel caso di tronchi di 20 cm di diametro.

La struttura sarà riempita a strati, curandone la compattazione, con l'inerte ricavato dallo scavo ammendato con terra di coltivo, posizionando, nello spazio tra i correnti, previa verifica della coerenza ecologica, talee legnose di salici, tamerici od altre specie adatte alla riproduzione vegetativa, nonché piante radicate di specie arbustive pioniere autoctone. Rami e piante dovranno sporgere non più di 10-20 cm dalla palificata e le talee dovranno arrivare, nella parte posteriore, sino al terreno naturale.

Il periodo d'intervento corrisponde, nel caso di uso delle talee, al riposo vegetativo con esclusione dei periodi di innevamento e di gelo profondo mentre, nel caso di uso di arbusti radicati, a tutto l'anno con esclusione dei periodi di aridità estiva e di gelo.

Le principali precauzioni per una ottimale realizzazione :

- La pendenza anteriore della struttura non deve superare i 60°.
- Va impostata una pendenza dei correnti parallela alla strada.
- Va ben curata la realizzazione dei telai a triangolo.
- Per una maggior praticità realizzativa il riempimento con la terra e le piante va effettuato a strati per una miglior compattazione della terra per evitare la formazione di vuoti.

Voce di capitolato della Palificata *L'Aquila* sec. Cornellini

Consolidamento del piede di scarpate instabili su strade in pendenza con palificata in tondami di castagno o larice di circa 20 cm di diametro, collegati da telai triangolari costituiti da due montanti ed un tirante fissati sui correnti, anteriore e posteriore, della fondazione. La palificata va interrata in uno scavo di fondazione profondo quanto il diametro del corrente, con una leggera pendenza verso monte; il fronte anteriore deve avere una pendenza di 60°.

La palificata va realizzata per singoli tratti modulari di 4 m; con una altezza di 1,8-2 m.

La fondazione è a gradini orizzontali di lunghezza di 2 m con sovrapposizione dei correnti di circa 20 cm;

Il primo corrente, di lunghezza leggermente superiore ai 4 m, in modo che la proiezione sia comunque di 4 m., sarà posizionato sul primo e terzo trasverso con una pendenza parallela alla strada.

Successivamente saranno posizionati due montanti anteriori con una pendenza di 60°, infissi nel terreno in aderenza al corrente di fondazione anteriore e chiodati allo stesso; i montanti saranno incernierati al tirante di collegamento, a sua volta chiodato al corrente di fondazione posteriore a formare i telai triangolari, posti ad interasse di 2 m.

Una volta impostati i triangoli, saranno fissati ad essi i successivi correnti paralleli al primo ottenendo, di conseguenza, una struttura parallela alla pendenza della strada.

Le chiodature vanno realizzate con viti da legno del diametro di 12 mm, con lunghezza di poco inferiore ai due tronchi sovrapposti. e, per le cerniere orizzontali di collegamento del triangolo, si useranno barre filettate in acciaio del diametro di 12 mm. con dadi e rondelle.

La struttura sarà riempita a strati, curandone la compattazione, con l'inerte ricavato dallo scavo ammendato con terra di coltivo posizionando, nello spazio tra i correnti, previa verifica della coerenza ecologica, talee legnose di salici, tamerici od altre specie adatte alla riproduzione vegetativa, nonché piante radicate di specie arbustive pioniere autoctone. Rami e piante dovranno sporgere non più di 10-20 cm dalla palificata e le talee dovranno arrivare, nella parte posteriore, sino al terreno naturale.

Il periodo d'intervento corrisponde, nel caso di uso delle talee, al riposo vegetativo con esclusione dei periodi di innevamento e di gelo profondo mentre, nel caso di uso di arbusti radicati, a tutto l'anno con esclusione dei periodi di aridità estiva e di gelo.

14.4 La palificata viva loricata, opera di consolidamento di ingegneria naturalistica a struttura metallica

Le palificate vive vengono realizzate con tronchi di legno morto, la cui funzione nel tempo sarà sostituita dal legno delle piante vive. In certi casi, tuttavia, viene richiesta una resistenza maggiore, per contare su una struttura non biodegradabile come il legno e da tale esigenza derivano varie proposte che vanno, nel campo dell'ingegneria naturalistica, dalle terre rinforzate rinverdate alle gabbionate rinverdate.

In tali opere le piante non hanno una funzione di stabilità strutturale neanche nel lungo periodo, in quanto questa viene affidata alla resistenza dei materiali morti; le piante, tuttavia, svolgono anche in tal caso, oltre alla finalità naturalistica di ricostruzione di unità ecosistemiche per l'aumento della biodiversità ed a quella paesaggistica, importanti funzioni di aumento della resistenza dell'opera, quali, ad esempio la dissipazione dell'energia cinetica dell'acqua operata dalle talee elastiche di una gabbionata spondale rinverdata, o di aumento della durata dell'opera quali, ad esempio, la funzione antisvuotamento del terreno di riempimento o la protezione dagli agenti atmosferici nel caso delle terre rinforzate rinverdate.

Non si può, comunque, negare che, nella maggior parte dei casi ove sarebbe stato possibile realizzare strutture rinverdate, tali opere strutturali risultano purtroppo prive di piante, sia per limiti progettuali che realizzativi.

La palificata viva *loricata* (Cornellini 2009), dal latino *lorica*, corazza, vuole rappresentare il punto di incontro tra la palificata viva e la terra rinforzata rinverdata, unendo in positiva sinergia le migliori caratteristiche strutturali ed ambientali delle due tipologie.

E' una struttura mista acciaio-legno che utilizza una armatura metallica prefabbricata (ricavata nelle prime opere da una elaborazione di strutture metalliche a monoancoraggio di largo impiego sul mercato), quale base di appoggio sul fronte anteriore dei tronchi orizzontali di contenimento del cuneo di terra rinverdato con arbusti autoctoni e/o talee.

La palificata viva *loricata*, per la maggior resistenza strutturale rispetto alle palificate in legno, dovuta alla armatura metallica, viene proposta come alternativa rispetto alle opere di sostegno tradizionali, anche nel settore delle infrastrutture stradali, laddove, per motivi di sicurezza, viene richiesta una struttura non biodegradabile (i tronchi possono essere facilmente sostituiti), con tutti i vantaggi naturalistici e paesaggistici tipici delle opere di ingegneria naturalistica.

La statica particolare consente di intervenire anche nel caso di mancanza di spazio con la possibilità di accostare il più possibile la struttura al versante con uno scavo limitato e concentrato.

Ne deriva un grande risparmio dei movimenti terra, particolarmente apprezzabile sulle scarpate di difficile accesso.



Foto 694 e Foto 695: Prove di carico su loricata. Area sperimentale Pavona (RM). Foto E. Marrone



Foto 696 e Foto 697: Sperimentazione presso Asti del prototipo da parte del Politecnico di Torino. Foto A. Valfrè

La palificata viva *loricata* presenta i seguenti altri vantaggi funzionali:

- È di facile e rapida realizzazione grazie all'assemblaggio di elementi metallici prefabbricati e di tronchi di legno
- Rispetto alle palificate vive:
 - E' una struttura più resistente grazie alla componente metallica e, in caso di necessità, è possibile sostituire i tronchi decomposti del fronte anteriore.
 - Gli elementi strutturali sono molto più leggeri, meno ingombranti e facilmente trasportabili.
 - Non sono necessarie le chiodature del legno che viene fissato con semplici ancoraggi
 - Tutta l'organizzazione del cantiere è semplificata.
- Rispetto alle terre rinforzate rinverdite:
 - Il contenimento del cuneo di terra anteriore non è affidato a reti metalliche o strutture sintetiche, ma, grazie alla minore pendenza del fronte anteriore (60°), ai tronchi, come nella palificata viva.
 - è facilissima da rinverdire con arbusti autoctoni in quanto la struttura viene riempita, come le palificate, con terra di coltivo ammendata sostenuta sul fronte anteriore dai tronchi di legno.
 - Una volta riempita di terra e piante, l'armatura metallica non si vede più, ma si vedono solo i tronchi di legno del fronte anteriore e le piante, mentre l'opera viene percepita come una palificata viva, con un inserimento paesaggistico ottimale.

La struttura è modulare con correnti di legno di lunghezza di 4 m e, come la palificata *latina* non si presenta come una struttura omogenea a cassone continuo, ma con tratti rinforzati (i moduli metallici), collegati dai tronchi correnti anteriori, con l'interasse dei moduli di 4 m.

