

5. I SETTORI DI INTERVENTO DELL'INGEGNERIA NATURALISTICA

Nei capitoli seguenti vengono esaminati i vari settori di applicazione dell' I.N. riportando una casistica con allegate schede tecniche relative a interventi esemplari.

Le schede sono la parte qualificante dello studio in quanto riportano, per la prima volta in Italia, una casistica non limitata a esperienze di una singola regione, ma estesa a livello nazionale con particolare riferimento alle regioni meridionali, risultato di esperienze progettuali degli autori e di tanti altri progettisti. I dati riportati nelle schede e le foto, tutte derivanti da sopralluoghi, sono aggiornati al periodo giugno 2003 - marzo 2004. In allegato sono riportati i compilatori delle schede.

5.1 IDRAULICA

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

5.1.1 Criteri di progettazione naturalistica

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

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

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

- Interventi di rinverdimento per la protezione antiersiva dei versanti per consentire l'aumento del tempo di corrivazione delle acque e la diminuzione del trasporto solido a valle.
- Realizzazione di casse d'espansione, per laminare i volumi di piena riducendone i picchi, ottenendo aree a vocazione naturalistica per l'aumento della biodiversità.
- Realizzazione di aree inondabili in corrispondenza dell'alveo, ampliando le sezioni idrauliche con la creazione di un alveo di magra con portata idraulica ed uno di piena allagato periodicamente.
- Interventi sul corso d'acqua tesi a diminuirne l'energia cinetica tramite la riduzione della pendenza. Al posto delle briglie in cemento, in molti casi si possono impiegare le briglie in legno e pietrame, eventualmente combinate con elementi vivi quali le talee di salice; per garantire, poi, la continuità biologica all'ittiofauna, ove le caratteristiche morfologiche dell'alveo lo consentano, è possibile realizzare, al posto delle briglie, le rampe in pietrame per la risalita dei pesci.

- Interventi nella parte alta del bacino per la realizzazione di tratti a raschi con massi sul fondo alternati con pozze, per incrementare la variabilità morfologica e, quindi, la biodiversità.
- Interventi antierosivi e di consolidamento sull'asta fluviale concepiti anche invertendo la tendenza alla riduzione delle aree di pertinenza del corso d'acqua.
- Interventi tesi ad eliminare i tratti rettificati dell'alveo che possono comportare un aumento dell'erosione a monte e del deposito a valle, con conseguente pericolo di esondazione e che comportano la perdita di habitat e la riduzione della biodiversità; favorire la meandricazione del corso d'acqua nei tratti compatibili, con conseguente asimmetria della sezione idraulica significa invece riproporre la morfologia naturale e aumentare le capacità depurative del corso d'acqua.
- Eliminazione dei tratti cementificati per spezzare l'isolamento tra l'acqua ed il substrato, ricostituendo il rapporto con la falda e rendendo possibile la rivitalizzazione del corso d'acqua.
- Realizzazione, ove possibile, di aree umide in corrispondenza delle immissioni dei canali di drenaggio o dei fossi affluenti
- Realizzazione, soprattutto nelle aree di pianura ad agricoltura intensiva, di fasce tampone di circa 10 m a lato delle rive per intercettare i nutrienti percolati dalle aree agricole.



Foto 5.1.1: Esempio di manutenzione idraulica effettuata secondo il DPR 14 aprile 1993 sul Rio Inferno (FR) quattro mesi dopo l'intervento (maggio 2000) - Foto P. Cornelini

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

- Pianificazione degli interventi di manutenzione non considerando, ove possibile, la vegetazione igrofila un ostacolo al rapido deflusso delle acque, bensì una risorsa non solo naturalistica, ma anche di interesse idraulico per la protezione flessibile dall'erosione (*DPR 14 aprile 1993 Atto di indirizzo e coordinamento alle regioni recante criteri e modalità per la redazione di programmi di manutenzione idraulica e forestale*).

In tabella 5.1.1 vengono riportati, a titolo di esempio, i benefici in termini di biodiversità derivanti da una gestione dei corsi d'acqua con l'approccio progettuale dell'ingegneria naturalistica.

Tabella 5.1.1: Ricadute ecologiche degli interventi idraulico-naturalistici (Cornellini e Sauli, Manuale sistemazioni idrauliche Regione Lazio)

<i>Tipo interventi</i>	<i>Azioni</i>	<i>Benefici ecologici in termini di biodiversità e nuove unità ecosistemiche</i>
<i>Modifiche morfologiche in alveo</i>	Demolizione tratti cementificati	Rivitalizzazione alveo con potenzialità per corridoi ecologici ed habitat acquatici e terrestri
	Realizzazione sinuosità con meandri	Habitat per macrobenthos, ittiofauna avifauna e fitocenosi igrofile
	Realizzazione isole	Stadi di vegetazione igrofila e terrestre, avifauna
	Allargamento sezione con realizzazione di golene e tratti a minor battente idrico	Popolamenti elofitici, habitat per anfibi ed avifauna
	Realizzazione alveo di magra per il deflusso minimo	Ittiofauna e macrobenthos
	Realizzazione sezioni asimmetriche	Stadi di vegetazione igrofila e terrestre, popolamenti elofitici, habitat per anfibi ed avifauna
	Realizzazione aree di espansione	Stadi di vegetazione igrofila, popolamenti elofitici, habitat per anfibi ed avifauna
	Realizzazione sponde a varie pendenze	Stadi di vegetazione igrofila e terrestre
	Realizzazione sponde ripide	Habitat per avifauna
	Realizzazione di rampe di risalita in pietrame o soglie basse in legname e pietrame	Continuità biologica per ittiofauna

<i>Tipo interventi</i>	<i>Azioni</i>	<i>Benefici ecologici in termini di biodiversità e nuove unità ecosistemiche</i>
<i>Modifiche morfologiche fuori alveo</i>	Realizzazione aree di espansione o laminazione	Stepping stones, stadi di vegetazione igrofila e terrestre, popolamenti elofitici, habitat per ittiofauna, anfibi ed avifauna
	Realizzazione piccole aree umide	Stepping stones, stadi di vegetazione igrofila e terrestre, popolamenti elofitici, habitat per ittiofauna, anfibi ed avifauna
	Realizzazione di ecosistemi filtro per la fitodepurazione	Stepping stones, stadi di vegetazione igrofila e terrestre, popolamenti elofitici, habitat per ittiofauna, anfibi ed avifauna
<i>Tecniche antierosive e di consolidamento delle sponde</i>	Impiego di tecniche di ingegneria naturalistica	Corridoi ecologici, boscaglia ripariale igrofila, cespuglieti igrofili, cespuglieti termomesofili, prati umidi habitat per avifauna e micromammiferi
<i>Riqualificazione ambiente fluviale fuori alveo</i>	Realizzazione di fasce boscate sul ciglio delle sponde anche con espropri	Corridoi ecologici, boscaglia ripariale igrofila, cespuglieti igrofili, cespuglieti termomesofili, prati umidi habitat per avifauna e micromammiferi

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

Nei progetti di sistemazione idraulica è necessaria, oltre alla descrizione dell'ambiente circostante, una valutazione della sua qualità ambientale al fine di meglio orientare le scelte progettuali. Se, ad esempio, la individuazione di tratti con presenza di vegetazione ripariale di pregio pone il problema della loro salvaguardia e conservazione, all'opposto la individuazione di tratti con forte pressione antropica pone il problema della loro riqualificazione ambientale.

La valutazione della qualità ambientale di un corso d'acqua scaturisce, nei rari casi nei quali è stata presa in considerazione, da indagini floristiche e vegetazionali che a partire dall'analisi di alcuni parametri (rarietà, naturalità, struttura, composizione floristica, etc.) si traducono in valutazioni gerarchiche ed in cartografie della qualità ambientale molto utili per la progettazione degli interventi di I.N.

Accanto a tali strumenti tradizionali fin dagli anni '80 del secolo scorso sono iniziate ricerche per la raccolta delle informazioni ecologiche dei corsi d'acqua tramite schede a domande predisposte collegate al RCE-I (Riparian Channel Environmental Inventory di Petersen, 1987), al RCE-2 (Siligardi e Maiolini, 1993) ed all'I.F.F. (Indice di Funzionalità Fluviale dell'A.N.P.A., 2001), di notevole interesse applicativo.

La scheda allegata (Cornellini e Sauli, Manuale sistemazioni idrauliche Regione Lazio, 2002) si propone quale ulteriore contributo alla valutazione della qualità ambientale di un corso d'acqua; tale scheda, che trae utili riferimenti dalle citate ricerche ed in particolare, dal manuale dell'A.N.P.A., propone una indagine semplificata e speditiva per valutare l'ambito di un intervento di I.N. nel territorio.

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

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

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

Per la sua compilazione si richiedono soprattutto conoscenze naturalistico-vegetazionali.

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

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

La compilazione prevede, nella parte del corso d'acqua interessato dagli interventi di sistemazione idraulica, la identificazione di tratti di caratteristiche omogenee per ognuno dei quali va compilata una scheda con relativa foto. Le schede possono essere riportate in tabelle di rilievi, nelle quali ad ogni 2 colonne (sponda DX e SX) corrisponde un tratto del corso d'acqua.

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

**Scheda di valutazione della qualità ambientale di un corso d'acqua
(Cornellini e Sauli 2002)**

Scheda n°

Foto n°

Data

Corso d'acqua

Comune

Località

Altitudine

Lunghezza tratto esaminato

Osservazioni

Sponda	Sx	Dx
1 Territorio terrestre circostante		
Boschi autoctoni, vegetazione potenziale	16	16
Cespuglieti, boscaglie autoctone	8	8
Incolti, prati pascoli, formazioni legnose sinantropiche	4	4
Colture agrarie	2	2
Aree urbanizzate	1	1
2 Vegetazione fasce ripariali		
2.1 formazioni arboree ripariali autoctone (saliceti, ontaneti, pioppeti)	16	16
2.2 formazioni arbustive ripariali autoctone (saliceti, cespuglieti igrofilo), popolamenti elofitici, cariceti, formazioni erbacee igrofile, formazioni arboree sinantropiche con significative presenze di esemplari di 2.1	8	8
Incolti, prati pascoli, formazioni sinantropiche (robinieti, roveti, canneti ad <i>Arundo donax</i>)	4	4
Colture agrarie	2	2
Assenza di vegetazione per cause naturali o antropiche	1	1
3 Ampiezza fascia ripariale		
Fascia ripariale autoctona (2.1.2.2) maggiore di 30 m	16	16
Fascia ripariale autoctona (2.1.2.2) 5 -30 m	8	8
Fascia ripariale autoctona (2.1.2.2) 1 -5 m	4	4
Assenza fascia ripariale autoctona (2.1.2.2)	1	1
4 Continuità fascia ripariale		
Fascia ripariale autoctona (2.1.2.2) senza interruzioni	16	16
Fascia ripariale autoctona (2.1.2.2) con interruzioni saltuarie	8	8
Fascia ripariale autoctona (2.1.2.2) con interruzioni frequenti	4	4
Assenza fascia ripariale autoctona (2.1.2.2)	1	1
	alveo	
5 Vegetazione nell'alveo bagnato		
Assenza di vegetazione per elevate velocità dell'acqua o presenza di macrofite acquatiche non indicatrici di carico organico, acque non inquinate	8	
Presenza di macrofite acquatiche indicatrici di carico organico, acque mediamente inquinate	4	
Elevata copertura di macrofite eutrofiche, acque altamente inquinate	1	

I settori di intervento dell'ingegneria naturalistica

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

<i>Classe di qualità</i>	<i>Valori</i>	<i>Giudizio</i>	<i>Colore</i>
V	8-30	Pessima	Rosso
IV	31-52	Bassa	Arancio
III	53-74	Media	Giallo
II	75-96	Buona	Verde
I	97-120	Elevata	Blu

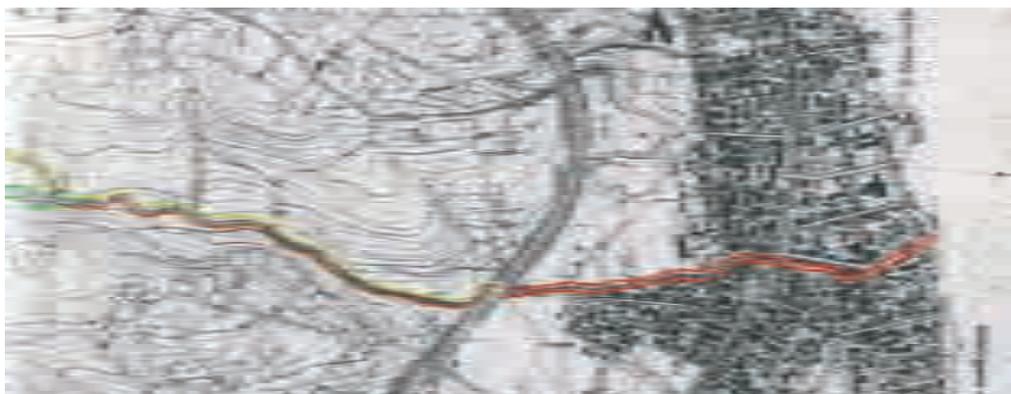


Figura 5.1.2: Applicazione della scheda alla valutazione della qualità ambientale del Fosso Ponton del Castrato a Santa Marinella (Roma). Per gentile concessione dell'ing. Dario Colusso

5.1.3 Scelta delle tipologie di intervento

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

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

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

Tenendo conto che esistono, comunque, dei limiti tecnici di impiego delle tecniche di ingegneria naturalistica, in tabella 5.1.2 e figure 5.1.3 vengono formulate e raffigurate proposte esemplificative (quindi non direttamente applicabili a qualunque corso d'acqua) per la scelta delle tipologie di intervento con tecniche di I. N., basate semplicemente su valori indicativi della velocità, della corrente e del diametro del trasporto solido.

Nelle zone montane, in alveo sono possibili interventi solo con opere rigide o con massi o pietrame, mentre sui versanti instabili sono validi gli interventi con opere vive stabilizzanti (gradonate vive, fascinate vive, etc.) o combinate (palificate, grate vive, etc), che aumentano i tempi di corrivazione e riducono il trasporto solido. Per quanto riguarda gli interventi di sistemazione dei versanti e degli impluvi montani si rimanda al capitolo 5.2.