La palificata *loricata* è, perfettamente integrabile con le palificate vive dalle quale non si distingue quasi sul fronte anteriore, una volta riempita con la terra e le piante.

La palificata *loricata* può sostituire, per altezze contenute le opere in terra rinforzata, ove si richieda un ottimale inserimento paesaggistico con la ricucitura con le unità vegetazionali esistenti (infrastrutture stradali, parchi, aree protette, etc.). E' indicata poi, particolarmente, nelle situazioni di emergenza (Protezione Civile) per la rapidità e facilità di realizzazione potendo garantire da subito una stabilità strutturale superiore a quella delle opere in legno. La modularità realizzativa è massima e la palificata *loricata* è, perfettamente integrabile con le palificate vive dalle quale non si distingue quasi sul fronte anteriore, una volta riempita con la terra e le piante.

Descrizione della Palificata *loricata* sec. Cornellini

La palificata viva *loricata* (dal latino *lorica*, corazza), è costituita da una struttura di acciaio e tondami di castagno o larice riempita di terra e arbusti, per il consolidamento di pendii instabili, anche nei casi di interventi urgenti. Esistono ormai sul mercato vari tipi di loricata che differiscono nella struttura metallica.

La struttura in acciaio a monoancoraggio è costituita da un paramento anteriore in acciaio a o H o X (con gli estremi della X collegati verticalmente da travi in acciaio), a seconda dei tipi offerti dal mercato, sul quale vanno appoggiati i tronchi; da tale paramento anteriore si diparte un gambo centrale metallico con funzione di tirante rigido collegato alla base posteriore ad un ancoraggio *a piastra* in metallo o calcestruzzo.

I paramenti anteriori metallici hanno dimensioni di circa 1,5- 2 m di larghezza in funzione dell'altezza. I tronchi, lunghi 3-4 m, sporgono a sbalzo dal fronte anteriore di circa un m da una parte e dall'altra.

La palificata può essere realizzata per singoli tratti modulari di 3-4 m, collegabili tra loro nei tratti rettilinei e i raccordi agli estremi con la morfologia esistente possono essere effettuati anche con tratti di palificata viva doppia o latina.

I tondami di castagno o larice (correnti L=3-4 m) del diametro di circa 20 cm vanno fissati, paralleli tra loro, sul fronte anteriore metallico con collegamenti in acciaio e posti ad una distanza tra loro tale da consentire l'equilibrio del terreno di riempimento nelle finestre.

Il fronte anteriore costituito dall'insieme acciaio-legno deve avere una pendenza di 60° (per cui l'altezza utile del modulo di h 2 o 2,5 m. è di 1,73 o 2,16 m.), che garantisce la miglior stabilità del terreno di riempimento e la crescita delle piante; una fila di putrelle può ulteriormente consolidare la palificata alla base; l'intera struttura va riempita con l'inerte ricavato dallo scavo ammendato con terra di coltivo e negli interstizi tra i correnti vanno collocate talee legnose di salici, tamerici od altre specie adatte alla riproduzione vegetativa, nonché arbusti pionieri autoctoni radicati. Le talee non devono sporgere più di 10-20 cm dalla palificata e arrivare nella parte posteriore sino al terreno locale.

Il periodo d'intervento corrisponde al riposo vegetativo nel caso delle talee e, nel caso degli arbusti in contenitore, al periodo vegetativo, con esclusione dei periodi di aridità estiva o gelo invernale.

Le principali precauzioni per una ottimale realizzazione :

- La pendenza anteriore della struttura metallica non deve superare i 60°.
- Gli elementi di ancoraggio dei tronchi alla struttura vanno distanziati tra loro in funzione del diametro dei tronchi affinché il terreno sia in equilibrio tra i tronchi stessi.
- Per una maggior praticità realizzativa il riempimento con la terra e le piante va effettuato a strati alla fine della posa del primo corrente, per una miglior compattazione della terra per evitare la
- formazione di vuoti.

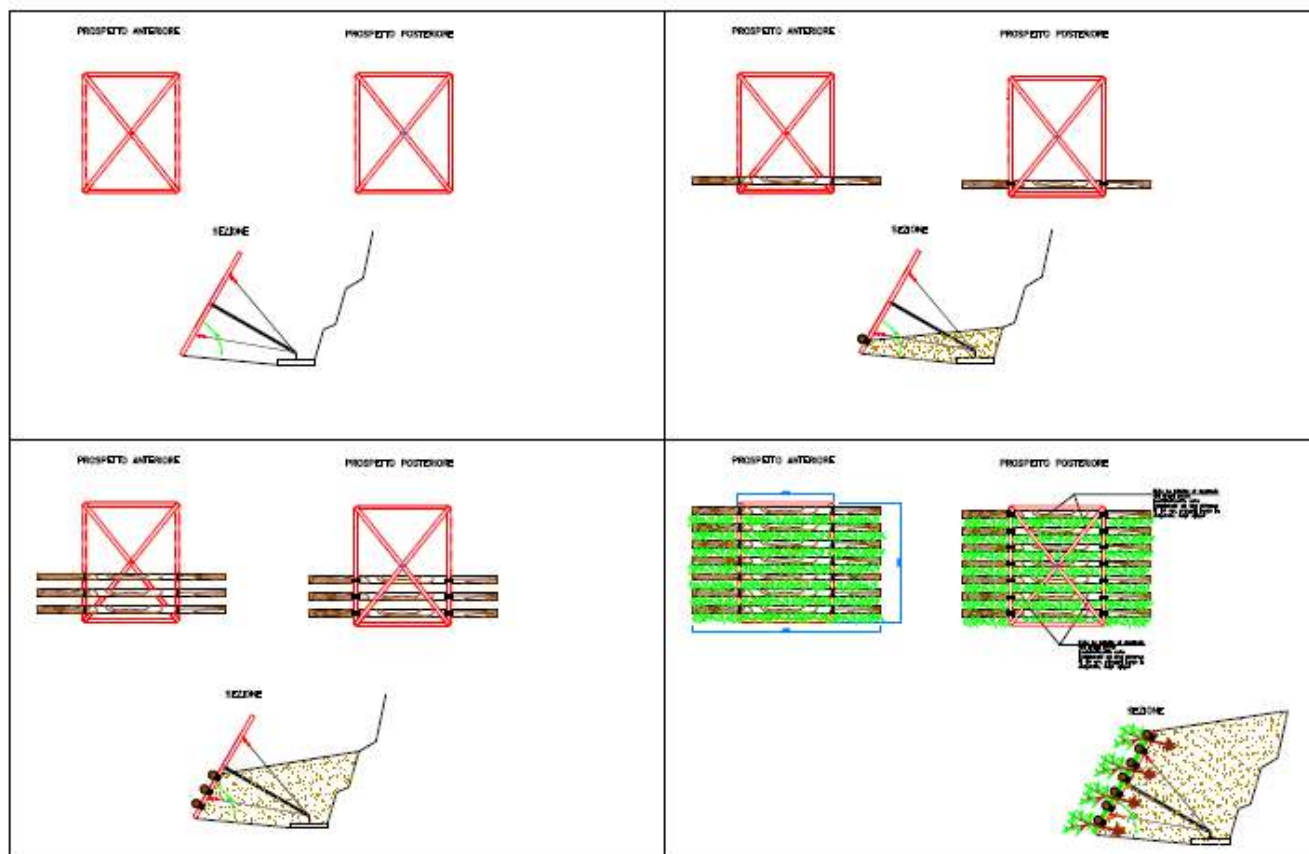


Fig. 14.11 - Fasi di montaggio di uno dei tipi della palificata loricata sec. Cornellini (disegno di E. Marrone)



Foto 698: Palificata loricata Roseto degli Abruzzi 2010 durante i lavori Foto C. Crocetti



Foto 699: Idem a fine lavori Foto C. Crocetti



Foto 700: Palificata loricata Nuoro2010 durante i lavori Foto M. Di Pietro



Foto 701: Palificata loricata Nuoro2010 a fine lavori prima della piantagione arbusti Foto M. Di Pietro



Foto 702: Palificata loricata Nuoro2014 Foto M. Di Pietro

Voce di capitolato Palificata *loricata*

Consolidamento di scarpate instabili con palificata *loricata* costituita da:

- Struttura di supporto frontale in acciaio non zincato costituita da profilati scatolari completi di supporti dei tronchi, collegati ad una piastra di ancoraggio tramite uno o più tiranti. La lunghezza dei montanti verticali può essere di 2 o 2,5 m. con sviluppo in altezza di 1,73 o 2,16 m., data la inclinazione del fronte di 60°, o misure diverse in funzione degli obiettivi progettuali.
- Sistema di vincolo dei tronchi con catena ancorata ai montanti frontali.
- n. 1 piastra di ancoraggio in acciaio o calcestruzzo, dimensioni minime 75x75 cm. e comunque da valutarsi in base ai parametri geotecnici
- n.6 tronchi in castagno o larice scortecciato, od altra specie equivalente, con diam. 16/20 cm, lunghezza cm 300 per strutture con montanti verticali lunghi 2 m.
- N. 8 tronchi idem c.s. lunghezza 4 m. per strutture con montanti verticali lunghi 2,5 m.
- Arbusti autoctoni in ragione di 3/ml. per strato di tronchi o talee di specie autoctone con capacità di riproduzione vegetativa in ragione di 6-8/ml. per strato di tronchi.
- Il riempimento con l'inerte terroso eventualmente ammendato o miscelato con terra di coltivo avverrà per strati contestualmente alla posa degli arbusti radicati o delle talee.
- Le talee dovranno sporgere per circa 10-12 cm. ed arrivare nella parte posteriore fino al terreno in posto.



Foto 703 e Foto 704: Palificata loricata (PS) nel 2011 e 2014 Foto E. Marrone



Foto 705: Versione della loricata realizzata in Spagna. Foto A. Sorolla

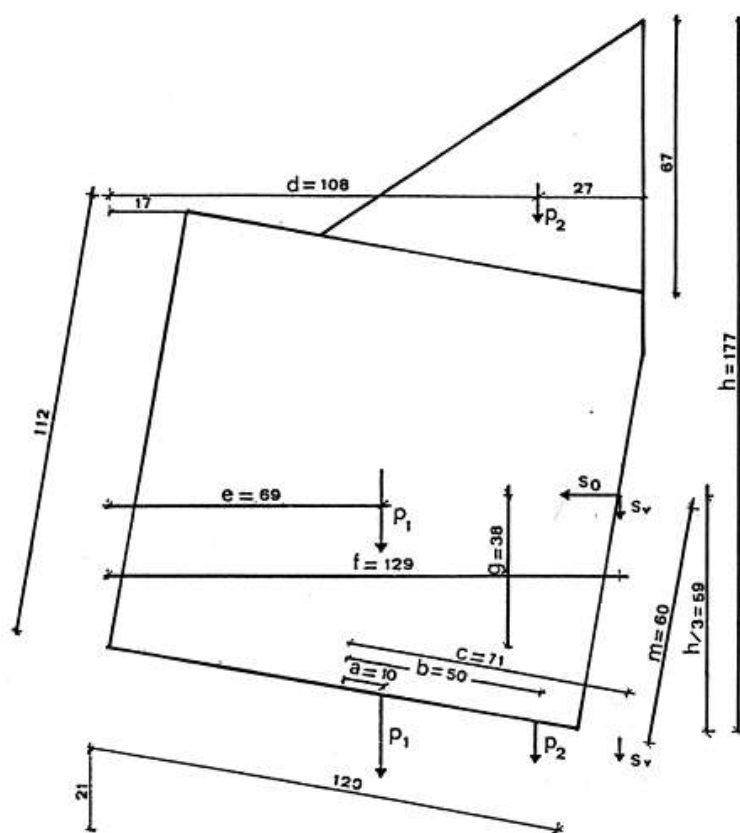
Appendice 1 - Calcolo semplificato di stabilità di palificate vive

Palificata viva doppia, Roma, L'Aquila e latina

Per una palificata viva doppia, Roma, L'Aquila e latina il calcolo di dimensionamento è quello di un'opera a gravità.

Si adotta l'ipotesi semplificativa, per le forze in gioco, ma, comunque, a favore della stabilità, di una palificata a paramento verticale poggiata orizzontalmente sul terreno, mentre in realtà l'opera, come noto, è realizzata con una inclinazione sia sul fronte che sul fondo. La palificata è incassata con il primo corrente di fondazione nel terreno e nel trascurare, a favore della stabilità, la spinta passiva a cui è sottoposto tale primo corrente, si considera come altezza di calcolo della spinta, quella dello scavo a partire dal piano di campagna. Per una verifica rigorosa si può fare riferimento allo "Schema di calcolo di una palificata viva" (Cornelini, Zoccoli, 1995 in fig. 1).

$$\begin{aligned} a &= 56 \operatorname{tg} 10^\circ = 10 \text{ cm} \\ b &= (108 - 60 \cos 10^\circ) / \cos 10^\circ = 50 \text{ cm} \\ c &= 60 + (59 / \cos 10^\circ) \operatorname{tg} 10^\circ = 71 \text{ cm} \\ d &= 17 + (120 \cos 10^\circ - 27) = 108 \text{ cm} \\ e &= (60 + 10) \cos 10^\circ = 69 \text{ cm} \\ f &= 120 / \cos 10^\circ + (59 - 21) \operatorname{tg} 10^\circ = 129 \text{ cm} \\ g &= 59 - 21 = 38 \text{ cm} \\ m &= 59 / \cos 10^\circ = 60 \text{ cm} \end{aligned}$$



SCALA FORZE 1 CM = 1000 KG
SCALA 1:10

Fig. 1, schema statico rigoroso di una palificata

Si effettua, a titolo di esempio, il calcolo di verifica di una palificata viva doppia alta 2 m e con spessore di 1,65 m, funzionante come opera di sostegno al piede di una scarpata. Tale schema di calcolo vale anche per gli altri tipi di palificate..

Si fa riferimento alla figure seguenti, considerando una palificata lunga 4 m.

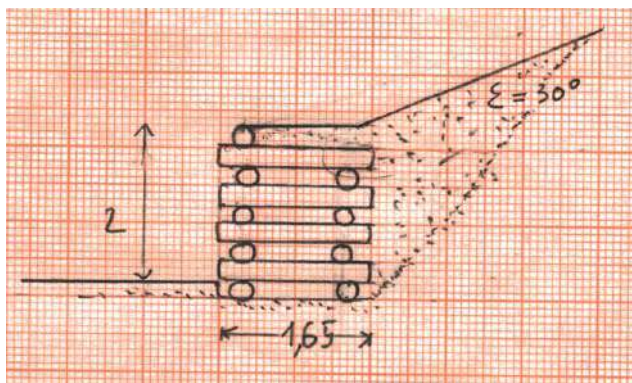
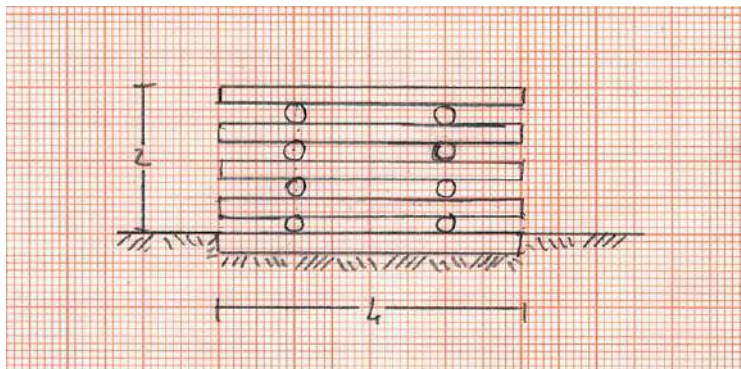


Fig.2 e 3 , prospetto e sezione della palificata di riferimento che, in realtà presenta una inclinazione del fronte di 60°

Analisi dei carichi

$\square\square\square$	$1900 \text{ kg}_f \text{ m}^{-3}$
$\square_1$ (legno)	$700 \text{ kg}_f \text{ m}^{-3}$
P_t = peso del terreno	
P_l = peso del legno	