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

Legenda della tabella 5.1.2

- A: cordonata, cuneo filtrante, fascinata, gabbionata, geocella a nido d'ape, gradonata, grata viva su scarpata, materasso verde, messa a dimora di arbusti, messa a dimora di talee, muro cellulare rinverdito, palificata viva, palizzata, rivestimenti in rete metallica e stuoia, semina, semina potenziata, stuoie su versante, viminata;
- B: blocchi incatenati, muro a secco rinverdito, muro cellulare rinverdito, opere rigide in cls, gabbionata spondale rinverdita;
- C: B + Rampa a blocchi;
- D: gabbionata spondale, materasso rinverdito, muro cellulare rinverdito, palificata viva spondale, pennello vivo;

E: biostuoia, biofiltro, blocchi incatenati, copertura diffusa con ramaglia viva, fascinata viva, gabbionata rinverdita, geocomposito in rete met. e geostuoia trid., geostuoia trid. sintetica bitumata, geostuoia trid. sintetica, gradonata viva, grata viva, graticciata di ramaglia, materasso rinverdito, messa a dimora di talee legnose, muro a secco rinverdito, muro cellulare rinverdito, palificata viva, pennello vivo, piantagione di arbusti, rampa a blocchi, ribalta viva, rulli spondali, semina, idrosemina, semina a spessore, terre rinforzate verdi, trapianto di cespi e rizomi, traversa viva, viminata viva;

F: ampliamento sezione, casse di espansione;

G: F + recupero vecchi meandri;

H: G + impaludamento aree foce;

L: rampa a blocchi;

M: L + scale di risalita;

Tabella 5.1.2: Indicazioni di massima per le scelte tipologiche degli interventi di ingegneria naturalistica nelle sistemazioni idrauliche

<i>Velocità della corrente</i>		<i>> 6 m/s</i>	<i>da 3 fino a 6 m/s</i>		<i>< 3 m/s</i>	
<i>Diametro medio trasporto solido</i>		Tutti i diametri	> 20 cm	da 5 fino a 20 cm	da 1 fino a 5 cm	< 1 cm
<i>Natura del fondo</i>		Ghiaia, ciottoli, massi	Ghiaia e ciottoli		Sabbia, ghiaia	Limo, sabbia
<i>Tipologia interventi</i>	Stabilizzazione versanti	A				
	Rivestimento / consolidamento sponde	B	C	D	E	
	Modifiche morfologia corso d'acqua		F	F	G	H
	Rinaturazione ricostruzione biotopi umidi			Parziale	Buona	Ottimale
	Provvedimenti uso faunistico	L		M	M	

Fonte: Da Chieu - Sauli 'Piano stralcio per il bacino del F. To ce' 1993 (modificato)

Tabella 5.1.2 bis: Selezione delle tecniche in funzione della velocità della corrente (i numeri si riferiscono alle figure 5.1.3A e 5.1.3B)

<i>Velocità della corrente</i>	<i>Consolidamento/rivestimento sponde Con tecniche di I.N.</i>
< 3 m/sec	1 - Biostuoia in fibra vegetale 2 - Geostuoia tridimensionale sintetica 3 - Geostuoia tridimensionale sintetica bitumata in opera a freddo 4 - Geostuoia tridimensionale sintetica prebitumata industrialmente a caldo 5 - Messa a dimora di talee legnose 6 - Trapianto di cespi e rizomi 7 - Piantagione di arbusti 8 - Copertura diffusa 9 - Fascinata viva 10 - Viminata spondale 11 - Graticciata di ramaglia 12 - Ribalta viva 13 - Rullo spondale 14 - Grata viva 15 - A - palificata viva spondale semplice B - palificata viva spondale doppia C - palificata spondale con palo verticale D - palificata viva spondale <i>tipo Roma</i>
3÷6 m/sec	16 - Pennello vivo 17 - Materasso spondale rinverdito 18 - Terra rinforzata rinverdita 19 - Gabbionata spondale rinverdita 20 - Palizzata viva in putrelle e traverse
> 6 m/sec	21 - Muro cellulare in cls rinverdito 22 - Scogliera rinverdita 23 - Blocchi incatenati 24 - Rampa a blocchi

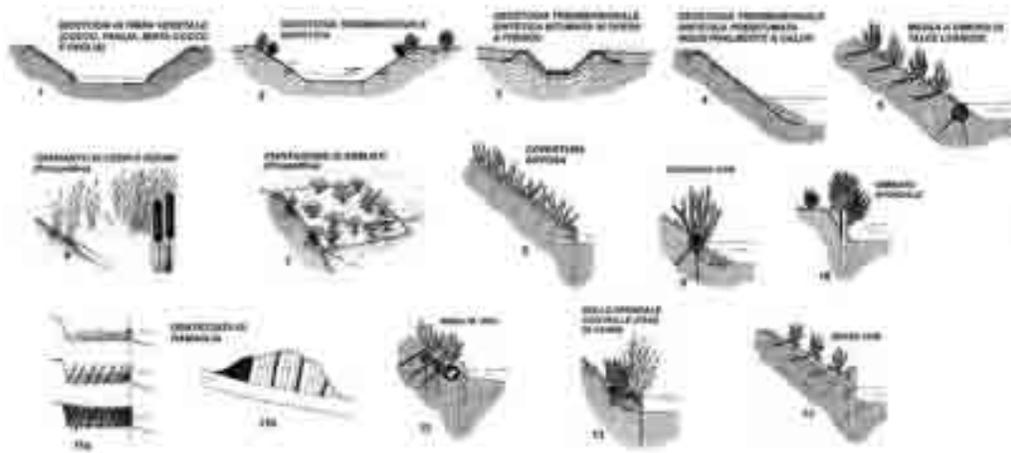


Figura 5.1.3A: Interventi IN in ambito idraulico

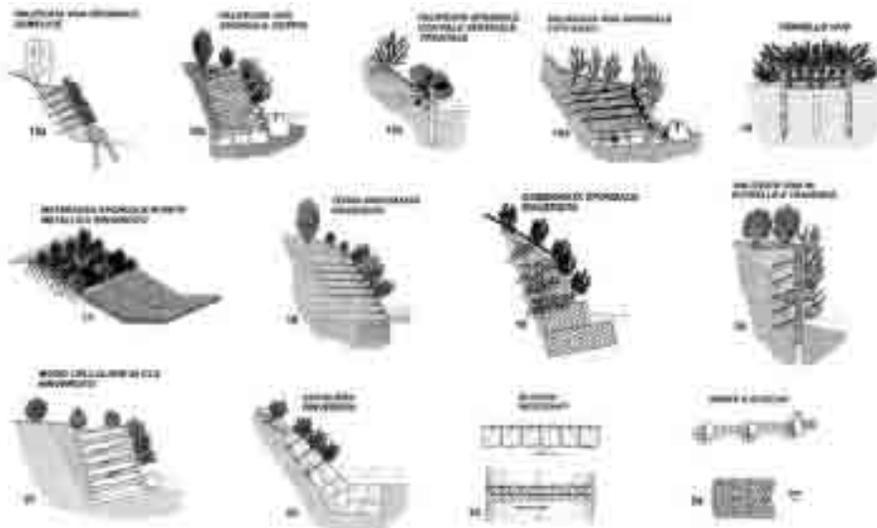


Figura 5.1.3B: Interventi IN in ambito idraulico

5.1.4 Valutazione della scabrezza in presenza di vegetazione

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

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

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

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

Nella tabella 5.1.3 si riportano alcuni valori del coefficiente di scabrezza ricavati da vari manuali di idraulica.

Tabella 5.1.3: Coefficiente di scabrezza k_s per la formula di Gauckler-Strickler o Manning (Manuale delle sistemazioni idrauliche della Regione Lazio)

($k_s = 1/n$) per i corsi d'acqua naturali

Tipo di alveo	Coefficiente di Strickler k_s [$m^{1/3} s^{-1}$]
Corsi d'acqua naturali (tirante idrico < 3.5m)	
Corsi d'acqua con ciottoli e ghiaia.	35
Corsi d'acqua di pianura puliti, rettilinei, in piena senza scavi localizzati.	33 (40÷30)
Corsi d'acqua con alveo mobile o in roccia con sporgenze.	30

<i>Tipo di alveo</i>	<i>Coefficiente di Strickler ks [m^{1/3} s⁻¹]</i>
<i>Corsi d'acqua naturali (tirante idrico < 3.5m)</i>	
Corsi d'acqua di pianura puliti, rettilinei, con sassi e sterpaglia.	29 (33÷25)
Corsi d'acqua montani, senza vegetazione in alveo, sponde ripide, alberi e cespugli lungo le sponde sommergibili durante le piene con fondo in ghiaia, ciottoli e massi sparsi.	25 (33÷20)
Corsi d'acqua di pianura puliti, ondulati con buche e banchi	25 (30÷22)
Corsi d'acqua di pianura puliti, ondulati con buche, banchi, cespugli e pietre.	21 (29÷17)
Corsi d'acqua montani, senza vegetazione in alveo, sponde ripide, alberi e cespugli lungo le sponde sommergibili durante le piene con fondo in ciottoli e massi grossi.	20 (25÷14)
Torrenti di montagna con letto irregolare e con grossi massi.	17÷12
Corsi d'acqua di pianura in tratti lenti, con sterpaglia e buche profonde.	14 (20÷12)
Corsi d'acqua di pianura in tratti molto erbosi, con grossi arbusti, cespugli e buche profonde.	10 (13÷7)

I metodi proposti in letteratura per il calcolo della scabrezza equivalente della sezione si riconducono essenzialmente alla suddivisione della sezione trasversale in subsezioni e ad un'operazione di media pesata delle scabrezze caratteristiche di ciascuna subsezione. (Chow, 1959, Armanini, 1999).

Tra i metodi più diffusi il metodo di Lotter (Chow, 1959) che suddivide la sezione trasversale in N subsezioni, con i relativi coefficienti di scabrezza n , secondo linee ideali di separazione verticali prive di attrito.

Il coefficiente di Manning dell'intera sezione n_c può essere valutato secondo la formula di Lotter:

$$n_c = \frac{PR^{5/3}}{\sum_{i=1}^N \frac{P_i R_i^{5/3}}{n_i}}$$

con P = perimetro bagnato dell'intera sezione [m]

R= raggio idraulico

e la portata totale è pari alla somma delle portate delle subsezioni.

Il metodo di Lotter trascura l'effetto di resistenza al moto offerto dalle zone laterali vegetate sulla zona centrale, per cui Armanini et al. hanno proposto una quantificazione di tale effetto come una frazione non trascurabile (circa 1/3) del coefficiente di scabrezza caratteristico della vegetazione (Armanini, 1999).

5.1.5 Parametri idrologici da considerare nel calcolo delle opere di I.N.

Ai fini della progettazione delle opere idrauliche di ingegneria naturalistica risulta essenziale la stima di alcuni parametri idrologico-idraulici ed, in particolare:

- **una portata di piena detta "medio annuale"**, da cui si ricava un corrispondente livello di piena "medio annuale" al di sopra del quale è possibile l'utilizzo di tecniche di ingegneria naturalistica con le piante vive che, anche in

assenza di forti energie idrauliche, morirebbero per asfissia a causa della sommersione prolungata. Tale livello, oltre che da analisi di tipo idraulico che considerino incompatibile con la sopravvivenza delle piante periodi di sommersione superiori a 7÷10 giorni consecutivi, può essere ricavato da analisi di campagna sul *pattern* spaziale della vegetazione igrofila arbustiva presente in alveo. Si tratta, in tal caso, di considerare nelle sezioni significative dei vari tratti di progetto (articolando le analisi nella parte alta, media ed inferiore del bacino), le specie arbustive igrofile come indicatore ecologico del livello di piena medio annuale. Tali specie, infatti, occupano uno spazio ecologico nella sezione dell'alveo subito al di sopra di tale livello in quanto non tollerano periodi di sommersione superiori a circa 7÷10 giorni, ma resistono alle sommersioni delle piene straordinarie che sono di breve durata. La loro presenza, quindi, in un punto della sezione idraulica indica che lì hanno avuto il tempo di crescere senza troppo disturbo da parte delle piene e che sopra quel livello si può intervenire con le opere vive.

- **le portate di piena di riferimento per le opere di sistemazione idraulica da cui derivano le forze di trascinamento agenti sulle strutture.** I valori individuati nei vari Piani delle Autorità di Bacino fanno riferimento a tempi di ritorno di circa 100-200 anni nelle aree a rischio ex DL 180/98; tali tempi sono tuttavia riducibili a 15-25 anni nei corsi minori e nelle aree di bonifica.

Il livello idrico trentennale (Q30) viene riportato nel D.P.R. 14 aprile 1993 con riferimento agli interventi di manutenzione idraulica negli alvei. Secondo tale decreto sarebbero da rimuovere dalle sponde e dagli alvei attivi le alberature di ostacolo al regolare deflusso presenti al di sopra del livello di piena trentennale, *“tenuto conto della loro influenza sul regolare deflusso delle acque, nonché di quelle pregiudizievoli per la difesa e conservazione delle sponde salvaguardando, ove possibile, la conservazione dei consorzi vegetali che colonizzano in modo permanente gli habitat ripari e le zone di deposito alluvionale adiacenti, prevedendo al tempo stesso la rinaturazione delle sponde, intesa come protezione al piede delle sponde dissestate od in frana con strutture flessibili spontaneamente rinaturabili; il restauro dell'ecosistema ripariale, compresa l'eventuale piantagione di essenze autoctone”*;

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

γ = peso specifico dell'acqua

R = raggio idraulico

i = pendenza dell'alveo

o, per sezioni con un rapporto tra larghezza e la profondità superiore a 30:

$\tau_w = \gamma h i$

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

Tali valori vanno confrontati nei vari tratti dell'alveo con le massime tensioni tangenziali resistenti ammissibili per le strutture di progetto, verificando sempre che sia

$$\tau_r > \tau_w$$

Si riporta in proposito lo schema grafico:

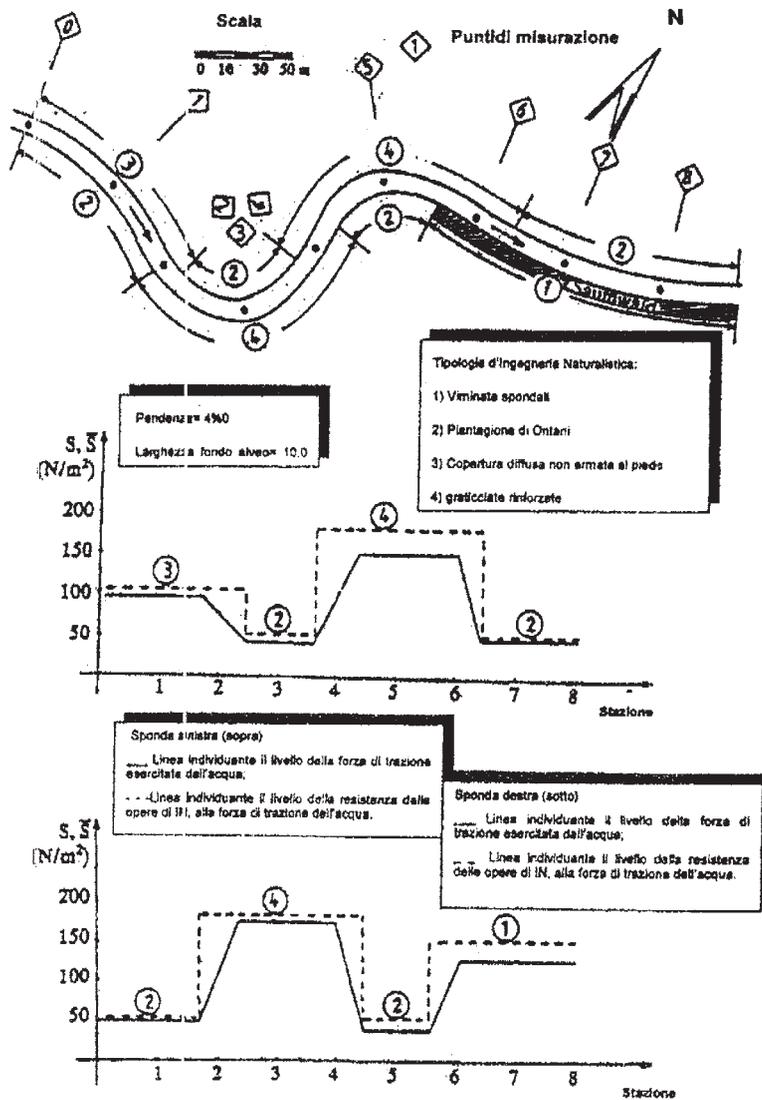


Figura 5.1.4: Diagramma mostrante la forza di trazione esercitata dall'acqua sulle diverse sponde del corso d'acqua (Johannsen modificato, Manuale di Ingegneria Naturalistica Prov. Terni)

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

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

Per quanto riguarda i valori della massima resistenza al trascinamento delle opere di ingegneria naturalistica, si riportano i valori di tabella 5.1.4 ricavati da dati bibliografici e sperimentazioni.

Tabella 5.1.4: Resistenza all'erosione delle principali opere idrauliche di ingegneria naturalistica

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

Sigle:

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



Foto 5.1.5: Rinaturazione di briglia in cemento con rampa a blocchi sul F. Tanagro (ottobre 2003) - Foto P. Cornelini

Interventi di sistemazione idraulica e rinaturazione sul F. Tanagro (Consorzio di Bonifica Vallo di Diano)**Specificità dell'intervento**

Trattasi di uno dei principali esempi di uso esteso di tecniche di ingegneria naturalistica nell'attività di un Consorzio di Bonifica

Provincia / Comune/ Località

SA / Polla, Sala Consilina, Padula, Buonabitacolo / Fiume Tanagro

Altitudine slm / Inclinazione longitudinale alveo / Q

450 m / 0,6-1 per mille / Q media 10 mc/sec, Q max 440 mc/sec.

Lineamenti vegetazionali

Aree agricole bonificate a foraggiere, seminativi e orti

Lineamenti geomorfologici

Pianura alluvionale del F. Tanagro

Obiettivo dell'intervento

Rinaturazione fluviale, consolidamento spondale, manutenzione idraulica

Tipologie e dimensioni dell'intervento

Rinaturazione con demolizione della savanella in cemento (L 300 m) e sua sostituzione con savanella in pietrame a secco D 40 cm (loc. Mesola, Sala Consilina).

Realizzazione di sbarramento con briglia in gabbioni h 2 m L 40 m con 2 rampe in pietrame per i pesci (pendenza 8-10%) delimitate lato alveo da gabbioni; lo sbarramento e la eliminazione fino a quota acqua dell'argine centrale di separazione tra il Tanagro e lo scolmatore di piena parallelo hanno portato alla formazione a monte di aree umide per una lunghezza di 600 m; le isole e le penisole dovute ai processi di sedimentazione naturali sono state colonizzate dalla vegetazione spontanea igrofila fino allo stadio del saliceto arboreo con altezze di oltre 10 m (loc. Mesola, Sala Consilina). Tre rampe di risalita per pesci L 20 m costruite, davanti a briglie in cemento h 1,8 m, con massi sciolti calcarei 0,3-0,4 mc; al piede è stata realizzata una fondazione incassata sul fondo alveo, profonda 1,5 m e larga 1,5 m, riempita con massi di 1 mc (loc. Caiazzano, Padula). Palificate Vallo di Diano h 3 m L 1000 m

Scogliera rinverdita h 3 m L 160 m con massi D 1 m (loc. ponte sez.41, Sassano).

Grata viva spondale h 4 m L 40 m fondata su palificata viva h 1,4 m (loc. Fossato Maltempo, Polla).

Manutenzione idraulica secondo DPR 14 aprile 1993 a rive alterne (L 16.000 m).

Materiali morti impiegati

Massi calcarei, rete metallica per gabbioni, tronchi di castagno scortecciati D 15-25 cm

Specie vegetali impiegate

Talee e ramaglia di *Salix alba*, *Salix alba varietas vitellina*, *Salix purpurea*

Periodo dei lavori

A partire dal 1994. Le palificate Vallo di Diano vengono realizzate dagli anni '30 del secolo scorso.

Osservazioni

Gli interventi di rinaturazione in loc. Mesola hanno raggiunto perfettamente l'obiettivo: la savanella in pietrame si è rinaturata spontaneamente con la colonizzazione di salici e fragmiteti sulle sponde che hanno realizzato, con uno sviluppo spaziale differenziato nella sezione trasversale dell'alveo, una morfologia longitudinale dell'alveo non rettilinea.

A monte dello sbarramento si è creata una zona umida di acque calme con sviluppo di elofite e popolamenti arborei igrofili a salici e pioppi di notevole valore naturalistico e paesaggistico.

Le palificate Vallo di Diano impiegate da circa 70 anni dal Consorzio di Bonifica hanno raggiunto l'obiettivo del consolidamento spondale e ormai non si riconoscono più per lo sviluppo della parte viva e per la decomposizione del legno. Sono riconoscibili nella struttura solo quelle realizzate negli ultimi anni.

Nella grata viva in loc. Fossato Maltempo (realizzata nel maggio 2000) la copertura dei salici è totale e i getti con D 1-8 cm raggiungono i 5 m di lunghezza.



Foto 1: Rinaturalizzazione del tratto in cemento demolito sul F. Tanagro (ottobre 2003) - Foto P. Cornellini



Foto 2: Realizzazione area umida a monte dello sbarramento del F. Tanagro (ottobre 2003) - Foto P. Cornellini



Foto 3: Palificate Vallo di Diano sul F. Tanagro a due anni dalla realizzazione (ottobre 2003) - Foto P. Cornelini

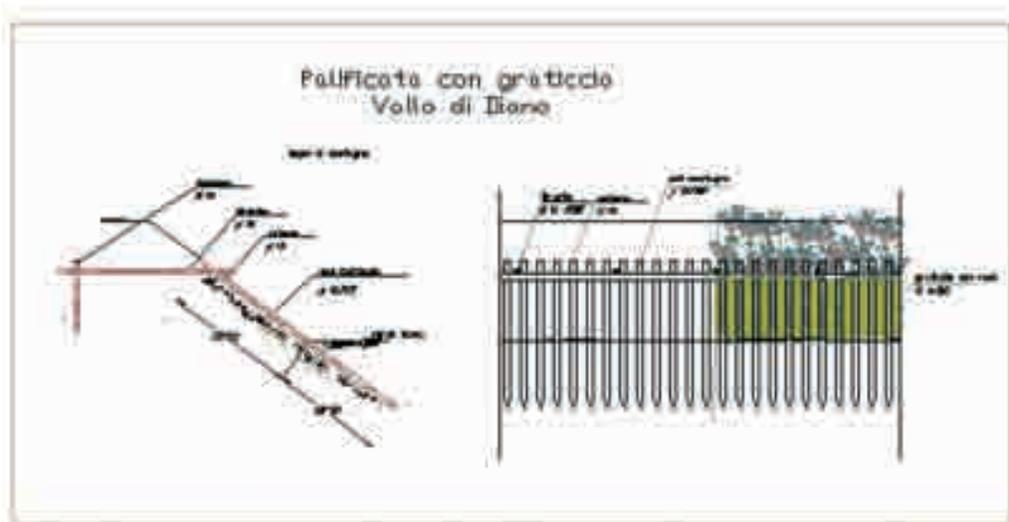


Figura 4: Palificate Vallo di Diano (per gentile concessione dell'ing. M. Alliegro)

<p>Piana della Lacina (CZ, VV)</p> <p>Specificità dell'intervento</p> <p>Lo sbarramento del F. Alaco a Mamone (CZ), opera prevista dalla Cassa per il Mezzogiorno, ha lo scopo fornire acqua potabile a 88 comuni delle Provincie di Catanzaro, Reggio Calabria e Vibo Valentia, per complessivi 142 centri abitati.</p> <p>Durante i lavori di costruzione della diga (1997) fu attivata la procedura V.I.A., in quanto la piana risultò inclusa nell'elenco dei siti di importanza comunitaria (S.I.C.), rendendo necessaria la completa revisione del progetto e il rinnovo di tutto il suo iter approvativo.</p> <p>Gli studi pluridisciplinari (flora e vegetazione, flora briofitica, entomofauna ed erpetofauna, pedologia, ecologia degli habitat e microhabitat e deflusso minimo vitale), effettuati nel 1998 e nel 2001 con il contributo fondamentale di studiosi dell'Università di Cosenza, hanno dimostrato la possibilità, a seguito della realizzazione dell'invaso della diga, della conservazione di lembi significativi di tutte le unità ecosistemiche di pregio presenti nella piana, tra cui relitti glaciali di torbiere di tipo alpino. Sono in corso all'Università di Siena studi paleo-palinologici sulle carote estratte nella piana. Gli interventi di ingegneria naturalistica realizzati nel 2001 e 2002, che si propongono come procedure-tipo di nuova concezione per la minimizzazione degli impatti ambientali connessi alla realizzazione di dighe in montagna, hanno consentito l'adempimento alle prescrizioni del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio</p> <p>Provincia / Località</p> <p>VV, CZ / Piana della Lacina</p> <p>Altitudine slm</p> <p>990 m circa</p> <p>Lineamenti vegetazionali</p> <p>Aree umide di pregio rarissime con cariceti a <i>Carex rostrata</i>, <i>Carex stellulata</i>, <i>Carex vesicaria</i>, <i>Carex fusca</i>, formazioni a <i>Menyanthes trifoliata</i> uniche in Calabria, torbiere a <i>Sphagnum subnitens</i> e <i>Sphagnum fallax</i>, popolamenti arborei ad <i>Alnus glutinosa</i></p> <p>Caratteristiche della diga</p> <p>Diga in calcestruzzo alta 50 m e lunga 180 m; capacità utile di invaso di 30 milioni mc.</p> <p>Obiettivo dell'intervento</p> <p>Salvaguardia e conservazione delle unità ecosistemiche di elevatissimo valore naturalistico che sarebbero state sommerse dall'invaso della diga.</p> <p>Tipologie e dimensioni dell'intervento</p> <p>Formazione di 4 argini in terra a protezione degli habitat di pregio presenti ai margini dell'invaso (A1: L 30m, h 3,5 m; A: L 125 m, h 7,5 m; B: L 140 m, h 4 m; C: L 130 m, h 5 m)</p> <p>Trapianto di zolle di formazioni erbacee (370 mq di ecocelle) e di zolle di 200 arbusti autoctoni (<i>Genista anglica</i> e <i>Cytisus scoparius</i>) sulle scarpate esterne degli argini</p> <p>Idrosemina sugli argini (5000 mq)</p> <p>Trapianti, al di sopra del limite dell'invaso, di significativi lembi delle unità ecosistemiche di pregio che sarebbero state sommerse: torbiera a sfagni (65 mq), cariceti (25 mq), rizomi di <i>Menyanthes trifoliata</i> (16 mq) e 28 ceppaie di <i>Alnus glutinosa</i>, realizzando nel complesso una fascia di 90 m di lunghezza e 6 di larghezza</p> <p>Realizzazione di 5 pozze per anfibi di 100 mq circa l'una per l'aumento della biodiversità faunistica</p> <p>Mezzi meccanici impiegati per i trapianti</p> <p>Scavatore cingolato Caterpillar 225 da 400 q.li, trattore gommato Fiat 480 50 CV, trattore Same Explorer 90 turbo 90 CV, rimorchi da 30 e 70 q.li di carico</p> <p>Periodo dei lavori</p> <p>Novembre 2001- febbraio 2002 per i trapianti; ottobre 2002 per gli argini</p>
--

Osservazioni

I trapianti dei lembi di torbiera a sfagni, dei cariceti, dei rizomi di *Menyanthes trifoliata* e degli 28 ontani sono riusciti. Analogamente il trapianto di 370 mq di ecocelle erbose e di circa 200 arbusti di *Genista anglica* e *Cytisus scoparius* sugli argini. L'idrosemina dovrà essere ripetuta per le sfavorevoli condizioni dell'estate 2003.



Foto 1: Realizzazione di laghetto per la biodiversità faunistica (novembre 2002) - Foto P. Cornelini



Foto 2: Argine in terra per la protezione di habitat di pregio destinati alla sommersione (novembre 2002) - Foto Notaro



Foto 3: Rinaturalizzazione del paramento di un argine con trapianti di zolle ed ecocelle (giugno 2002) - Foto P. Cornelini



Foto 4: Trapianto di ecocelle di cariceti rari (novembre 2001) - Foto P. Cornelini



Foto 5: Attecchimento delle ecocelle di **Menyanthes trifoliata** trapiantate (giugno 2002) - Foto P. Cornolini

Vieste (FG)
Specificità dell'intervento
Interventi di rinaturalizzazione di un corso d'acqua mediterraneo nel Parco Nazionale del Gargano con tecniche di I.N.
Provincia/ Comune/ Località
Foggia / Vieste / Molinella , torrente Macinino, canale della palude Mezzane
Altitudine slm / Esposizione / Inclinazione spondale
2 m / Sud-Ovest / 66 %
Lineamenti vegetazionali
<i>Phragmitetum australis</i> , <i>Oleo-lentiscetum</i>
Lineamenti geomorfologici
Area di fondovalle alluvionale in prossimità del mare
Obiettivo dell'intervento
Consolidamento spondale a protezione della soprastante strada vicinale, riqualificazione ambientale, anche con la diversificazione morfologica, per favorire l'aumento della biodiversità vegetazionale e faunistica
Tipologie e dimensioni dell'intervento
Palificata doppia spondale h 1,80 m, L 320 m e scogliera in massi rinverdata h 2,10 m L 20 m
Materiali morti impiegati
Pali di castagno D 15-20 cm e massi ciclopici
Specie vegetali impiegate
Talee e fascine di <i>Tamarix gallica</i> e <i>T. africana</i> ; piante radicate di <i>Phillyrea latifolia</i> , <i>Myrtus communis</i> , <i>Pistacia lentiscus</i> , <i>Teucrium fruticans</i> , <i>Viburnum tinus</i> , <i>Atriplex halimus</i> , <i>Spartium junceum</i> , <i>Laurus nobilis</i> .
Periodo dei lavori
Marzo-aprile 2003
Osservazioni
Ottimo l'attecchimento sia delle talee che degli astoni di <i>Tamarix</i> , frequentemente innaffiate nei mesi estivi; soddisfacente anche l'attecchimento delle piantine radicate



Foto 1: Tratto con palificata viva a fine lavori (marzo 2004) - Foto C. Bonelli



Foto 2: Messa a dimora di talee di tamerici nella palificata viva (marzo 2004) - Foto C. Bonelli

Mattinata (FG)
Tratto sperimentale di sistemazione con tecniche di I.N. nella valle del torrente Carbonara
Specificità dell'intervento
Cantiere didattico finalizzato alla sperimentazione ed alla formazione di maestranze
Provincia/ Comune/ Località
Foggia /Mattinata/ Valle Carbonara
Altitudine slm /Esposizione/Inclinazione
5 m / 50 m di tipologie realizzate con esposizione nord e 50 m delle stesse con esposizione sud / inclinazione del versante 40%
Lineamenti vegetazionali
<i>Orno-Quercetum ilicis</i> e, al contorno, <i>Oleo-lentiscetum</i> e <i>Pistacio-Pinetum halepensis</i>
Lineamenti geomorfologici
Fiumara in vallone calcareo
Obiettivo dell'intervento
Verifica sperimentale di tipologie di I.N. e formazione professionale
Tipologie e dimensioni dell'intervento
Palificata viva a doppia parete h 1,80 m L 20 m; gabbioni rinverditi h 2 m L 20 m
Materiali morti impiegati
Pali di castagno D 20-25 cm, gabbioni in rete zincata a doppia torsione
Specie vegetali impiegate
Piante radicate di <i>Pistacia lentiscus</i> , <i>Erica multiflora</i> , <i>Arbutus unedo</i> , <i>Phillyrea latifolia</i> , <i>Myrtus communis</i> , <i>Laurus nobilis</i> , <i>Crataegus monogyna</i> , <i>Tamarix gallica</i> , <i>Juniperus oxycedrus</i> ; selvaggioni di <i>Coronilla emerus</i> , <i>Spartium junceum</i> , <i>Osyris alba</i>
Periodo dei lavori
Marzo 2001
Osservazioni
Ottimo l'attecchimento di tutte le specie tranne <i>Osyris alba</i>