Il numero dei tronchi necessari lunghi 4 m (i correnti) e lunghi 5 m (i traversi, considerando che la lunghezza dei traversi è in questo caso 1/3 di quella del tronco da 5 m) è :

$$n = 8 + 1 = 9 \text{ tronchi L } 4 \text{ m}$$

e

$$n = 8/3 = 2,7 \text{ tronchi L } 5 \text{ m}$$

per una lunghezza totale di

$$L = 9 \times 4 + 2,7 \times 5 = 49,5 \text{ m}$$

per 1 metro lineare di palificata:

$$49,5 / 4 = 12,4 \text{ m /m}$$

impiegando tronchi del diametro medio di 0,25 m, si ha che il volume totale del legno per m lineare di struttura è:

$$V_{\text{legno}} = 3,14 \times 0,125^2 \times 12,4 = 0,61 \text{ m}^3/\text{m}$$

Il peso del legno è:

$$P_{legno} = \gamma_l V_{legno}$$

quindi, per un ml di palificata

$$P_{legno} = 700 \times 0,61 = 427 \text{ kg /m}$$

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

$$P_t = \gamma V_t$$

ove, per 1 m

$$V_t = (2 \times 1,65) - 0,61 = 2,69 \text{ m}^3/\text{m}$$

$$P_t = 1900 \times 2,69 = 5111 \text{ kg /m}$$

Il peso di 1 m di palificata è quindi:

$$P = P_{legno} + P_t = 427 + 5111 = 5538 \text{ kg /m}$$

Ad un risultato più rapido, anche se approssimato, ma valido per il calcolo, si poteva arrivare considerando il peso totale (terra+legno) come se fosse tutto in terra moltiplicando per un fattore di riduzione 0,88 che tiene conto del legno.

$$P_t = 1900 \times (2 \times 1,65) \times 0,88 = 5518 \text{ kg /m}$$

valore prossimo a quello trovato con calcolo rigoroso

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 :

$$S = \frac{1}{2} \gamma_t h^2 K_A - 2Ch \sqrt{K_A}$$

Con

$$\phi = 33^\circ$$

$$\varepsilon = 30^\circ$$

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

Trascurando a favore della stabilità la coesione e l'angolo di attrito terra muro, ma considerando la inclinazione del fronte anteriore di 60°

$$K_a \text{ (Muller Breslau)} = 0,20$$

$$S_{\text{terra}} = \frac{1}{2} 1900 \times 4 \times 0,20 = 760 \text{ kg/m}$$

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

Ipotizzando un incremento per un sisma di II categoria

$$K_a \text{ (Mononobe -Okabe)} = 0,40$$

$$S_{\text{terra}} = \frac{1}{2} 1900 \times 4 \times 0,40 = 1520 \text{ kg/m}$$

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

Verifica statica

La verifica viene effettuata secondo le norme tecniche del D.M. 11 marzo 1988 riguardanti le prescrizioni per la progettazione delle opere di sostegno, considerando il caso del sisma.

Calcolo dei momenti:

$$M_{\text{stabilizzante}} = 5518 \times 0,825 = 4552 \text{ kg m.}$$

$$M_{\text{ribaltante}} = 1520 \times 0,67 = 1018 \text{ kg m}$$

Si eseguono le seguenti verifiche statiche, per uno spessore di un metro di struttura, trascurando la stabilità globale opera - terreno e le verifiche interne.

Verifica alla traslazione sul piano di posa (fig.4)

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.

$$f P / S = (0,65 \times 5518) / 1520 = 2,36 > 1,3$$

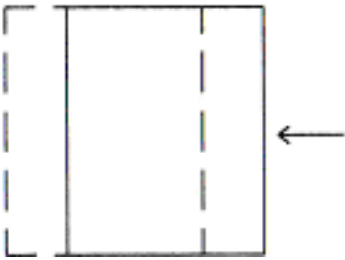


Fig.4, Verifica alla traslazione

Verifica al ribaltamento intorno allo spigolo di base posa (fig.5)

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

$$M_s / M_r = 4552 / 1018 = 4,5 > 1,5$$

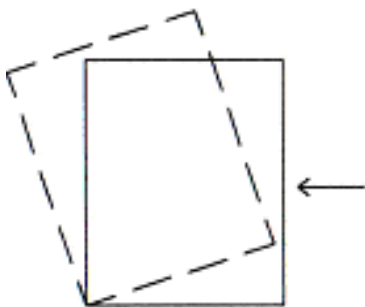


Fig.5, Verifica al ribaltamento

Verifica allo schiacciamento

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.

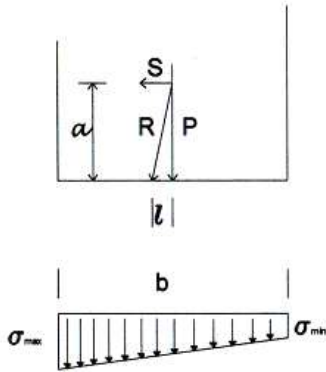


Fig. 6, verifica allo schiacciamento

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:

$$R \times 0 = S \times a - P \times e$$

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

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

$$e = 1520 \times 0,67 / 5518 = 0,18 \text{ m}$$

il valore è entro il terzo medio in quanto $0,18 < 1,65 / 6$ e, in tal caso, vale la formula

$$\sigma_{max} = \left(\frac{P}{100b} \right) * \left(1 + \frac{6e}{b} \right) \text{ in kg cm}^{-2}$$

ove b è la larghezza della palificata pari a 165 cm

$$\sigma_{max} = (5518 / 100 \times 165) \times (1 + 6 \times 18 / 165) = 0,33 \times 1,65 = 0,54 \text{ kg/cm}^2$$

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

$$1,5 / 0,54 = 2,78 > 2, \text{ valore del coefficiente di sicurezza richiesto dal D.M. 11 marzo 1988.}$$

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.

Palificata loricata

Si effettua, a titolo di esempio, il calcolo di verifica di una palificata loricata con un paramento anteriore di 2,5 m che, inclinato a 60° presenta una altezza di 2,16 m

Si fa riferimento alla figure seguenti, considerando un modulo di 4 m.

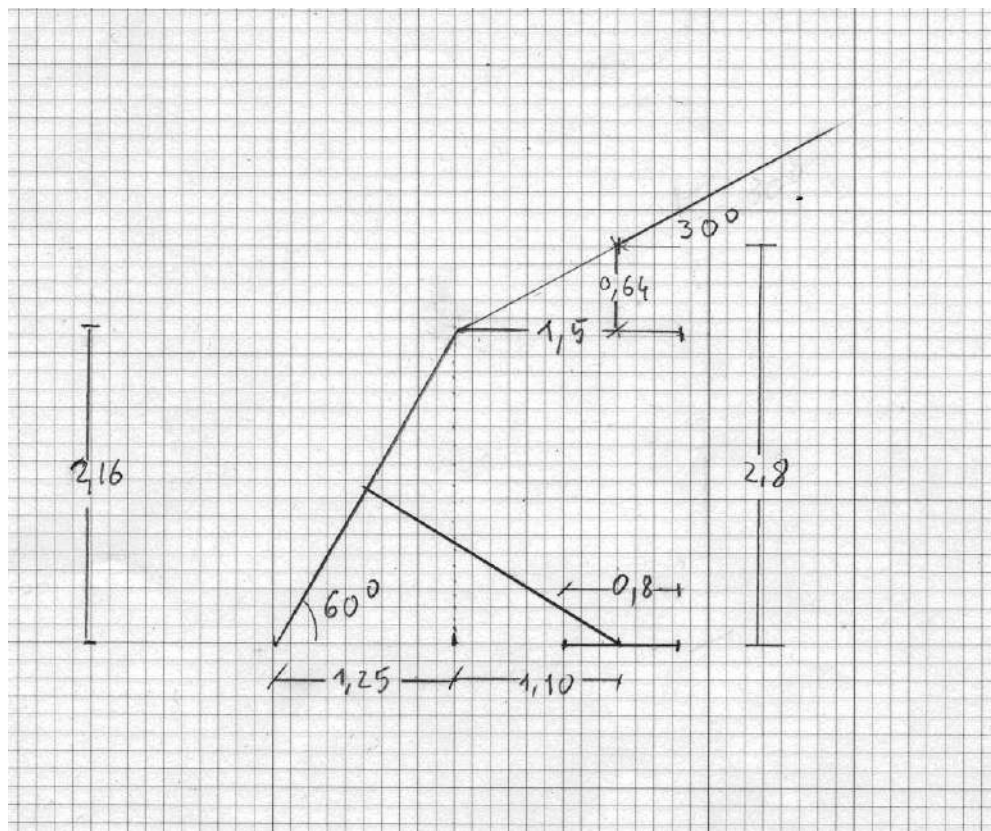


Fig.7 Schema statico palificata loricata

Analisi dei carichi

$\square \square$	$1900 \text{ kg}_f \text{ m}^{-3}$
$\square_1$ (legno)	$700 \text{ kg}_f \text{ m}^{-3}$
P_t = peso del terreno	
P_l = peso del legno	
$\varphi = 33^\circ$	