Foto 1: Gabbionata e palificata viva (marzo 2004) - Foto C. Bonelli



Foto 2: Palificata viva a due anni dalla fine dei lavori (marzo 2004) - Foto C. Bonelli

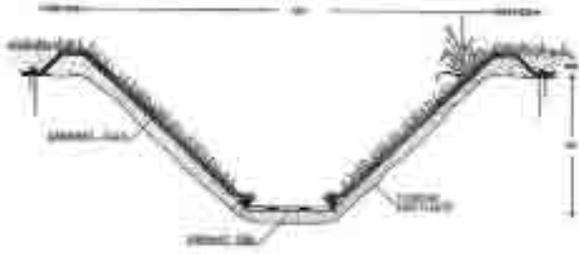
Torrente Farinella (PA)
Specificità dell'intervento
Risulta tra i primi interventi in Italia con stuoie sintetiche su sezioni canalizzate.
Provincia/ Comune/ Località
Palermo / Lascari/ T. Farinella;
Altitudine slm /Esposizione
20 m /Direzione del canale S-N
Lineamenti geomorfologici
Tronco vallivo con canale di deflusso interessato da fenomeni erosivi; presenza di materiali di risulta
Obiettivo dell'intervento
Sistemazione antierosiva delle sponde con stuoie sintetiche tridimensionali
Tipologie e dimensioni dell'intervento
Sistemazione idraulica per protezione delle sponde e del fondo dall'erosione tramite rivestimento con geostuoia tridimensionale sintetica bitumata sul fondo L 1400 m di canale

Materiali morti impiegati
Geostuoia sintetica tridimensionale in nylon; geostuoia sintetica tridimensionale prebitumata a caldo; staffe metalliche di fissaggio.
Specie vegetali impiegate
Semina a spaglio
Periodo dei lavori
1988
Osservazioni
Buona la tenuta funzionale della parte strutturale



Foto 1: T. Farinella, intervento appena eseguito (1988) - Foto SEIC



Foto 2: T. Farinella, novembre 2003 - Foto G. Sauli



Foto 3: T. Farinella, intervento appena eseguito (1988) - Foto SEIC



Foto 4: T. Farinella, novembre 2003 - Foto G. Sauli

Torrente Roccella (PA)
Specificità dell'intervento
Argini in doppia terra rinforzata sul T. Roccella a tutela delle colture in golena esterna
Provincia/ Comune/ Località
Palermo/ Campo Felice Roccella/ T. Roccella
Altitudine slm /Esposizione
30 m / NNW – SSE direzione corso T. Roccella
Lineamenti vegetazionali
Formazioni a <i>Tamarix sp.</i> , <i>Nerium oleander</i> , <i>Euphorbia dendroides</i> , <i>Spartium junceum</i> , <i>Pistacia lentiscus</i> , <i>Arundo donax</i> .
Lineamenti geomorfologici
Fiumara su ghiaie grossolane con fenomeni erosivi e di esondazione nei coltivi adiacenti
Obiettivo dell'intervento
Sistemazioni arginali a protezione delle golene coltivate e riqualificazione ambientale delle aree degradate
Tipologie e dimensioni dell'intervento
Riprofilatura sponde e sistemazione pendenza fondo alveo, realizzazione argine rinforzato in doppia terra rinforzata in geosintetici; sponde rivestite con stuoia sintetica tridimensionale
Materiali morti impiegati
Rete sintetica in poliestere, stuoia sintetica tridimensionale; gabbionate
Specie vegetali impiegate
Nessuna
Periodo dei lavori
1991
Osservazioni
La sezione del torrente è completamente invasa dalle piante (erbacee e arbustive) e l'alveo è sopralluvionato per deposito di trasporto solido accumulatosi nei 13 anni dopo i lavori. Gli argini in doppia terra rinforzata e le sponde rivestite hanno dato ottimo esito antierosivo e di consolidamento. Non risultano essersi ripetuti allagamenti alle colture nelle ex golene laterali. La briglia risulta sottoescavata a causa della mancanza della platea; le restanti opere risultano in buono stato.



Foto 1: Argini in doppia terra rinforzata. T. Roccella (PA) 1991 - Foto SEIC



Foto 2: Argini in doppia terra rinforzata T. Roccella (PA) a pochi mesi dall'intervento - Foto G. Sauli



Foto 3: Argini in doppia terra rinforzata T. Roccella (PA) 1991 - Foto G. Sauli



Foto 4: Area foto 3 nel 2003 - Foto G. Sauli



Foto 5: Vegetazione dei versanti a *Lentisco*, *Artemisia arborescens*, *Oryzopsis miliacea* T. Roccella (PA) 2003 - Foto G. Sauli

Laguna di Nora (CA)
Specificità dell'intervento
Interventi campione di consolidamento spondale di canale lagunare in zona salmastra con impiego di tecniche di ingegneria naturalistica ed uso di specie salsoresistenti.
Provincia/ Comune/ Località
Cagliari / Pula / Laguna di Nora
Altitudine slm
1 m
Lineamenti vegetazionali
Stagni salmastrici costieri a <i>Halimione portulacoides</i> , <i>Arthrocnemum fruticosum</i> , <i>Inula chrytmoides</i> , <i>Artemisia arborescens</i>
Lineamenti geomorfologici
Forme pianeggianti e depresse di sedimenti litoranei (laguna)
Obiettivo dell'intervento
Cantiere sperimentale di consolidamento spondale dei canali lagunari con utilizzo di materiale di dragaggio e messa a dimora di alofite e talee di tamerice.
Tipologie e dimensioni dell'intervento
1. Rullo spondale in geogriglia poliestere e fascine; 2. Materasso verde; 3. Terra rinforzata con rete metallica plastificata; 4. Argine spondale semplice (nessun intervento); 5. Rullo spondale in rete metallica e georete tridimensionale sintetica; 6. Palificata spondale semplice; 7. Piantagione di arbusti radicati S 1500 mq circa
Materiali morti impiegati
Tronchi castagno scortecciati cm D 20-25 cm; picchetti acciaio a.m.; materassi in rete zincata a doppia torsione; terra rinforzata; rete sintetica per i rulli con rivestimento interno in reticella plastica
Specie vegetali impiegate
Talee: <i>Tamarix sp.</i> ; Piante radicate: <i>Tamarix sp.</i> , <i>Artemisia arborescens</i> , <i>Pistacia lentiscus</i> , <i>Halimione portulacoides</i> , <i>Inula chrytmoides</i> , <i>Lygeum spartum</i> , <i>Atriplex halimus</i> , <i>Phragmites australis</i> , <i>Phillyrea angustifolia</i> , <i>Quercus coccifera</i> , <i>Plantago crassifolia</i> .
Periodo dei lavori
Febbraio 1996
Osservazioni
I rulli con i pani di <i>Phragmites australis</i> ed i materassi presentano coperture intorno al 90%. La copertura vegetale nella terra rinforzata si presenta assai scarsa (20%) sul paramento verticale, mentre raggiunge l'80% nella parte orizzontale superiore. Anche sul fronte della palificata la presenza vegetale è estremamente ridotta, mentre sul resto della struttura raggiunge il 40%. Tra le specie piantate hanno dato i migliori risultati: <i>Atriplex halimus</i> (h 1,3 m), <i>Tamarix sp.</i> (1-2 m), <i>Artemisia arborescens</i> , <i>Pistacia lentiscus</i> (0,3 m), <i>Halimione portulacoides</i> , <i>Inula chrytmoides</i> , <i>Lygeum spartum</i> . Tra le specie spontanee a maggior copertura: <i>Arthrocnemum fruticosum</i> , <i>Suaeda fruticosa</i> , <i>Limonium sp.</i>



Foto 1: Terra rinforzata verde, materassi verdi spondali. Laguna di Nora (CA) 1996 - Foto G. Sauli



Foto 2: Terra rinforzata verde, materassi verdi spondali. Laguna di Nora (CA) 1996 - Foto G. Sauli



Foto 3: Terra rinforzata verde, materassi verdi spondali. Laguna di Nora (CA) 2003 - Foto G. Sauli



Foto 4: Laguna di Nora (CA), palificata spondale con palo infisso e fascine di tamerici, 1996 - Foto G. Sauli



Foto 5: Laguna di Nora (CA), rullo spondale, fase di costruzione, 1996 - Foto G. Sauli



Foto 6: Laguna di Nora (CA), rullo spondale, fase di costruzione, 1996 - Foto G. Sauli



Foto 7: Laguna di Nora (CA), palificata spondale con palo infisso e fascine di tamerici, in primo piano effetti del rullo spondale settembre 2003 - Foto G. Sauli

Rio inferno (FR)
Specificità dell'intervento
La sistemazione idraulica del Rio Inferno rappresenta uno dei primi casi del Lazio dove l'ingegnere idraulico è stato affiancato dall'esperto di ingegneria naturalistica nella sistemazione dei tratti mediano e inferiore di un corso d'acqua mediterraneo Gli interventi di rinaturazione e di ingegneria naturalistica sono stati definiti nei vari tratti a seguito delle indagini vegetazionali, della valutazione dello stato della qualità ambientale dell'alveo e dell'analisi delle caratteristiche idrauliche con l'obiettivo, oltre che di sistemazione idraulica, dell'aumento della biodiversità del territorio attraversato dall'alveo e del miglioramento della rete ecologica esistente.
Provincia/ Comune/ Località
FR / Cassino / Rio Inferno
Altitudine slm / Inclinazione longitudinale alveo/ Q progetto
50 m / 1,5-1,8% / 70 mc/sec
Lineamenti vegetazionali
Coltivi prevalenti con lembi residui di macchia mediterranea, di lecceta e di querceti a prevalenza di caducifoglie.
Obiettivo dell'intervento
Consolidamento delle sponde a protezione della viabilità Risagomatura e ampliamento della sezione per il ripristino della funzionalità idraulica dell'alveo Rinaturalizzazione del corso d'acqua, aumento della biodiversità e miglioramento delle reti ecologiche
Tipologie e dimensioni dell'intervento
Nel tratto superiore: allargamento e meandrazione dell'alveo esistente e rivestimento con pietrame del fondo (L100 m) soglie in massi (L 50 m) massi rinverditi con talee (250 mc) palificata viva a parete doppia h 1 m (L 70 m) Nel tratto inferiore: massi rinverditi con talee (600 mc) palificata viva a parete doppia h 2 m (L 46 m) fascinate vive spondali (L 800 m) piantazione di filari arborei igrofilo (L 500 m) manutenzione dell'alveo con l'eliminazione della vegetazione sinantropica e risagomatura realizzata secondo il DPR 14 aprile 1993 (L 1000 m)
Materiali morti impiegati
Tronchi di pino calabrese D 35-40 cm; picchetti acciaio a.m. D 14 mm; massi D 0,6-0,8 m.
Specie vegetali impiegate
Talee di <i>Salix alba</i> , <i>Salix eleagnos</i> , <i>Salix purpurea</i>
Periodo dei lavori
Gennaio- Aprile 2000
Osservazioni
Gli interventi di manutenzione idraulica con taglio della vegetazione in alveo sono stati effettuati durante il periodo invernale 1999-2000, secondo le indicazioni del DPR 14 aprile 1993; già a primavera 2000, per il rinverdimento erbaceo spontaneo dell'alveo e per il mantenimento delle formazioni legnose al di sopra il livello della piena trentennale, si era verificato un buon recupero del valore naturalistico e paesaggistico dell'alveo stesso. Tutte le opere di ingegneria naturalistica hanno superato le piene primaverili del 2000, nonostante il limitato sviluppo vegetativo; le talee, le palificate doppie e le scogliere rinverdite hanno resistito alle piene autunnali di natura eccezionale del 2000, in concomitanza con gli eventi alluvionali di Soverato e del Po. Solo per le talee delle scogliere del tratto di monte, messe a dimora a fine aprile 2000, le percentuali di attecchimento sono state molto basse.

Le fascinate vive della savanella centrale, realizzate con finalità naturalistica e non idraulica, sono state asportate dalle ripetute piene da settembre a dicembre 2000.

Le opere sono attualmente in buona efficienza e perfettamente inserite nell'ambiente; le talee presentano sviluppi fino a 10 m di altezza con diametri di 4-8 cm che realizzano, in alcuni tratti, dei veri e propri filari igrofilo.



Foto 1: Savanella con fascina e palificata spondale sullo sfondo a quattro mesi dalla fine dei lavori (giugno 2000) - Foto P. Cornolini



Foto 2: Realizzazione di tratto di alveo artificiale con palificate spondali, scogliera rinverdata, fascinate vive e soglie in pietra (maggio 2000) - Foto P. Cornolini



Foto 3: Intervento foto precedente a distanza di un anno (aprile 2001) - Foto P. Cornolini

Rio Fontanelle (FR)
Specificità dell'intervento
L'interesse della sistemazione idraulica consiste nell'aver affrontato la problematica della riqualificazione ambientale dei canali di pianura in ambito agricolo, in presenza di vincoli di esproprio che impediscono l'ampliamento della sezione e la realizzazione di fasce arboreo-arbustive all'esterno. Si è quindi dovuti intervenire all'interno dell'alveo esistente secondo il principio che alla massima diversità morfologica corrisponde la massima biodiversità.
Provincia / Comune/ Località
FR / Cassino / Rio Fontanelle
Altitudine slm / Inclinazione longitudinale alveo / V max progetto
30 m/ 1-1,5% / 4 m/sec
Lineamenti vegetazionali
Area agricola periurbana
Obiettivo dell'intervento
Sistemazione idraulica, consolidamento arginale e riqualificazione ambientale dell'alveo nel tratto terminale fino alla confluenza nel F. Gari
Tipologie e dimensioni dell'intervento
Risagomatura dell'alveo, demolizione di tratti dell'alveo in cemento (L 300 m) e realizzazione di alveo naturaliforme in pietrame, anche con movimenti di terra mirati alla creazione di varici per la discontinuità morfologica (L 1000 m) Realizzazione di quattro laghetti di lunghezza di circa 50 m e larghezza 8-10 m, a margine irregolare e reniforme, con approfondimento del fondo alveo di circa 70 cm.. Rampe in pietrame per un tratto complessivo di 40 m; Consolidamento al piede delle sponde con scogliera rinverdita (128 mc) Messa a dimora di talee sulle scarpate spondali (L 1000 m) Realizzazione di palificate vive doppie h 2 m per il consolidamento delle sponde di due affluenti laterali (L 60 m).
Materiali morti impiegati
Massi calcarei D 40-50 cm, tronchi di castagno scortecciato D 20 cm, picchetti acciaio a.m. D 12 mm.
Specie vegetali impiegate
Talee di <i>Salix alba</i> , <i>Salix alba</i> varietas <i>vitellina</i> . Arbusti radicati: <i>Spartium junceum</i> , <i>Corylus avellana</i> , <i>Acer campestre</i>
Periodo dei lavori
Gennaio 2001-Giugno 2002
Osservazioni
Nel tratto di intervento si osserva una rinaturazione spontanea in alveo con sviluppo notevole di elofite (<i>Tipha sp.</i> e <i>Phragmites australis</i>) e di piante erbacee igrofile (<i>Eupatorium cannabinum</i> , <i>Lythrum salicaria</i> , etc), con aumento della qualità ambientale del corso d'acqua. Le talee di salice presentano notevoli attecchimenti con getti L 3-8 m e D 3-10 cm nelle palificate, mentre lungo le sponde l'attecchimento risulta discontinuo con getti L 3-5 m e D 2-4 cm.



Foto 1: Lavori per l'aumento della biodiversità all'interno dell'alveo (ottobre 2001) - Foto P. Cornelini



Foto 2: Intervento foto precedente a settembre 2002 - Foto P. Cornelini

Rio Valleluce (FR)
Specificità dell'intervento
Opere di consolidamento spondali vive alte fino a 4 m nel tratto mediano di un corso d'acqua mediterraneo con discreto trasporto solido (D fino a 30 cm) e velocità idraulica di progetto di 4 m/sec
Provincia / Comune/ Località
FR / S. Elia Fiumerapido / Rio Valleluce, strada presso S.Maria Maggiore
Altitudine slm / Inclinazione longitudinale alveo / V max progetto
100 m / 1,5-2% / 4 m/sec
Lineamenti vegetazionali
Area agricola periurbana
Obiettivo dell'intervento
Consolidamento spondale e messa in sicurezza della strada provinciale sovrastante.
Tipologie e dimensioni dell'intervento
Gabbionate rinverdite h 2 m (L 100 m), h 3m (L 360 m) , h 4 m (L 60 m) Scogliere rinverdite h 1-4 m (80 mc)
Materiali morti impiegati
Rete metallica e pietrame calcareo per i gabbioni; massi D 0,80 – 1 m
Specie vegetali impiegate
<i>Salix alba, Salix eleagnos, Salix purpurea</i>
Periodo dei lavori
Settembre 1999 – Gennaio 2000
Osservazioni
Intervento ben riuscito con notevole sviluppo della parte vegetativa che presenta getti fino a 10 m e D 14 cm in riva DX sotto la strada, sia nelle gabbionate che nelle scogliere rinverdite. Le piante con maggior attecchimento e sviluppo sono quelle in basso che hanno avuto più umidità a disposizione. I materiali dei gabbioni sono in buono stato di conservazione dopo 3 anni, con assenza di ruggine e spanciamenti. Sulle gabbionate e scogliere si è sviluppata una fascia continua di saliceto ripariale.



Foto 1: Gabbionate rinverdite (marzo 2000) - Foto P. Cornelini



Foto 2: Gabbionate rinverdite (settembre 2000) - Foto P. Cornelini

F. Fella (UD)
Specificità dell'intervento
Demolizione di un tratto canalizzato e cementato del F. Fella e sua rinaturazione con varie tecniche di ingegneria naturalistica
Provincia/ Comune/ Località
Udine / Malborghetto, Valbruna e Caporosso / Fiume Fella presso la nuova stazione FS di Valbruna
Altitudine slm /Inclinazione alveo
780 m / 1,2 %
Lineamenti vegetazionali
Vegetazione ripariale a salici e ontani (<i>Alnus incana</i>); pinete a pino silvestre
Lineamenti geomorfologici
Piana alluvionale con depositi sciolti di origine fluviale e fluvioglaciale principalmente calcareo dolomiti.
Obiettivo dell'intervento
Riassetto morfologico dell'alveo del F. Fella e ampliamento della sezione di deflusso previa demolizione delle sponde in calcestruzzo e smantellamento della vecchia sede ferroviaria; rivegetazione dei piazzali adiacenti alla stazione ferroviaria
Tipologie e dimensioni dell'intervento
palificate vive spondali a parete doppia e massi legati al piede terre verdi rinforzate materassi rinverditi scogliere rinverdite copertura diffusa traverse (repellenti) vive di ramaglia a strati idrosemia, messa a dimora di talee, arbusti e alberi Lunghezza 800 m circa
Materiali morti impiegati
Reti metalliche, materassi, gabbioni, stuoie sintetiche e organiche, tronchi, tondini, massi, funi d'acciaio, etc.
Specie vegetali impiegate
Talee <i>S. purpurea</i> , <i>S. eleagnos</i> , <i>S. appendiculata</i> . Arbusti radicati: <i>Crataegus monogyna</i> , <i>Salix caprea</i> , <i>Pinus mugo</i> , <i>Ligustrum vulgare</i> . Alberi: <i>Pinus nigra austriaca</i> , <i>P. sylvestris</i> , <i>Picea abies</i> , <i>Fagus sylvatica</i> , <i>Fraxinus excelsior</i> , <i>Acer pseudoplatanus</i> , <i>Tilia platyphyllos</i> , <i>Alnus incana</i> .
Periodo dei lavori
Novembre 1999
Osservazioni
A distanza di 3-4 anni dagli interventi e dopo il collaudo della massima piena storica avvenuto nel periodo fine agosto-settembre 2003, si è constatata la ottima tenuta delle opere realizzate e l'affermarsi della meandrazione interna all'alveo di magra progettata mediante i repellenti vivi.



Foto 1: F. Fella presso la stazione FS di Valbruna ante operam (1998) - Foto G. Sauli



Foto 2: F. Fella presso la stazione FS di Valbruna, dopo due anni (2000) - Foto G. Sauli



Foto 3: F. Fella presso la stazione FS di Valbruna. Visibili la copertura diffusa (sx) e le palificate spondali fondate su massi (dx) - Foto G. Sauli



Foto 4: F. Fella presso la stazione FS di Valbruna - Confluenza col T. Saisera - Foto G. Sauli



Foto 5: F. Fella presso la stazione FS di Valbruna dopo l'alluvione del 29.08.2003 - Foto G. Sauli

Rio Anonimo Ugovizza (UD)
Specificità dell'intervento
Sostituzione delle normali briglie in cemento con briglie in legname e pietrame, attenuazione del fenomeno erosivo sulle sponde con rivestimenti vegetativi.
Provincia/ Comune/ Località
Udine / Ugovizza / Rio Anonimo, SS 13 bivio Ugovizza-Valbruna
Altitudine slm /Esposizione /Inclinazione °
800 m circa / S, S-SE, E, W/ 24-35 ° / 33-43 °; pendenza alveo 33 %.
Lineamenti vegetazionali
Pinete a pino nero austriaco
Lineamenti geomorfologici
Depositi detritici di versante su substrato costituito da dolomie e calcari dolomitici. L'asta torrentizia a forma di "canalone" presenta deflussi a carattere essenzialmente fluvio-franoso in occasione di precipitazioni intense.
Obiettivo dell'intervento
Realizzare una vasca di sedimentazione del debris flow mediante una briglia filtrante in cls alla base (rivestita con terre verdi rinforzate sul fronte strada) ed una serie di briglie in legname e pietrame; ottenere la stabilizzazione delle sponde/versanti in erosione del rio mediante un rivestimento vegetativo in rete metallica e biostuoia.
Tipologie e dimensioni dell'intervento
Briglia filtrante in cls rivestita da terre verdi rinforzate; rivestimenti vegetativi in rete metallica, biostuoie, talee e arbusti; briglie in legname e pietrame; idrosemina, messa a dimora di alberi e arbusti; palificata viva e grata viva (strada di accesso laterale); Dimensioni: 11.000 mq (100 m x 50 m e 40 m x 150 m).
Materiali morti impiegati
Tronchi di larice, pietrame, reti metalliche biostuoie, staffe metalliche, cls per la briglia di base
Specie vegetali impiegate
Talee di <i>Salix purpurea</i>
Periodo dei lavori
Novembre 1999
Osservazioni
L'opera è stata collaudata dall'alluvione del 29 agosto 2003 con la massima piovosità degli ultimi 100 anni ed un fenomeno di colate ghiaiose eccezionale. Vi è stato qualche fenomeno localizzato di erosione sotto le reti metalliche ed una piccola sottoescavazione di una briglia in legname.



Foto 1: Rio Anonimo, 1998 - Foto G. Sauli



Foto 2: Rio Anonimo, post operam, 2002 - Foto G. Sauli



Foto 3: Rio Anonimo, post alluvione 29 agosto 2003 - Foto G. Sauli

5.2 VERSANTI

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

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

Come già evidenziato nel capitolo della cronistoria, 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 idrosimine, geosintetici, etc.) che hanno consentito una vasta applicazione dell'I.N. in tutti i settori del territorio. Non secondaria in questo processo di diffusione delle tecniche naturalistiche è stata la crescente sensibilità ambientale a tutti i livelli tecnico-amministrativi, sociali e politici.

5.2.1 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 tabella 5.2.1 che correla i principali tipi di frane e dissesti alle varie possibilità di intervento con tecniche tradizionali e di I.N.

Tabella 5.2.1: Correlazione fra dissesti e possibilità di interventi (estratto da: "Interventi di sistemazione del territorio con tecniche di Ingegneria Naturalistica" Regione Piemonte - 2003) modificato

<i>Meccanismo di dissesto</i>	<i>Interventi di sistemazione con tecniche tradizionali</i>	<i>Sistemazioni con tecniche di I. N.</i>	<i>Altri interventi</i>
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
<i>Toppiling (ribaltamenti)</i>	Chiodature, tiranti, muri di sostegno	Sistemazione e rivegetazione del solo accumulo di frana	Riprofilature in roccia

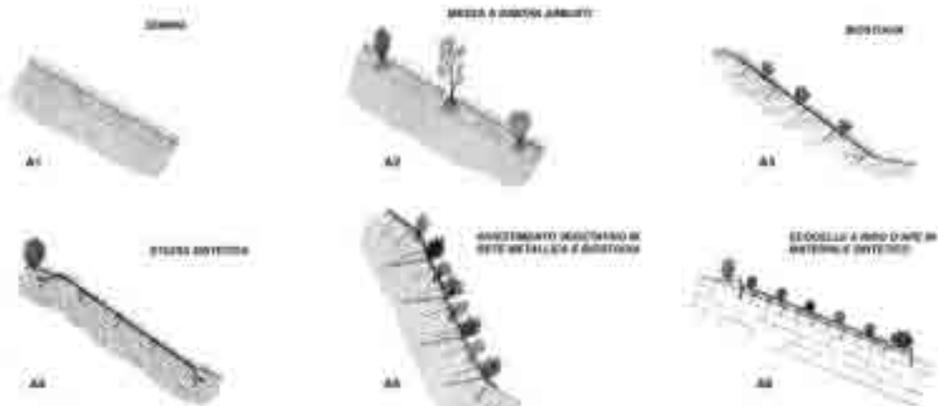
I settori di intervento dell'ingegneria naturalistica

<i>Meccanismo di dissesto</i>	<i>Interventi di sistemazione con tecniche tradizionali</i>	<i>Sistemazioni con tecniche di I. N.</i>	<i>Altri interventi</i>
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, scogliere di contenimento rivegetate, posa di antiersivi, 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	
<i>Soil slips</i>		Geosintetici e fibre naturali con funzione antiersiva, 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 in rete armata a contatto + antiersivi 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

5.2.2 Tecniche di ingegneria naturalistica applicabili ai versanti nelle regioni meridionali

Negli schemi delle Figg. 5.2 A, B e C sono rappresentate le tecniche di Ingegneria Naturalistica più diffuse nel centro Europa, applicate da molti anni in alcune regioni dell'Italia centro-nord ed applicabili anche nelle zone montane delle regioni meridionali.

A - INTERVENTI ANTIEROSIVI DI RIVESTIMENTO



B - INTERVENTI STABILIZZANTI

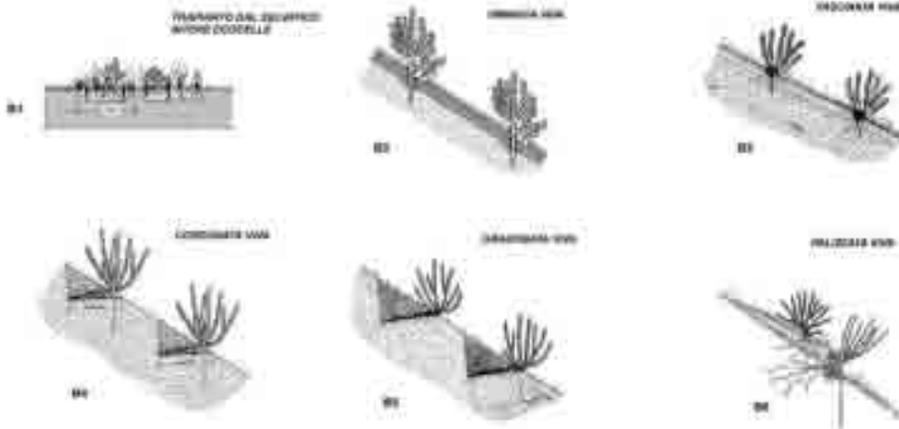


Figura 5.2A e B: Interventi di I.N. applicabili ai versanti

C - INTERVENTI COMBINATI DI CONSOLIDAMENTO

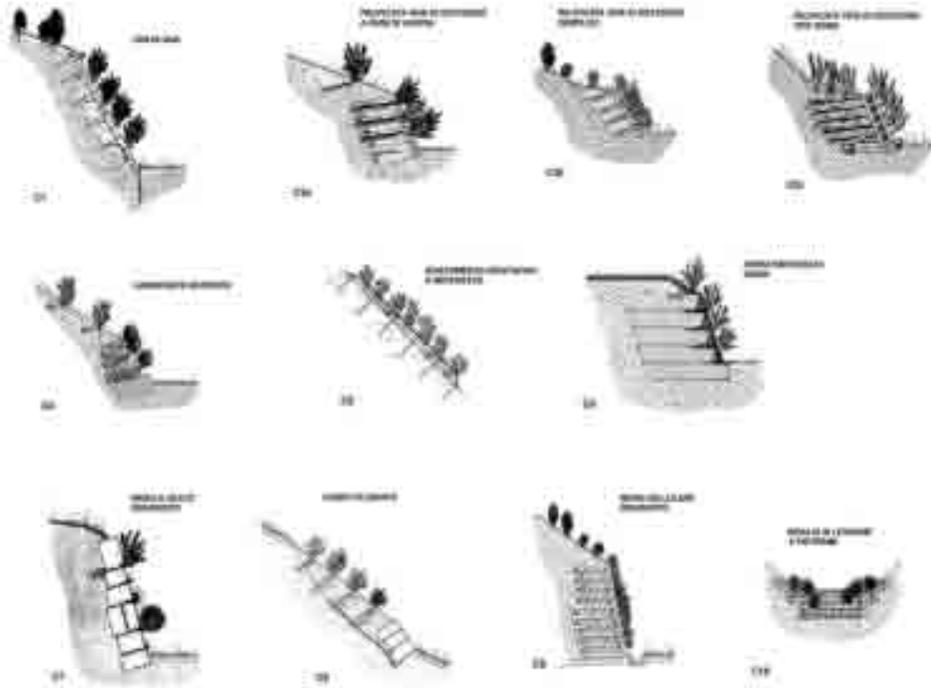


Figura 5.2C: Interventi di I.N. applicabili ai versanti

Si è adottata la suddivisione classica, già citata, in interventi antierosivi, stabilizzanti e combinati di consolidamento, già in buona parte descritti nelle 25 schede delle tecniche più comuni (capitolo 7).

Nelle foto da 5.2.1. a 5.2.16 e nelle 12 schede di casistica sono rappresentati gli interventi tipo più frequentemente usati.

Sono di uso ormai diffuso:

- semine, idrosemine e messa a dimora di piante;
- stuoie organiche e sintetiche talvolta abbinata con reti;
- viminate e gradonate vive;
- palificate e grate vive in tronchi;
- palizzate che trovano vasto impiego nelle aree percorse dagli incendi;
- graticciate, sia quelle tradizionali, che quelle innovative in tubi d'acciaio abbinati a reti metalliche e stuoie sintetiche (foto 5.2.12.) molto valide in impluvi su rocce friabili;
- le briglie in legname e pietrame;
- le gabbionate e i materassi rinverditi;
- le terre rinforzate verdi.