Il numero dei tronchi correnti necessari lunghi 4 m e del diametro medio di 0,25 m è :

$$n = 5 \text{ tronchi } L \text{ 4 m}$$

per una lunghezza totale di

$$L = 5 \times 4 = 20 \text{ m}$$

il volume totale del legno per modulo di struttura è:

$$V_{\text{legno}} = 3,14 \times 0,125^2 \times 20 = 0,98 \text{ m}^3$$

Il peso del legno è:

$$P_{legno} = \gamma_l V_{legno}$$

quindi, per un modulo di 4 m di palificata

$$P_{legno} = 700 \times 0,98 = 686 \text{ kg}$$

Il peso del terreno di riempimento, che grava sulla piastra considerando un tronco di piramide (fig.8) , è dato da:

$$P_t = \gamma V_t$$

$$V_t = 1/3 h [A_1 + A_2 + (A_1 \times A_2)^{1/2}]$$

$$\text{Ove } A_1 (\text{area piastra ancoraggio}) = 0,8^2 = 0,64 \text{ mq}$$

$$A_2 (\text{area superficie superiore tronco di piramide}) = (1,5 \times 2 + 0,8)^2 = 14,4 \text{ mq}$$

$$V_t = 1/3 \times 2,8 [0,64 + 14,4 + (0,64 \times 14,4)^{1/2}] = 16,8 \text{ mc}$$

$$P_{terra} = 1900 \times 16,8 = 31920 \text{ kg}$$

$$P_{tot} = P_{terra} + P_{legno} = 31920 + 686 = 32606 \text{ kg}$$

Considerando un attrito

$$f = \tan 2/3 \varphi = \tan 2/3 \times 33 = \tan 22 = 0,40$$

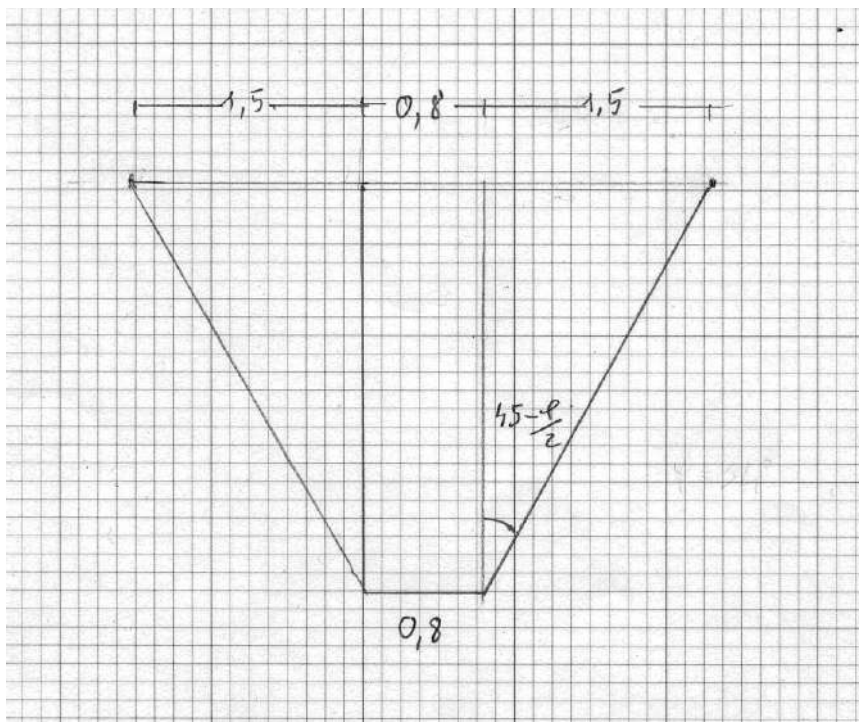


Fig8 Sezione del tronco di piramide di terra che grava sulla piastra

Si ha quindi:

$$F_{resistente} = f P = 32606 \times 0,40 = 13042 \text{ kg}$$

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 2,16 m e trascurando, a favore della stabilità la componente verticale della spinta, è data :

$$S = \frac{1}{2} \gamma_t h^2 K_A - 2Ch\sqrt{K_A}$$

Con

$$\varphi = 33^\circ$$

$$\varepsilon = 30^\circ$$

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

Trascurando a favore della stabilità la coesione e l'angolo di attrito terra muro, ma considerando la inclinazione del fronte anteriore di 60°

$$K_a \text{ (Muller Breslau)} = 0,20$$

$$S_{\text{terra}} = \frac{1}{2} 1900 \times 4,66 \times 0,20 = 885 = \text{kg/m}$$

$$S_{\text{sul modulo di 4 m}} = 885 \times 4 = 3540 \text{ Kg}$$

Confrontando la spinta con la forza resistente

$$F_{\text{resistente}} / S_{\text{tot}} = 13042 / 4248 = 3$$

Ipotizzando un incremento per un sisma di II categoria

$$K_a \text{ (Mononobe –Okabe)} = 0,40$$

$$S_{\text{tot}} = 7080 \text{ Kg}$$

Confrontando la spinta con la forza resistente

$$F_{\text{resistente}} / S_{\text{tot}} = 13042 / 7080 = 1,5$$

Naturalmente aumentando la superficie della piastra di base si possono ottenere valori maggiori del coefficiente di sicurezza.

Appendice 2 - Cantieri in miniatura di Ingegneria Naturalistica

Paolo Cornellini

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 nel 2007, 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, in occasione delle esercitazioni del corso di Ingegneria Naturalistica dell'Università della Tuscia, e successivamente in moltissimi corsi in Italia e nel mondo.

Per la pianificazione delle attività, con l'obiettivo di verificare, seppur in scala ridotta, tutte le reali problematiche di un intervento di ingegneria naturalistica si consiglia:

- Una scala di lavoro: 1:20 così un tronco di 4 m. diventa di 20 cm ed un diametro di 20 cm diventa di 1 cm
- Come stazione di intervento di campagna una scarpata in terra ove con la zappa si possono realizzare morfologie di dissesto da sistemare
- Come tronchi rami di diametri adeguati o, in caso di acquisto, barre di legno tenero
Per le chiodature si possono usare chiodi di 1 mm di diametro o legature con fil di ferro da 1 mm.

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 cm (ottimo il nocciolo) o bacchette di legno per modellismo di balsa D1 cm
forbici da giardiniere		bottiglie di acqua per simulare lo scorrimento e l'erosione delle acque sul versante
martello		

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.

I costi si riducono ai materiali di consumo (chiodi e fil di ferro) e vanno da qualche euro al massimo di 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 ogni singolo modello o minicantiere

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, l'uso di prototipi tridimensionali per meglio valutare le problematiche strutturali.



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. Cornellini



Modello di palificata Roma
Foto P. Cornellini



Corso di Curitiba (Brasile) Foto G. Pirrera e P. Sangalli





Corso San Sebastian (Spagna) Foto P. Sangalli



Materiali e strumenti Foto P. Cornellini



Modello per cantiere. Foto P. Cornellini



Simulazione effetto pioggia. Corso Unitus (VT) Foto P. Cornellini



Simulazione effetto pioggia . Corso Istituto Geometri di Formia. Foto P. Cornellini

Appendice 3 – Le Tecniche di Ingegneria Naturalistica

Le schede delle Tecniche sono tratte dai seguenti Manuali:

- Sauli G., Cornelini P., Preti F. Manuale d'IN applicabile al settore idraulico. Regione Lazio - 2002
- Sauli G., Cornelini P., Preti F. Manuale 2 d'IN applicabile ai settori delle strade, cave, discariche e coste sabbiose. Regione Lazio - 2003
- Sauli G., Cornelini P., Preti F. Manuale 3 d'IN Sistemazione dei versanti. Regione Lazio - 2006

15. BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

- AA.VV Manuale tecnico di IN. Regione Emilia Romagna, Assessorato all'ambiente, Regione del Veneto Assessorato Agricoltura e Foreste - 1993
- AA.VV. Ambiente, fauna e traffico Office National De La Chasse - Parigi Rivista Habitat - 1994
- AA.VV. Traffico e fauna selvatica. L'esperienza francese. Office National De La Chasse Parigi - (Parte seconda) - Rivista Habitat - 1994
- AA.VV Opere e tecniche di IN e recupero ambientale. Regione Liguria, Ass. edilizia, Energia e Difesa del suolo - 1995
- AA.VV Infrastrutture stradali e frammentazione degli habitat I.E.N.E. (Infra-Eco-Network-Europe)
- AA.VV Interactions entre les réseaux de la faune et des voies de circulation. Dipartimento federale dell'ambiente dei trasporti dell'energia e delle comunicazioni, Zurigo - 2000
- AA.VV Bases pour la directive "Planification et construction de passages à faune à travers des voies de communication". Dipartimento federale dell'ambiente dei trasporti dell'energia e delle comunicazioni, Zurigo - 2001
- AA.VV Cost 341-Habitat fragmentation due to transportation infrastructure. European review. European Commission Bruxelles - 2002
- AA.VV Interventi di sistemazione del territorio con tecniche di IN. Regione Piemonte Direzione tutela e risanamento ambientale, Programmazione gestione rifiuti; Direzione Opere Pubbliche - 2003
- AA. VV. Linee guida per capitolati speciali per interventi di IN. Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio - PODIS - 2006
- AA. VV. Linee guida alla progettazione degli interventi di IN nelle Marche. Sezione Regionale AIPIN Marche - 2010
- AA.VV. Glossario dinamico per l'ambiente e il paesaggio. in ISPRA - CATAP, Ambiente, paesaggio e infrastrutture, Volume III, ISPRA Manuali e Linee Guida n.78.1/2012
- BELLELLI L. et al., 2010, "Mitigazioni a verde con tecniche di rivegetazione e Ingegneria Naturalistica nel settore delle strade" In ISPRA - CATAP, Ambiente, paesaggio e infrastrutture. Volume I, Manuali e Linee Guida n.65/2010, ISPRA
- BENTIVENGA M. et al., 2010, "Interazione fra infrastrutture lineari e patrimonio geologico" In ISPRA - CATAP, Ambiente, paesaggio e infrastrutture. Volume I, Manuali e Linee Guida n.65/2010, ISPRA
- BLASI C. et al., 2010, "Analisi e progettazione botanica per gli interventi di mitigazione degli impatti delle infrastrutture lineari" In ISPRA - CATAP, Ambiente, paesaggio e infrastrutture. Volume I, Manuali e Linee Guida n.65/2010, ISPRA
- Bundesministerium fur Verkher, Bau-und Wohnungswesen Abteilungstrassenbau Strassenverkher Merkblatt zum Amphiebienschutz an Strassen. Allgemeines Rundschreiben Strassenbau n.2 - 2000
- Concessioni E Costruzioni Autostrade S.P.A. Capitolato speciale per l'esecuzione delle opere in verde necessarie alla manutenzione, conservazione e rinnovo delle piantagioni e degli spazi verdi dell'autostrada ed elenco prezzi unitari - 1986
- CORNELINI P.,1996: Interventi di rinaturazione in ambito fluviale con tecniche di ingegneria naturalistica. Tevere n.2: 22 - 28
- CORNELINI P., 1992. Problematiche ed esempi concreti relativi all'uso delle specie autoctone negli interventi di ripristino in ambito ferroviario. Verde Ambiente, suppl. n.6: 22-29.
- CORNELINI P., 2009 La palificata loricata. Acer n. 5
- CORNELINI P. Una nuova tipologia. La palificata viva tipo "Roma". Acer 1/2001
- CORNELINI P, Crivelli C. Palmeri F., Sauli G., 2001: Sistemazione idraulica di corsi d'acqua mediterranei . Acer n.2

- CORNELINI P, CRIVELLI C. SAULI G., 2001: Dal progetto al collaudo – Le sistemazione idrauliche del canale di Mergozzo (VB). Acer n.4
- CORNELINI P., FEDERICO C., PIRRERA G., 2009. Arbusti autoctoni mediterranei per l'ingegneria naturalistica. Primo contributo alla morfometria degli apparati radicali. Azienda Foreste Demaniali Regione Siciliana.
- CORNELINI P. FERRARI R. , 2008 Manuale di ingegneria naturalistica per le scuole secondarie. Regione Lazio
- CORNELINI P., PALMERI F., SAULI G., 2002. Le specie autoctone da impiegare negli interventi di ingegneria naturalistica. Acer n.6. Cornellini P. Ruggieri L. 2009 L'ingegneria naturalistica nella sistemazione idraulica e nella riqualificazione ambientale. Pag 21-24 De Rerum Natura - Rete delle Riserve Naturali d'Abruzzo
- CORNELINI P., SAULI G. 2005 Esperienze di sistemazioni idrauliche in ambito mediterraneo. Alberi e territorio n.7-8
- CORNELINI P. , SAULI G. Manuale di indirizzo delle scelte progettuali per interventi di difesa del suolo con tecniche di IN. PODIS Ministero Dell'Ambiente - 2005
- CORNELINI P., SAULI G. 2007 Atti Jornada: La Bioingeniería en la Restauración Fluvial del Paisaje Mediterráneo “La biongeniería en ámbito mediterráneo y fluvial. Problemática y resultados” Casa de Cultura Coma i Cros –Salt (Gerona) Espana 15 febrero
- CORNELINI P., SAULI G., 1991. Mantenimento della diversità biotica negli interventi di rinaturalizzazione con tecniche di ingegneria naturalistica. Atti Convegno Soc. Ital. di Ecologia “La diversità biotica nella valutazione di impatto ambientale”, L'Aquila, 29 maggio 1991: 75-82.
- Council of Europe Dispositifs pour la prévention des accidents de la route et des noyades chez les animaux vivant en liberté Naturopa documentation series n.22 - 1988
- DINETTI M. Fauna selvatica e strade: più sicurezza per uomo e natura - Bandecchi & Vivaldi – Pontedera - 1999
- DINETTI M. Infrastrutture ecologiche. Il Verde Editoriale - 2000
- DINETTI M. et al. Atti del convegno: “Infrastrutture viarie e biodiversità. Impatti ambientali e soluzioni di mitigazione”. Pisa, 25 novembre 2004. Provincia di Pisa e Lipu. Stylgrafica Cascinese, Cascina (PI) – 2005
- DINETTI M. Rischio di conflitto. Reti ecologiche l'impatto delle strade sulla fauna. Acer 1/2007 33-35
- DINETTI M. (a cura di) Infrastrutture di trasporto e biodiversità: lo stato dell'arte in Italia. Il problema della frammentazione degli Habitat causata da autostrade, strade, ferrovie e canali navigabili. I.E.N.E. (Infra-Eco-Network-Europe), sezione Italia – 2008
- FERRARI R. 2006- Quaderni di cantiere delle opere di ingegneria naturalistica e manuali di ingegneria naturalistica. Volumi 1 - 18. Regione Lazio.
- FLORINETH F. Prezzi 1994 per i lavori di IN. Azienda Speciale per la regolazione dei Bacini Montani, Bolzano - 1994
- FLORINETH F. Piante al posto del cemento. Il Verde Editoriale – 2007
- Forschungsgesellschaft für das Strassenwesen (Hrsg.) Richtlinien für die Anlage von Strassen RAS - Entwurf Köln – 1987
- GERBER F., LACHAT B. Aménagement de bassins de sécurité et gestion des batraciens en relation avec la construction de l'autoroute A16 à Porrentruy(Jura, Suisse) Ingenieurbiologie / Geniebiologique 1/04 47-52
- GERSTGRASER C. Ingenieurbiologische bauweisen an fliessgewässern Grundlagen zu bau, belastbarkeiten und wirkungsweisen. Österreichischer Kunst-und Kulturverlag - 2000
- KOEPEL H. Ingenieurbiologische bauweisen auf Stufe Planung und Projectierung. Ingenieurbiologie / Geniebiologique 4/09 23-29
- KOMPATSCHER P. Linee guida per la gestione sostenibile delle acque meteoriche. Agenzia provinciale per l'ambiente, ufficio tutela acque. Bolzano - 2008