A proposito delle graticciate morte, va segnalato l'uso tradizionale di tale tecnica 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 viminate morte va rivalutato per il basso costo dei materiali e l'efficacia stabilizzante di pendii franosi, specie se abbinato con semine e piantagioni di arbusti pionieri autoctoni.



Foto 5.2.1: Idrosemina su versante presso Timau (UD) - Foto G. Sauli



Foto 5.2.2: Cordonate vive Loc. Pussa (PN) - Foto G. Sauli



Foto 5.2.3: Sistemi stabilizzanti su scarpata in detrito di falda Loc. Pussa (PN) - Foto G. Sauli



Foto 5.2.4: Gradonate vive su versante Loc. S. Caterina Val Canale (UD) - Foto G. Sauli



Foto 5.2.5: Grata viva su versante Loc. Ponte ad Arco - Tarvisio (UD) - Foto G. Sauli



Foto 5.2.6: Grata viva in costruzione Loc. Montenars (UD) - Foto G. Sauli



Foto 5.2.7: Grata viva a fine lavori Loc. Montenars (UD) - Foto G. Sauli



Foto 5.2.8: Grata viva dopo alcuni anni Loc. Montenars (UD) - Foto G. Sauli



Foto 5.2.9: Colate di ghiaie detritiche a seguito di evento alluvionale agosto 2003 Val Canale (UD) - Foto G. Sauli



Foto 5.2.10: Insieme di interventi su versante con tecniche di I.N. Loc. Ponte ad Arco Tarvisio (UD) - Foto G. Sauli

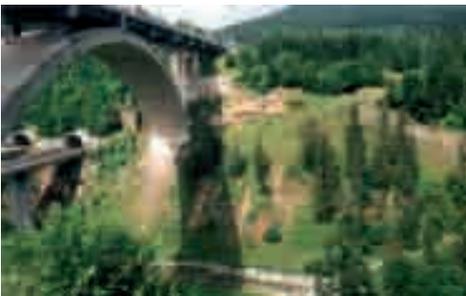


Foto 5.2.11: Insieme di interventi su versante con tecniche di I.N. dopo due anni Loc. Ponte ad Arco Tarvisio (UD) - Foto G. Sauli



Foto 5.2.12: Graticciate in micropali cor-ten, reti metalliche e stuoie tridimensionali per consolidamento impluvi in rocce friabili T. Giarina (ME) - Foto G. Sauli



Foto 5.2.13: Palificate vive di versante Pontebba (UD) - Foto G. Sauli



Foto 5.2.14: Palificata viva dopo alcuni anni Montenars (UD) - Foto G. Sauli



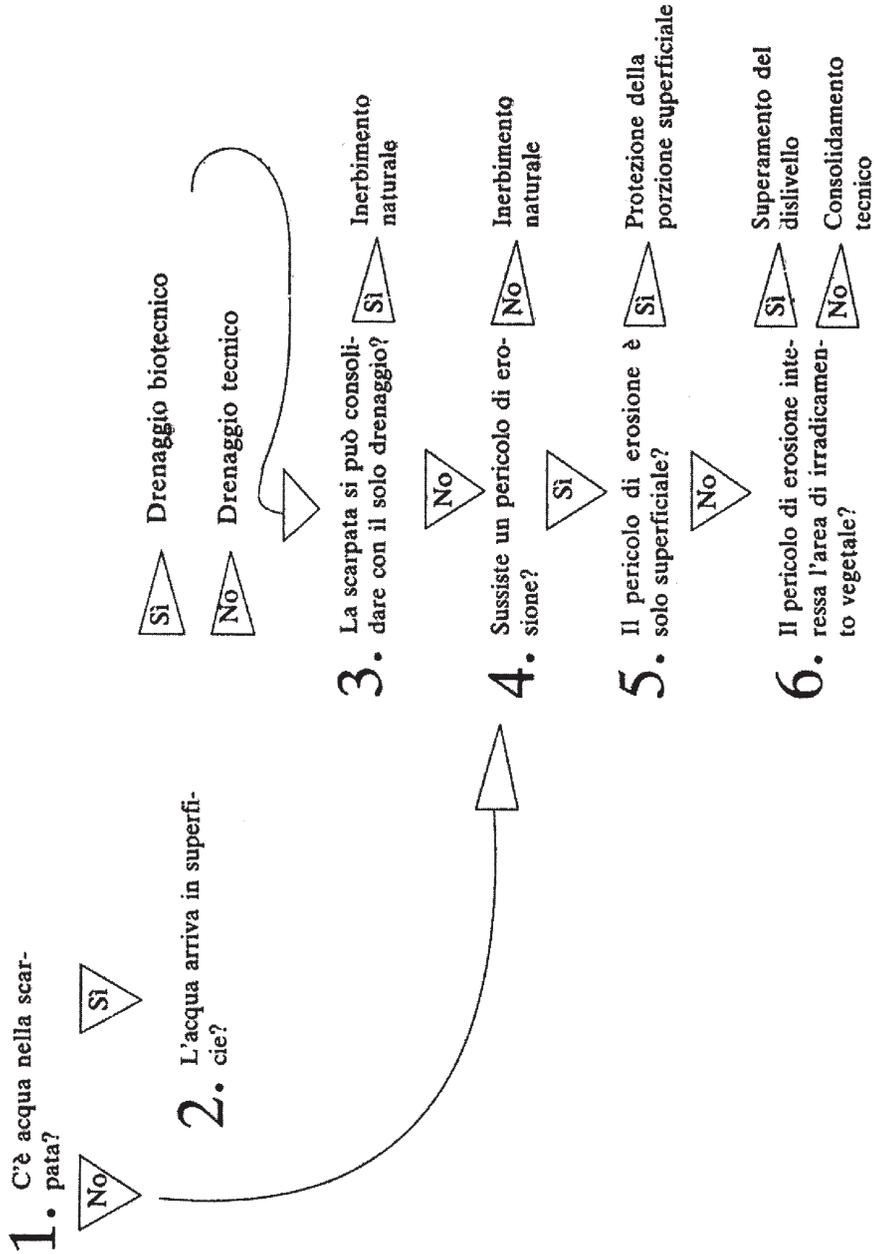
Foto 5.2.15: Sistemi di consolidamento e stabilizzazione di impluvi montani mediante briglie in legname e pietrame e cordonate vive Ligosullo (UD) - Foto G. Sauli

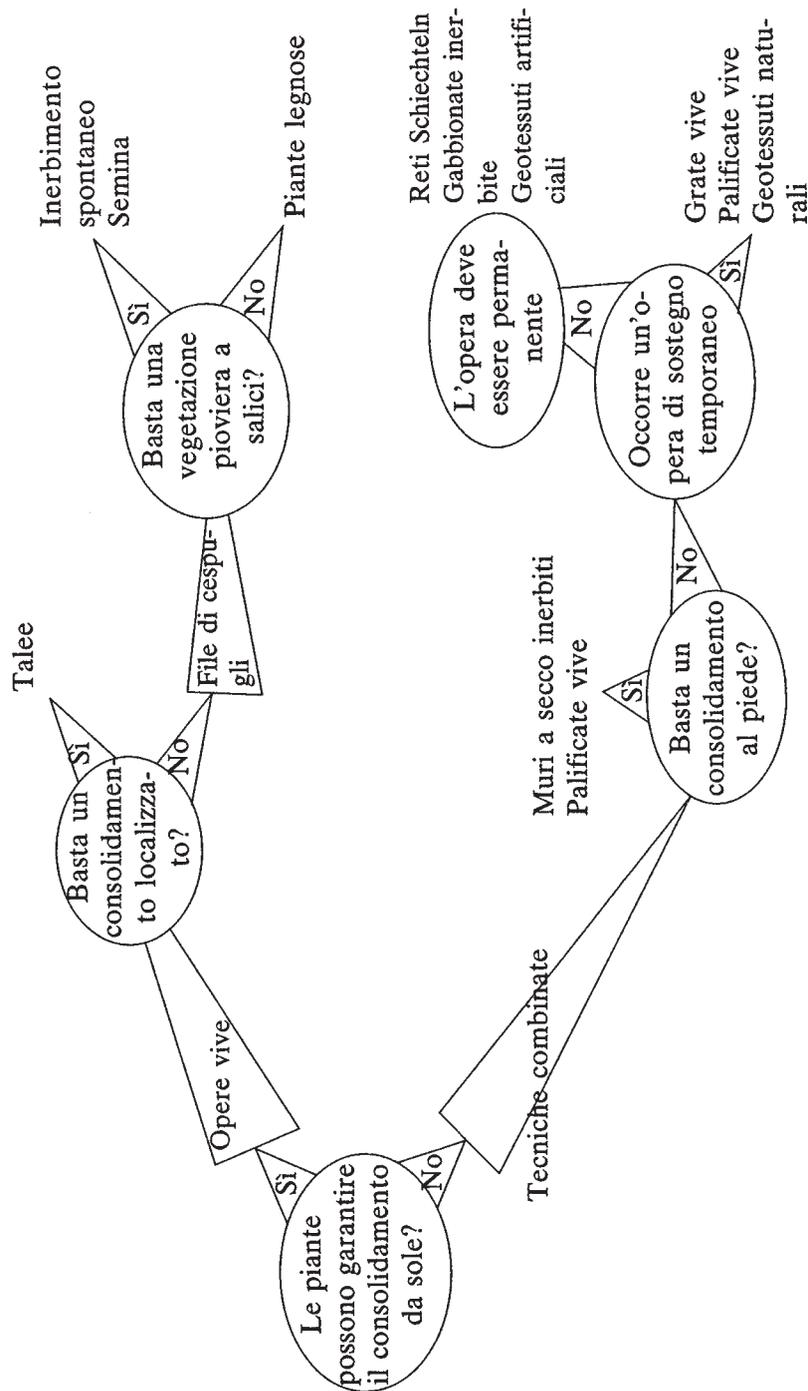


Foto 5.2.16: Gabbionate rinverdite Val Aupa, Moggio (UD) - Foto G. Sauli

5.2.3 Criteri di scelta delle tecniche

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





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

I quesiti che ci si deve porre riguardano:

- la presenza o meno di acqua nella scarpata che, a seconda della sua profondità, può essere risolta con drenaggi superficiali con materiali tradizionali abbinati con drenaggi biotecnici, oppure richiedere drenaggi tecnici più profondi;
- un pericolo di erosione, superficiale (risolvibile con semine) o più profondo, ma sempre nella sfera della radicazione delle piante, oppure al di fuori di tale sfera 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 inerbiti)?;
- servono opere temporanee di sostegno (palificate, grate)?;
- servono opere permanenti (gabbionate, terre rinforzate)?.

Parco Nazionale del Vesuvio (NA)
Specificità dell'intervento
Interventi di messa in sicurezza della viabilità per il controllo del territorio (antincendio, antibracconaggio) 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.
Provincia/Comune/Località
Napoli/ Comuni Vesuviani/ Complesso vulcanico Somma-Vesuvio
Altitudine slm/Esposizione/Inclinazione °
In prevalenza 700-800 m con interventi a 400 m e 1000 m / SW prevalente / circa 35°
Lineamenti vegetazionali
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 gravitativa.
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
Materiali morti impiegati
Legname di castagno scortecciato D 12-16 cm Barre di acciaio a.m. D 14 mm Pietrame reperito in sito D 15-20 cm
Specie vegetali impiegate
Talee di <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> .
Periodo dei lavori
I lavori, iniziati nel novembre 1997, sono in corso e programmati fino al maggio 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.



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



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



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



Foto 4: Briglia 1906 - Foto Simonetti

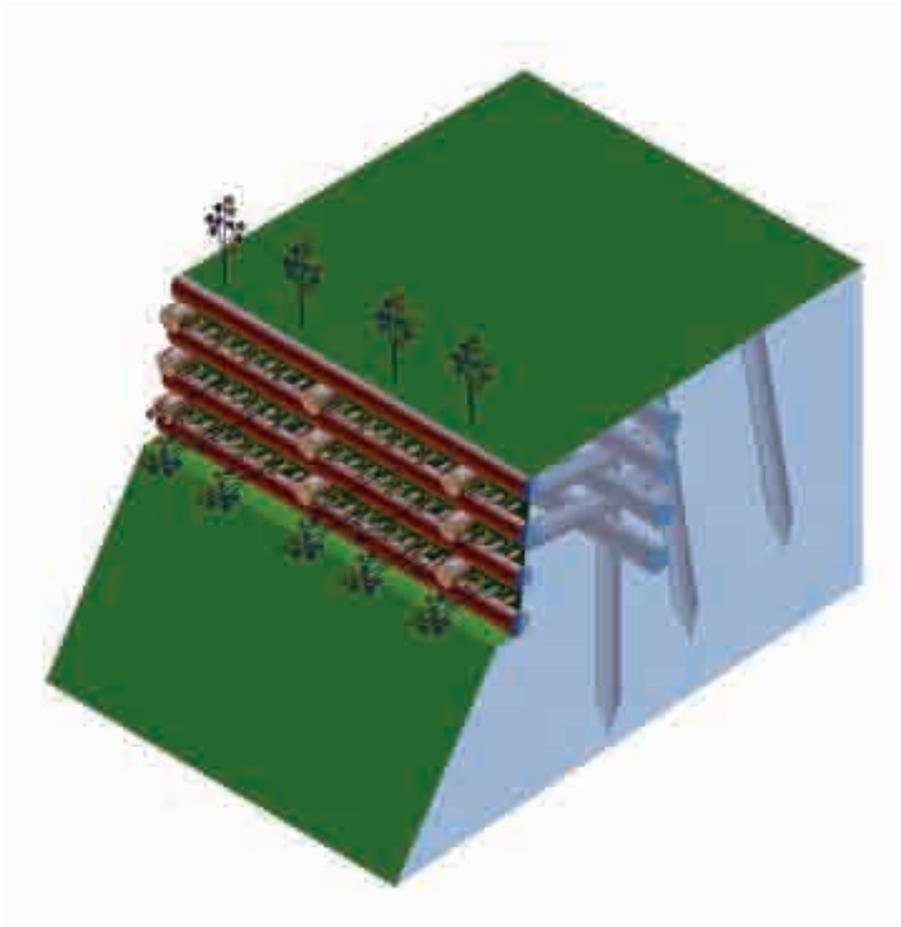


Figura 5: Schema tridimensionale della palificata Vesuvio sec. Menegazzi

Parco urbano di Pomigliano d'Arco (NA)
Specificità dell'intervento
Primo esempio in Campania di stabilizzazione di scarpate in un parco urbano con tecniche di I.N., effettuato dall'amministrazione comunale tramite un cantiere didattico AIPIN Campania
Provincia/ Comune/ Località
Napoli / Pomigliano d'Arco / Parco urbano ex vasca laminazione Regi Lagni a valle del complesso vulcanico Somma Vesuvio
Altitudine slm /Esposizione/Inclinazione °
30 m / E, SE / 35°
Lineamenti vegetazionali
Parco urbano con <i>Populus nigra</i> e <i>Populus alba</i> dominanti, accompagnati da specie tipiche degli ambienti agricoli dei Regi Lagni oggi scomparse (melo cotogno, sorbo, azzeruolo, etc)
Lineamenti geomorfologici
Gli interventi sono ubicati entro una ex vasca di laminazione, la cui funzione è sostituita da collettori urbani
Obiettivo dell'intervento
Messa in sicurezza delle scarpate per la fruibilità della cittadinanza. Realizzazione di interventi tipo di I.N. per la didattica ambientale
Tipologie e dimensioni dell'intervento
Palificata viva doppia h 1,2 m L 35 m; grata viva h 6 m L 25 m
Materiali morti impiegati
Tronchi di castagno scortecciato D 12-16 cm; Barre di acciaio a.m. D 14 mm
Specie vegetali impiegate
Astoni radicati di <i>Salix alba</i> e <i>Salix alba varietas vitellina</i> . Arbusti radicati: <i>Pistacia lentiscus</i> , <i>Crataegus monogyna</i> , <i>Viburnum tinus</i> , <i>Myrtus communis</i> , <i>Phillyrea sp.</i> , <i>Alnus cordata</i>
Periodo dei lavori
Febbraio-aprile 2002. Aprile 2003
Osservazioni
Le talee presentano getti di 2,5-4 m con D 1-3 cm Le talee e le piante radicate hanno un attecchimento del 90%



Foto 1: Lavori di realizzazione della palificata e grata (aprile 2002) - Foto G. Doronzo



Foto 2: Intervento foto 1 a settembre 2003 - Foto G. Doronzo

Comunità Montana del Titerno (BN)
Specificità dell'intervento
Trattasi di uno dei più estesi interventi di sistemazione di versanti con tecniche di ingegneria naturalistica della Campania, nonché del primo cantiere-scuola in Campania per la formazione di operai idraulico-forestali di una Comunità Montana.
Provincia/ Comune/ Località
Benevento/ Faicchio/ Colle della Baronessa
Altitudine slm / Esposizione / Inclinazione °
200 / W / 30-35°
Lineamenti vegetazionali
Querceto misto a sclerofille e caducifoglie con <i>Quercus ilex</i> , <i>Quercus pubescens</i> , <i>Fraxinus ornus</i> , <i>Acer campestre</i>
Lineamenti geomorfologici
Frana superficiale in terreni tipo flysh con componenti argillose e carbonatiche. Alveo sottostante invaso dai sedimenti e conseguente esondazione nei terreni limitrofi
Obiettivo dell'intervento
Stabilizzazione del versante in erosione per ridurre l'apporto solido al corso d'acqua sottostante. Formazione professionale di operai forestali
Tipologie e dimensioni dell'intervento
Gabbionate rinverdite L 15 m; palificate vive h 1,4 m L 50 m; 2 grate vive: h 6m L 32 m e h 3 m L 15 m; gradonate vive L 45 m; canaletta in legname e pietrame L 10 m.
Materiali morti impiegati
Rete metallica e pietrame per i gabbioni; legno di castagno scortecciato D 15-25 cm, barre acciaio a.m. D 12 cm, staffe in acciaio.
Specie vegetali impiegate
Talee <i>Salix alba</i> , <i>Salix purpurea</i> ; piante radicate di <i>Ligustrum vulgare</i> , <i>Corylus avellana</i>
Periodo dei lavori
Giugno 2003
Osservazioni
Il periodo dei lavori era troppo avanzato per un successo totale dell'intervento, anche in concomitanza con l'estrema aridità dell'estate 2003. Cionostante, grazie alla cura degli operai forestali che hanno provveduto all'irrigazione durante i mesi estivi, le talee presentano getti di 1 m con D 0,3-0,5 cm, seppur con percentuali di attecchimento, nelle varie tipologie, variabili dal 30% al 70%. Si è sviluppata una grande copertura di specie erbacee. E' necessaria la manutenzione con lo sfalcio delle erbe e la sostituzione delle fallanze.



Foto 1: Realizzazione di grata viva (giugno 2003) - Foto Alliegro Bruzzese



Foto 2: Vista d'insieme dei lavori: palificata viva, grata viva, gradonate (giugno 2003) - Foto Alliegro Bruzzese

San Giovanni Rotondo (FG)
Specificità dell'intervento
Realizzazione di tratti sperimentali di alcune tipologie di I.N. tramite corsi di formazione professionale nel Parco Nazionale del Gargano
Provincia/ Comune/ Località
Foggia / San Giovanni Rotondo / Difesa Castellano
Altitudine slm /Esposizione/Inclinazione
700 – 750 m / Sud Ovest / 30% - 75%
Lineamenti vegetazionali
Roverelleti e orno-ostrieti riferibili ai <i>Quercetalia pubescentis</i>
Lineamenti geomorfologici
Piede di versante calcareo con accumuli terrigeni a prevalenza di terre rosse
Obiettivo dell'intervento
Sperimentazione di tecniche di I.N. in ambiente mediterraneo. Formazione professionale di tecnici e maestranze di consorzi di cooperative
Tipologie e dimensioni dell'intervento
Palificata viva doppia parete h 1,60 m L 30 m; scogliera rinverdita h 1,80 L 20 m; grata viva su palificata semplice S 50 mq; palizzate vive diffuse L 80 m
Materiali morti impiegati
Pali di cipresso D 18-20 cm; pali di pino d'aleppo D 20-25 cm; massi ciclopici; terra di scavo; pietrame; ramaglia di cipresso
Specie vegetali impiegate
Piante radicate di <i>Celtis australis</i> , <i>Quercus ilex</i> , <i>Fraxinus ornus</i> , <i>Spartium junceum</i> , <i>Pistacia lentiscus</i> , <i>Euonimus europaeus</i> , <i>Erica multiflora</i> , <i>Arbutus unedo</i> , <i>Viburnum tinus</i> , selvaggioni di <i>Crataegus monogyna</i> , <i>Rosa canina</i> , <i>Coronilla emerus</i> , <i>Prunus spinosa</i> e <i>Ligustrum vulgare</i>
Periodo dei lavori
Febbraio-marzo 2003
Osservazioni
Scarso attecchimento delle piante inserite nella grata viva per assenza di manutenzione, soddisfacente in tutte le altre tipologie di intervento



Foto 1: Grata viva ad un anno dalla fine dei lavori (marzo 2004) - Foto C. Bonelli



Foto 2: Vista laterale della grata viva (marzo 2004) - Foto C. Bonelli



Foto 3: Palizzate vive ad un anno dalla fine dei lavori (marzo 2004) - Foto C. Bonelli

Bernalda (MT)
Specificità dell'intervento
Intervento di consolidamento e rinaturalizzazione con tecniche di I.N. della pendice su cui sorge il castello di Bernalda, effettuato da un gruppo di volontari.
Provincia/ Comune/ Località
Matera / Bernalda / Estramurale Castello
Altitudine slm /Esposizione / Inclinazione °
120 m / Sud-Est / 35°
Lineamenti geomorfologici
Pendice argillosa
Obiettivo dell'intervento
Consolidamento e stabilizzazione della pendice su cui sorge l'abitato di Bernalda. Mitigazione dell'impatto percettivo di un muro di sostegno in c.a. di recente costruzione visibile dalla S.S. n. 407 Basentana. Individuazione delle specie vegetali autoctone da utilizzare in ambienti aridi.
Tipologie e dimensioni dell'intervento
Circa 300 mq di pendice a valle del muro di contenimento dell'abitato su cui sono state messe a dimora, in quattro ordini successivi e paralleli a partire dal basso, talee di specie mediterranee con sesto di impianto 2 x 2 m. La scelta delle specie è stata operata in funzione dello sviluppo delle singole specie e del periodo di fioritura al fine di mitigare l'impatto visivo della struttura di contenimento esistente.
Specie vegetali impiegate
Talee L 80 cm e D superiore a 2 cm di <i>Atriplex halimus</i> , <i>Tamarix gallica</i> , <i>Vitex agnus castus</i> e <i>Nerium oleander</i> (materiale di propagazione prelevato da piante madri presenti nel raggio di circa 3 km dall'abitato di Bernalda e dalla pendice interessata dall'intervento).
Periodo dei lavori
Gennaio 2001: individuazione e scelta delle piante madri da cui operare il prelievo delle talee; gennaio-febbraio 2001: messa a dimora delle talee.
Osservazioni
L'intervento può considerarsi soddisfacente in quanto l'attecchimento di <i>Atriplex halimus</i> , <i>Tamarix gallica</i> e <i>Nerium oleander</i> è stato del 95 %; per <i>Vitex agnus castus</i> non si è registrata alcuna ripresa vegetativa, presumibilmente per il forte stress termico e per la mancata irrigazione di soccorso nei messi successivi all'impianto (la stagione primaverile ed estiva è stata tra le più aride degli ultimi 50 anni). Già nel luglio del 2001 è stato possibile verificare il buono sviluppo vegetativo di <i>Atriplex halimus</i> , <i>Tamarix gallica</i> e <i>Nerium oleander</i> . Le cure colturali sono state limitate alla sola irrigazione di impianto e di soccorso praticata per i primi 15 giorni dalla messa a dimora.



Foto 1: Talee provenienti da piante madri: in successione a partire dal basso Atriplex halimus, Vitex agnus castus, Nerium oleander e Tamarix gallica (gennaio 2001) - Foto A. Trivisani



Foto 2: Talee di Tamarix gallica, la pianta risultata a maggior sviluppo vegetativo (luglio 2001) - Foto A. Trivisani

Rocca di Caccamo (PA)
Specificità dell'intervento
Prima terra rinforzata con geotessuti realizzata in Italia
Provincia/ Comune/ Località
Palermo / Caccamo / Castello
Altitudine slm / Esposizione / Inclinazione °
452 m / SW / 70°
Lineamenti vegetazionali
Vegetazione erbaceo arbustiva sinantropica
Lineamenti geomorfologici
Il versante a ridosso del quale è stato realizzato l'intervento era interessato da degrado ambientale (discarica abusiva di rifiuti)
Obiettivo dell'intervento
Realizzazione di un piazzale di circa 400 mq a servizio del cantiere per il restauro del castello (progetto iniziale). Successivamente, l'Amministrazione Comunale ha richiesto il mantenimento della struttura quale piazzale di parcheggio a servizio dei visitatori
Tipologie e dimensioni dell'intervento
Terra rinforzata con geotessuto L 40 m, profondità media 11 m
Materiali morti impiegati
Geotessile in poliestere
Specie vegetali impiegate
Nessuna
Periodo dei lavori
1986
Osservazioni
Non è stato realizzato alcun rinverdimento, in quanto l'opera aveva inizialmente carattere provvisorio; la struttura è stata realizzata con eccessiva verticalità e tessuto scoperto; la morfologia ha impedito lo sviluppo spontaneo della vegetazione.



Foto 1: Fase di cantiere 1986 - Foto Harpo SEIC



Foto 2: Caccamo, novembre 2003 - Foto G. Sauli

Collesano (PA)
Specificità dell'intervento
Cantiere didattico AIPIN Sicilia con realizzazione di grata viva e messa a dimora di arbusti autoctoni radicati e per talea
Provincia/ Comune/ Località
Palermo / Collesano / Vallone Zubbio
Altitudine slm /Esposizione
494 m/ NW
Lineamenti vegetazionali
Vegetazione sinantropica
Lineamenti geomorfologici
Discarica inerti
Obiettivo dell'intervento
Sistemazione tratto di versante sulla destra orografica del vallone di Zubbio con finalità antierosive e di consolidamento
Tipologie e dimensioni dell'intervento
Stuoia in juta (20 mq), stuoia cocco e paglia (20 mq), grata viva (45 mq), palificata doppia
Materiali morti impiegati
Legname squadrato da carpenteria, tondini d'armatura, biostuoie
Specie vegetali impiegate
Talee sulla palificata: <i>Salix pedicellata</i> , <i>S. alba</i> , <i>Nerium oleander</i> , <i>Fraxinus oxycarpa</i> . Talee sulla grata: <i>Spartium junceum</i> . Piante radicate: <i>Ampelodesmos mauritanicus</i> (cespi). Contemporaneo è stato lo spargimento di terreno superficiale proveniente da una macchia-gariga limitrofa (per evitare l'uso di sementi non autoctone)
Periodo dei lavori
Febbraio 1999
Osservazioni
Parte strutturale in via di disfacimento. Mancanza di terra nella parte alta. Le talee di ginestra e oleandro sono morte. Tra le piante sopravvissute hanno dato buoni risultati: <i>Spartium junceum</i> , <i>Salix pedicellata</i> e <i>ampelodesma</i>



Foto 1: Grata viva in fase di costruzione, 1999 - Foto G. Pirrera



Foto 2: Collesano, grata viva (novembre 2003) - Foto G. Sauli



Foto 3: Collesano, grata viva (novembre 2003) - Foto G. Sauli



Foto 4: Rivestimento antierosivo in stuoie in juta e cocco e paglia. Collesano (novembre 2003) - Foto G. Sauli

Contuberna (AG)
Specificità dell'intervento
Cantiere scuola AIPIN Sicilia. Consolidamento di versante con palificate (tipo Roma e di sostegno) e stuoie.
Provincia/ Comune/ Località
Agrigento / S. Stefano di Quisquina / Contuberna
Altitudine slm /Esposizione /Inclinazione °
1015 m / W / 70°-80°
Lineamenti vegetazionali
Rimboschimento di conifere a <i>Pinus pinea</i> e <i>Pinus halepensis</i> con ornelli e perastri
Lineamenti geomorfologici
Formazione geologica denominata "Megabreccia di S. Stefano". Suolo bruno calcareo brecciato. Detriti accumulati a matrice calcarea
Obiettivo dell'intervento
Stabilizzazione della pendice e contenimento della perdita di suolo tramite realizzazione di una palificata tipo Roma ed una palificata viva doppia
Tipologie e dimensioni dell'intervento
1 – Palificata Roma 2 – Palificata doppia 3 – Balze in stuoia di juta 4 – Stuoia in juta + paglia e cocco su pendenze di 30°
Materiali morti impiegati
Tronchi
Specie vegetali impiegate
Talee: <i>Crataegus monogyna</i> , <i>Rosa canina</i> , <i>Prunus spinosa</i> , <i>Ulmus canescens</i> , <i>Salix pedicellata</i> , <i>S. purpurea</i> , <i>Tamarix sp.</i> , <i>Centranthus ruber</i> , <i>Artemisia arborescens</i> , <i>Clematis vitalba</i> , <i>Spartium junceum</i> Piante radicate: <i>Pistacia terebinthus</i> , <i>Acer campestre</i> , <i>Myrtus communis</i> , <i>Fraxinus ornus</i> , <i>Fraxinus angustifolia</i> , <i>Silene fruticosa</i>
Periodo dei lavori
Ottobre – dicembre 2001 e 2002
Osservazioni
La parte strutturale è ben riuscita; assenza di marcescenza. Durante il primo anno è stata effettuata un'irrigazione tramite autobotte. Nella palificata doppia l'attecchimento delle talee è stato pari al 10%; 8 su 80 le talee di salice, 2 su 20 le talee di tamerici. Migliore l'attecchimento degli arbusti radicati



Foto 1: Palificata Roma (novembre 2003) - Foto G. Sauli



Foto 2: Palificata Roma (novembre 2003) - Foto G. Sauli



Foto 3: Palificata viva di sostegno - Foto G. Sauli



Foto 4: Particolare palificata con talea di Rosa canina - Foto G. Sauli

Colle S. Michele (CA)
Specificità dell'intervento
Intervento pilota di consolidamento e rivegetazione di scarpate in roccia all'interno di un parco urbano.
Provincia/ Comune/ Località
Cagliari / Colle San Michele
Altitudine slm /Esposizione / Inclinazione °
50 m / Sud Ovest / 55-60°
Lineamenti vegetazionali
Praterie erbacee perenni, gariga mediterranea
Lineamenti geomorfologici
Scarpata artificiale (sbancamento) di un colle marnoso con substrato litoide e detritico a matrice calcarea e marnosa. Nei dintorni sono presenti numerose cave
Obiettivo dell'intervento
Cantiere sperimentale per il consolidamento e la protezione antiersiva di scarpata rocciosa
Tipologie e dimensioni dell'intervento
Grata viva con palificata alla base; tasche vegetative in rete metallica. S 500 mq circa
Materiali morti impiegati
Pali di pino D 15-20 cm; rete metallica zincata; rete tridimensionale; stuoia in cocco.
Specie vegetali impiegate
<i>Tamarix s.p.</i> , <i>Atriplex halimus</i> , <i>Sedum sediforme</i> , <i>Lygeum spartum</i> ,
Periodo dei lavori
Gennaio-marzo 1995
Osservazioni
Sono state impiegate piante radicate in fitocella D 8 x 50 cm; difficoltà per il riporto del terreno data l'altezza della scarpata e l'impossibilità di accesso alla testa della stessa. I tronchi e le reti sembrano sufficientemente integri (osservazione difficile in quanto completamente ricoperti da vegetazione). Per la parte viva il 70 % è costituito da <i>Atriplex halimus</i> e in minima parte da <i>Tamarix s.p.</i> , <i>Sedum sediforme</i> , <i>Lygeum spartum</i> .