- KRAUTZER B., PERATONER G., BOZZO F. Specie erbacee idonee al sito. Produzione del seme ed utilizzo per l'inerbimento in ambiente montano. Provincia di Pordenone – 2004
- KRELL K. Handbuch für Laermschutz an Strassen und Schienenwegen. Otto Elsner Verlagsgesellschaft – 1980
- MANFREDI A. La ricostruzione sostenibile. Il modello Versilia. Comunità Montana Alta Versilia – 2002
- Ministère des Transports Protection de la faune et de la circulation routière. S.E.T.R.A - 1981
- Ministère des Transports Impact des routes sur la végétation. Rapport du groupe de travail S.E.T.R.A - 1983
- Ministère de l'Équipement du logement, de l'aménagement du territoire et des Transports Routes et faunes sauvage, Actes du colloque. Strasbourg Conseil de l'Europe, 5-7 giugno 1985
- Ministère de l'Environnement et du cadre de vie et Ministère des Transports Bulletin Officiel, Fascicule special 80-50 bis, Cahier des clauses techniques générales. Fascicule 35, travaux d'espaces verts, d'aires, de sports et de loisirs, Travaux d'entretien Documents types, Paris - 1985
- Ministero Dell'ambiente, Servizio Via Commissione Via Linee guide per capitolati speciali per interventi di IN e lavori di opere a verde. Prestampa AIPIN- TS – 1997
- Ministero delle Infrastrutture e dei trasporti Strade e fauna selvatica: come migliorare la sicurezza Direzione generale della motorizzazione e della sicurezza del trasporto terrestre – 2002
- Ministry of Transport, PublicWorks and Watter Management Habitat fragmentation and Infrastructures. Proceedings of the International Conference on Habitat fragmentation, Infrastructure and the role of ecological engineering, 17-21 September 1995, Maastricht and the Hague, the Netherlands 1997. Road and Hydraulic Engineering Division DWW. 1997
- MÜLLER S. & G. BERTHOUD Sècuritè Faune/Traffics. Laboratoire des Voies De Circulation, ècole Polytechnique Federale de Lausanne - 1997
- PALMERI F. Et Al. Manuale tecnico di IN della Provincia di Terni. Applicabilità delle tecniche, limiti e soluzioni. PTCP Provincia di Terni – 2003
- PAOLANTI M., 2010, “Il trattamento dei suoli nei ripristini ambientali legati alle infrastrutture” In ISPRA - CATAP, Ambiente, paesaggio e infrastrutture. Volume I, Manuali e Linee Guida n.65/2010, ISPRA
- Regione Lombardia Deliberazione Giunta Regionale 29 febbraio 2000 - N. 6/48740 Approvazione direttiva "Quaderno opere tipo di IN. BUR della Lombardia 9 Maggio 2000 1° supplemento straordinario al n. 9 - 2000
- Regione Toscana Principi e Linee Guida per l'IN, Voll. 1 e 2, Collana Fiumi e Territorio – 2000 e 2001
- REYNOLDS P. Wildlife corridors and the mitigation of habitat fragmentation. European and North American perspectives Capreolus Wildlife Consultancy - 1998
- RÜMLER R. Ingenieurbiologische Bauweisen in Strassenbau. Strasse, Landschaft, Umwelt 3 -1980- 81 – 118-127
- SAULI G. Soil Biological Engineering Works in the Road Sector and their Applications in Different Climatic Conditions. The Environment In Road Location And Design. AIPCR Helsinki, 14-15 maggio 1998
- SAULI G. Utilisation du génie végétal pour la protection des berges en Italie. Séminaire transnational «au fil de l'eau» Berdes et rivières d'Europe Valence (F) 30/09 – 2/10 1998
- SAULI G. Casistica di interventi di IN: costi e risultanze. Atti del Convegno transnazionale "Efficacia e costi degli interventi di IN" EFIB - AIPIN Trieste 25-27 novembre 1999
- SAULI G. The transfer of soil bioengineering into new climatic, edaphic and floristic zones. Atti della Conferenza 1999 «Ground and Water Bioengineering for Erosion Control and Slope Stabilization» IECA Manila 19-21 aprile 1999
- SAULI G. Linee Guida sugli interventi di mitigazione delle grosse infrastrutture soggette a procedura V.I.A. Commissione V.I.A. Ministero Ambiente – 2003
- SAULI G., “Interventi di rivegetazione e ingegneria naturalistica nel settore delle infrastrutture di trasporto elettrico” In ISPRA - CATAP, Ambiente, paesaggio e infrastrutture. Volume III, , ISPRA Manuali e Linee Guida n.78.2/2012
- SAULI G., CORNELINI P., Preti F. Manuale d'IN applicabile al settore idraulico. Regione Lazio - 2002

- SAULI G., CORNELINI P., Preti F. Manuale 2 d'IN applicabile ai settori delle strade, cave, discariche e coste sabbiose. Regione Lazio - 2003
- SAULI G., CORNELINI P., Preti F. Manuale 3 d'IN Sistemazione dei versanti. Regione Lazio - 2006
- SAULI G. et al. Problemi e tecniche negli studi di impatto ambientale delle Grandi Opere. Colombo – 2006
- SAULI G. et al., 2010, “Mitigazioni a verde con tecniche di rivegetazione e Ingegneria Naturalistica nel settore delle strade” In ISPRA - CATAP, Ambiente, paesaggio e infrastrutture. Volume I, Manuali e Linee Guida n.65/2010, ISPRA
- SAULI G., SIBEN S. Tecniche di rinaturazione e di IN: esperienze europee. Patron – 1992
- SCHIECHTL H. M., STERN R. Bioingegneria forestale, basi, materiali da costruzione vivi, metodi. Castaldi - 1991
- SCHIECHTL H. M., STERN R. IN – Manuale delle costruzioni idrauliche. ARCA - 1994
- SCHIECHTL H. M., STERN R. IN, manuale delle opere in terra. Castaldi – 1992
- ZEH H. Et Al. Ingenieurbiologische Uferversauerungen, Bauweisen und Beispiele im Kanton Bern. Baudirektion des Kantons Bern – 1988
- ZEH H. Ingenieurbiologische Bauweisen. Studienbericht Nr. 4. Eidgenössisches Verkehrs und energiewirtschafts departement Bundesamt für Wasserwirtschaft – 1993
- ZEH H. Tecniche di IN. Rapporto di studio Nr. 4, 1993. Il Verde Editoriale - 1997
- ZEH H. Ingenieubiologie – Handbuch Bautypen (plurilingue). Hochschulverlag AG an der ETH Zurich 2007

Bibliografia di riferimento: BIOTECNICA

- CORNELINI P., PIRRERA G., FEDERICO C., 2008 Arbusti autoctoni mediterranei per l'ingegneria naturalistica. Primo contributo alla morfometria degli apparati radicali (pag. 331). Regione Siciliana
- CORNELINI P., SAULI G. 2007. Primo contributo ai modelli di calcolo delle opere stabilizzanti di ingegneria naturalistica . Acer n. 1
- CORNELINI P., DALLARI D., FLORINETH F., 2005 – Alternative vincenti: Protocollo di sperimentazione. Acer n., 76-77
- DANI A., PRETI F. (2007), Sulla stima del rinforzo radicale del terreno: andamenti temporali ed effetti sulla stabilità di versante con trattamenti selvicolturali, Quaderni di Idronomia Montana, 27, 295-310.
- FLORINETH F., 1999. Analisi del limite. Acer, n.4: 71-76.
- FLORINETH F., MEIXNER H., RAUCH H.P., VOLLSINGER S., 2003. Prove di forza, Ingegneria Naturalistica, n. 2: 73-78
- GALLOTTA A., GENTILE F., PUGLISI S. E ROMANO G., 2003 Primi risultati di una ricerca sulla resistenza meccanica degli apparati radicali nella stabilizzazione dei versanti in ambiente mediterraneo Quaderni di Idronomia Montana 21,1 , 337 348
- KUTSCHERA L., SOBOTIK M., 1997. Bewurzelung von Pflanzen in den verschiedenen Lebensräumen. Stapfia, 49.
- MATTIA C., BISCHETTI G.B., GENTILE F., 2005. Caratteristiche biotecniche degli apparati radicali di specie tipiche dell'ambiente mediterraneo, Quaderni di Idronomia Montana, 24: 213-227.
- PIRRERA G. 2006, “Protocollo per il rilievo in pieno campo e morfometria degli apparati radicali” - Appendice Tesi di Laurea Cuti Claudio Università degli studi di Palermo)
- TERRANOVA GABRIELA (A.A. 2001 – 2002) “Studio sperimentale sulla resistenza di radici di piante autoctone per la stabilizzazione dei pendii” – DICA - Università degli studi di Catania – Tesi di Laurea

Bibliografia di riferimento: TECNICHE

- CORNELINI P., 2001, “La palificata viva ROMA , una nuova tipologia di ingegneria Naturalistica”. Acer n.1
- CORNELINI P., 2007, “La palificata latina”. Acer n. 6
- CORNELINI P., 2009, “La nuova palificata viva loricata”. Acer n. 2
- CORNELINI P., 2011, “La palificata viva L’Aquila” . Acer n.3

Bibliografia di riferimento: BOTANICA

- APAT, 2005. La realizzazione in Italia del progetto europeo CORINE Land Cover 2000. Rapporti 36/2005.
- AA.VV. – GIS NATURA: il GIS delle conoscenze naturalistiche in Italia. DVD. Ministero dell’Ambiente della Tutela del Territorio, Direzione per la Protezione della Natura – Politecnico di Milano.
- BIANCO P.M., BLASI C. COPIZ R, CORNELINI P. ERCOLE S. ZAVATTERO L. - Analisi e progettazione botanica per gli interventi di mitigazione nelle infrastrutture lineari . Manuali e Linee Guida ISPRA n.65/2010
- BLASI C. et al. 2005. Stato della biodiversità in Italia, Palombi editori
- BLASI C., 1994 Fitoclimatologia del Lazio Regione Lazio
- BLASI C., La vegetazione d’Italia . Carta delle serie di vegetazione in scala 1:500.000 Palombi Ed.Roma
- BLASI C., CARRANZA M.L., FRONDONI R., ROSATI L., 2000 – Ecosystem classification and mapping: A proposal for Italian Landscapes. Applied Vegetation Science, 3: 233-242.
- BLASI C., DI PIETRO R., FILESI L, 2004 – Syntaxonomical revision of Quercetalia pubescenti-petraeae in the Italian peninsula. Fitosociologia 41
- BLASI C. MICHETTI - Biodiversità e clima in Stato della biodiversità in Italia, Palombi editori 2005
- CELESTI-GRAPOW L., PRETTO F., CARLI E., BLASI C. (eds.), 2010. Flora vascolare alloctona e invasiva delle regioni d’Italia. Casa Editrice Università La Sapienza, Roma.
- CONTI, ABBATE, ALESSANDRINI E BLASI An annotated Checklist of the Italian Vascular Flora – Ministero dell’Ambiente-Dipartimento di Biologia Vegetale Università Roma La Sapienza
- CORNELINI P.,1990 Macchia grande (Roma): un esempio di ripristino in ambito mediterraneo. Acer n.6 : 28-31
- CORNELINI P.,LOCHE P.,PANI F.,PETRICCIONE B.,SQUARTINI V.,1989 L'uso dell'informazione vegetazionale nella definizione della qualità ambientale. Inf.Bot.Ital.,vol.21 n.1-3 : 152-164
- CORNELINI P.,1992 : Problematiche ed esempi concreti relativi all'uso delle specie autoctone negli interventi di ripristino in ambito ferroviario. Verde Ambiente suppl. n.6 : 22-29
- CORNELINI P.,1994: Evoluzione della vegetazione erbacea dei rilevati ferroviari in: Ferrari,Manes,Biondi: Alterazioni ambientali ed effetti sulle piante. Edagricole, Bologna : 261 - 279
- CORNELINI P., PALMERI F., SAULI G., 2002: Le specie autoctone da impiegare negli interventi di ingegneria naturalistica Acer n.6
- CORNELINI P., SAULI G., 1991. Mantenimento della diversità biotica negli interventi di rinaturalizzazione con tecniche di ingegneria naturalistica. Atti Convegno Soc. Ital. di Ecologia “La diversità biotica nella valutazione di impatto ambientale”, L’Aquila, 29 maggio 1991: 75-82.
- CORNELINI e SAULI, 2005 - Manuale di indirizzo delle scelte progettuali per interventi di ingegneria Naturalistica. Ministero dell’Ambiente –PODIS .Poligrafico dello Stato.
- FILESI L. 2006 Generalità sulla vegetazione reale e sulle principali serie dinamiche del Lazio in Manuale di Ingegneria naturalistica applicata alle sistemazioni di versante Regione Lazio

PODANI 2001 - Package SYNTAX 2000

SCOPPOLA , BLASI 2005. Stato delle conoscenze sulla flora vascolare d'Italia. Palombi Editori

PIGNATTI S., 1983- La flora d'Italia Edagricole

PIGNATTI S. , 1995 Ecologia vegetale Utet

PIGNATTI S., 2005 - Valori di bioindicazione delle piante vascolari della Flora d'Italia. Braun-Blanquetia 39: 3-97.

SAULI G., CORNELINI P. PRETI F., 2006 - Manuale di Ingegneria naturalistica applicata alle sistemazioni di versante Regione Lazio

Bibliografia di riferimento: GEOLOGIA (O. Iacoangeli)

- C.N.R., 1989 “Carta Geologica del Complesso Vulcanico Sabatino” Capitolo 6 “progettazione geotecnica” delle N.T.C. 2008 e la sua Circolare esplicativa n. 617 del 2 febbraio 2009
- CETRARO F., 2007 “Ingegneria geotecnica e geologia applicata”. Ed. EPC Libri
- DE RITA, 1988 “Carta Geologica del Complesso Vulcanico dei Colli Albani (Vulcano Laziale)”
- DESIO A., 2003 “Geologia applicata all’ingegneria”. Ed. Hoepli
- FERRO V., 2008 “Sistemazione dei bacini montani e difesa del suolo”. Ed. Nuova Bios.
- GISOTTI G. e BENEDINI M., 2000 “Il dissesto idrogeologico”. Ed. Carocci
- GISOTTI G., 1995 “Principi di Geopedologia”. Ed. Calderini
- GUIDE GEOLOGICHE REGIONALI, 1993 “Lazio”. Ed. Be-Ma
- LEONE A., 2009 “Ambiente e territorio agroforestale – linee guida per la pianificazione sostenibile e gli studi di impatto ambientale”. Ed. Francoangeli
- MINISTERO DELLE POLITICHE AGRICOLE, ALIMENTARI E FORESTALI, 2006 “Metodi di valutazione dei suoli e delle terre”. Ed. Cantagalli
- ORDINE DEI GEOLOGI DEL LAZIO, 2011 “Linee guida e metodologie di lavoro per le attività geologiche connesse alla progettazione e alla realizzazione di parcheggi nel comune di Roma”
- PEREIRA, 1999, Boletim Técnico, Belo Horizonte – MG, Ano 01 – N.º 001 – Março 2006.
- PODESTÀ R., tesi 2013: “Analisi del paesaggio e della suscettività all’erosione (calcolo USLE e modelli applicativi di ingegneria naturalistica)”. Relatori: O. Iacoangeli, A. Leone, Laurea triennale in Progettazione e gestione dell’ambiente CLASSE 7. Università La Tuscia Agraria (VT) & Architettura Valle Giulia (RM).
- REGIONE LAZIO, 2006 “Manuale di Ingegneria Naturalistica; Sistemazione dei versanti” volume 3
- REGIONE LAZIO, 2013 “La nuova carta Idrogeologica della Regione Lazio”. Ed. S.EL.CA.
- STOPPANI F.S. e CURTI E., 1982 “I minerali nel Lazio”. Ed. Olimpia
- VALLARIO A., 1992 “Frane e Territorio”. Ed. Liguori

Sitografia

- <http://geofaculty.uwyo.edu>
- <http://www.geogrify.net/GEO1/Lectures/Weathering/MassWasting.html>
- <http://geolmarino.altervista.org/frane-in-basilicata>
- [www.dst.unipi.it/dst/santacroce/2009.18 - frane.pdf](http://www.dst.unipi.it/dst/santacroce/2009.18-frane.pdf)
- <http://www.afs.enea.it/protprev/www/>
- http://www.afs.enea.it/protprev/www/lineeguida2/definizione_frana.htm
- <http://www.entecra.it>
- <http://www.dpi.nsw.gov.au/agriculture/resources/soils/erosion>
- http://www.protezionecivile.fvg.it/ProtCiv/default.aspx/395-rischio_geomorfologico.htm