Foto 1: Colle San Michele, grata viva in costruzione, 1994 - Foto G. Sauli



Foto 2: Colle San Michele, grata viva in costruzione, 1994 - Foto G. Sauli



Foto 3: Colle San Michele, 2003 - Foto G. Sauli

Atina (FR)
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 rinverdita, consentirà di verificare nuove tecniche per il riutilizzo di materiali argillosi nelle opere in terra, applicabili a larga scala sul territorio italiano.
Provincia/ Comune/ Località
Frosinone /Atina/ Colle Melfa
Altitudine slm / Esposizione / Inclinazione °
400-500 m / S / 20-35°
Lineamenti vegetazionali
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-marinosi 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
Materiali morti impiegati
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
Specie vegetali impiegate
Talee di <i>Salix purpurea</i> e <i>Salix eleagnos</i> 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> .
Periodo dei lavori
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.



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



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



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



Foto 4: Idrosemina potenziata sulla terra rinforzata rinverdita (marzo 2002) - Foto P. Cornelini



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

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 Km². 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

Provincia / Località

Lucca, Massa e Carrara / Territorio Comunità Montana Alta Versilia

Lineamenti vegetazionali

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 *debris flow*. 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.

Materiali morti impiegati

Tronchi di castagno D 20-30 cm per le palificate; tondate di castagno D 10-12 cm per le canalette, pietrame, picchetti acciaio a.m., geotessuto tridimensionale.

Specie vegetali impiegate

Talee di *Salix purpurea*, *Salix eleagnos*, *Salix triandra*; piante radicate di latifoglie: *Crataegus monogyna*, *Euonymus europaeus*, *Cornus sp.pl.*, *Prunus spinosa*, *Laburnum anagyroides*, etc.

Periodo dei lavori

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.

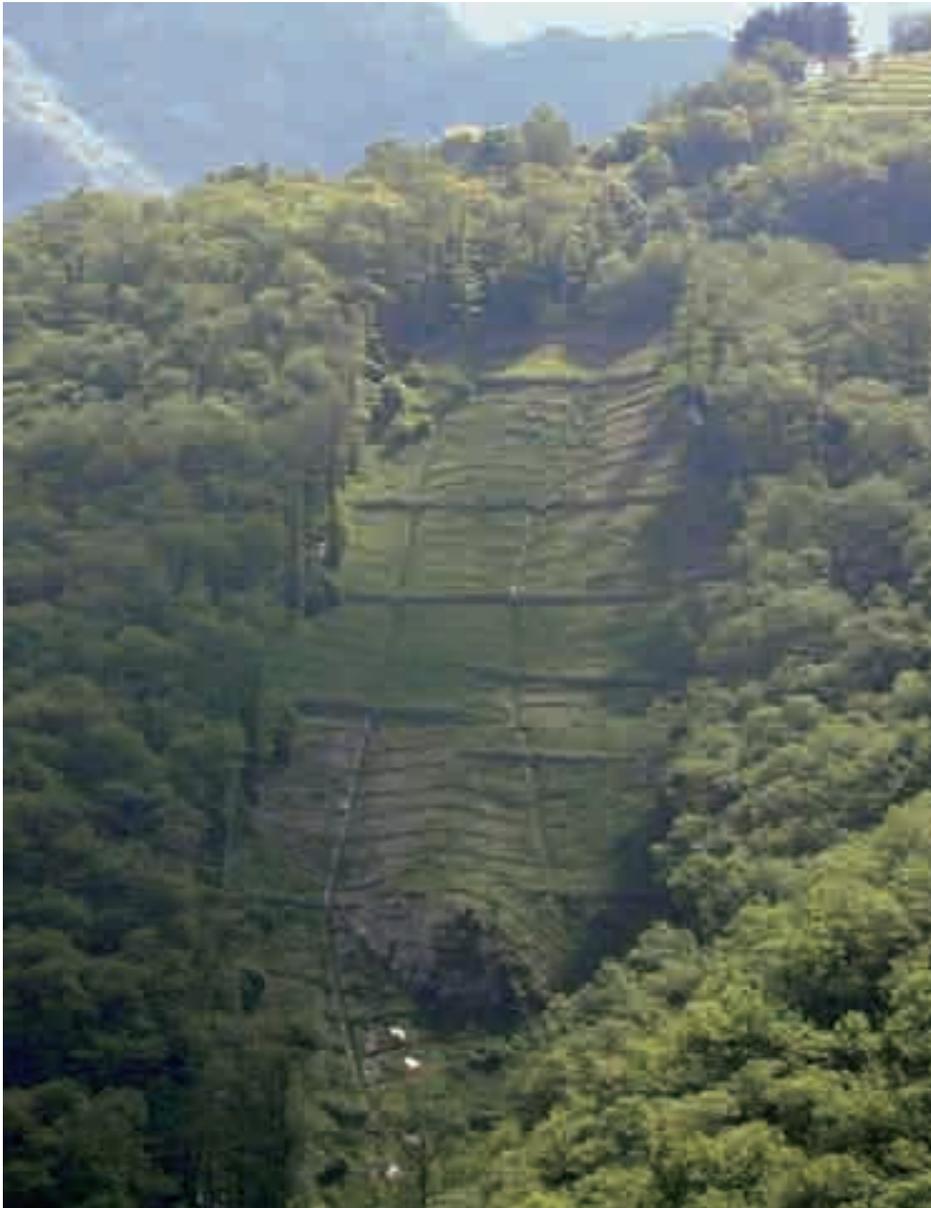


Foto 1: Frana di Pomezzana (novembre 2000) - Foto A. Trigila



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

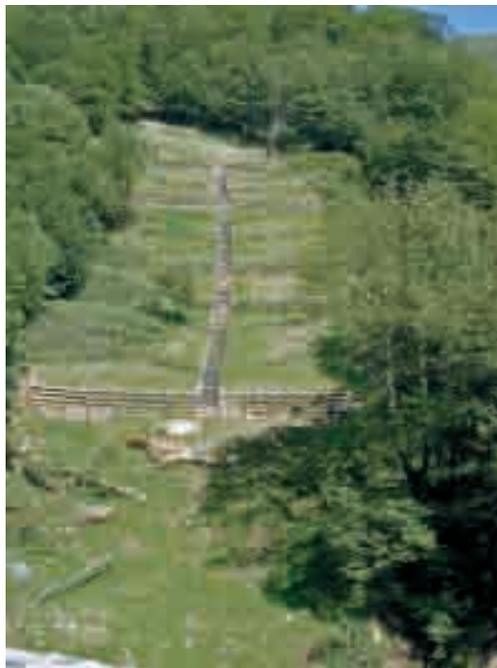


Foto 3: Frana T. Cardoso (maggio 2000) - Foto A. Trigila



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

Repubblica di San Marino
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.
Stato / Comune / Località
Repubblica San Marino / Acquaviva / Ca Amadore (<i>Bacino calanchivo di Fosso del Re</i>)
Altitudine slm / Esposizione / Inclinazione °
200-300 m / N / 17-35°
Lineamenti vegetazionali
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).
Materiali morti impiegati
Tronchi di castagno scortecciati D 8-20 cm; barre di acciaio a.m. D 14-16 mm; fascine di ramaglia.
Specie vegetali impiegate
Talee di <i>Tamarix gallica</i> . 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> .
Periodo dei lavori
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 con-

solidamento 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.



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

5.3 AREE PERCORSE DAL FUOCO

5.3.1 *Introduzione*

Il fenomeno degli incendi nelle regioni mediterranee costituisce ormai una emergenza non solo per la distruzione dei boschi, ma anche per i problemi di dissesto idrogeologico indotti.

Il fuoco, d'altronde, è un componente naturale dell'ecosistema mediterraneo ed ha avuto un ruolo fondamentale nella determinazione dell'attuale paesaggio vegetale, che è il 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.

5.3.2 *Problemi di dissesto idrogeologico indotti dagli incendi boschivi*

La resilienza della vegetazione mediterranea nel ricostituire l'assetto vegetazionale preesistente l'incendio, 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.

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.

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°C si hanno modifiche positive per la crescita delle piante, grazie alla mobilitazione dei nutrienti nel suolo
- Per temperature tra 220°C e 460°C avviene la ricristallazione 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°C 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.



Foto 5.3.1: L'apparato superficiale delle conifere non garantisce la difesa del suolo dall'erosione Popoli (AQ) (ottobre 2003) - Foto P. Cornelini

Alcuni autori hanno evidenziato la formazione di uno strato idrorepellente a pochi centimetri dalla superficie, che favorisce l'imbibizione e l'erosione dello strato sovrastante. L'aumento di erosione del suolo nelle aree percorse dal fuoco varia da 5 volte (in caso di incendio leggero) a 50 volte (incendio forte) rispetto ad una situazione indisturbata. Inoltre le perdite di suolo nei primi due mesi sono pari a 12-15 volte le perdite subite nei 3-4 anni successivi all'evento; risulta evidente, in caso di incendi forti, la necessità di intervenire entro due mesi dall'incendio (Bruschini, 2001).

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	14	g/mq/anno
C - Parcella percorsa da fuoco forte	148	g/mq/anno
D - Parcella con vegetazione tagliata	9	g/mq/anno

L'effetto negativo degli incendi ripetuti e di una certa intensità comporta quindi:

- l'erosione accelerata
- la diminuzione della capacità di infiltrazione
- l'aumento del coefficiente di deflusso
- l'aumento del rischio di frane e alluvioni

5.3.3 *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.

Una volta verificata l'incapacità di un recupero spontaneo delle fitocenosi esistenti, si cercherà di procedere prima possibile con gli interventi per la difesa del suolo.



Foto 5.3.2: Con l'asportazione della copertura vegetale a seguito degli incendi si innescano fenomeni erosivi. Spotorno (SV) (febbraio 2004) - Foto P. Cornelini

Dal momento che i fenomeni principali di degrado sono legati agli incendi ripetuti, andranno previsti 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.

Per quanto riguarda gli interventi di recupero della copertura vegetazionale 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; il legname risultante (tronchi, ramaglia) potrà essere utilizzato per opere di I.N., anche ponendolo semplicemente a fascine lungo le linee di livello e negli impluvi, con funzione di rallentamento delle acque.

Nel caso delle latifoglie arboree ed arbustive, con la ceduzione viene favorita la ripresa spontanea dei polloni dal colletto delle ceppaie.

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, purchè di specie adatte ai siti di intervento;
- nel miscuglio per le semine inserire sempre leguminose arbustive (ginestre) ed erbacee (ginestrino, trifoglie, erba medica, etc.), purchè 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, etc.) 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, etc.);

- utilizzare chips legnosi per la pacciamatura intorno alle piantine, per il mantenimento dell'umidità.

5.3.4 *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.

In proposito, 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

Joppolo (VV)
Specificità dell'intervento
Trattasi del primo intervento di sistemazione idrogeologica di aree percorse dal fuoco con tecniche di ingegneria naturalistica della Calabria
Provincia/ Comune/ Località
Vibo Valentia / Joppolo / Valletta Bosco
Altitudine slm / Esposizione / Inclinazione °
450 m / SE / 35 °
Lineamenti vegetazionali
Versante con oliveti e pinete di rimboschimento accompagnati da lembi di sughereta
Lineamenti geomorfologici
I graniti paleozoici tettonizzati con coperture di sabbioni colluviali e di detriti in massi grossolani sono interessati da frane in atto e potenziali di tipo roto-traslazionale e da crollo e da colate detritiche
Obiettivo dell'intervento
Stabilizzazione dei versanti per la messa in sicurezza dell'abitato sottostante e ripristino della vegetazione danneggiata dall' incendio
Tipologie e dimensioni dell'intervento
Palificata viva doppia 234 mc; gradonata viva L 700 m; briglie in legname e pietrame 260 mq; piantagione di specie arboree autoctone n. 5000; piantagione di specie arbustive autoctone n. 3500
Materiali morti impiegati
Tronchi di castagno scortecciato D 20- 30 cm; Pali di castagno di diametro D 6 -12 cm; Picchetti acciaio a.m. D 12 cm.
Specie vegetali impiegate
Piante radicate: <i>Quercus pubescens</i> , <i>Quercus suber</i> , <i>Quercus ilex</i> , <i>Fraxinus omus</i> , <i>Cytisus scoparius</i> , <i>Myrtus communis</i> , <i>Pistacia lentiscus</i> , <i>Arbustus unedo</i>
Periodo dei lavori
Autunno- inverno 2002
Osservazioni
Le piante hanno superato, con notevoli fallanze, l'estate aridissima del 2003. È necessario un intervento di manutenzione con la sostituzione delle piante morte.



Foto 1: Palificata doppia con arbusti mediterranei autoctoni (ottobre 2003) - Foto Panzitta Cortose



Foto 2: Briglia in legname e pietrame (ottobre 2003) - Foto Panzitta Cortose

Pizzoli (AQ)
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
Provincia/ Comune/ Località
L'Aquila / Pizzoli / Fosso del Buco
Altitudine slm / Esposizione / Inclinazione °
850-1150 m / prevalente S-SO / Inclinazione media 30°
Lineamenti vegetazionali
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
Materiali morti impiegati
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
Specie vegetali impiegate
Talee di <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.
Periodo dei lavori
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.



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



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

5.4 STRADE E FERROVIE

5.4.1 Premessa

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

Vanno, comunque, considerati e progettati nell'ambito delle opere di mitigazione delle infrastrutture lineari viarie anche altri interventi di natura puramente tecnologica quali:

- vasche di sicurezza e sistemi di captazione degli inquinanti di piattaforma e degli sversamenti accidentali;
- sovrappassi e sottopassi faunistici;
- pannelli fonoassorbenti e barriere antirumore in genere.

Vanno anche in questo caso privilegiate soluzioni biotecniche (es. barriere vegetative antirumore, ecosistemi filtro, etc) a quelle puramente tecnologiche.

Le principali interferenze naturalistiche indotte dalla realizzazione di infrastrutture viarie (strade, ferrovie) di vario ordine sono legate a: a) sparizione fisica di notevoli superfici di territorio; b) distruzione di ecosistemi e/o interruzione della continuità di habitat; c) realizzazione di vaste superfici denudate di neoformazione collegate direttamente o indirettamente (cantieri, cave di prestito) con l'infrastruttura .

Anche se l'infrastruttura attraversa aree prive di valori naturalistici, ad esempio zone di pianura a vaste superfici di agricoltura intensiva, va comunque considerata l'opportunità di una riqualificazione del paesaggio attraversato mediante: ricostruzione di habitat, ricostituzione di elementi della rete ecologica, realizzazione di fasce boscate tampone a lato strada, etc.

Di tutte queste superfici va prevista la rivegetazione sia per motivi funzionali (antierosivi, di stabilizzazione in genere), sia naturalistici e paesaggistici.

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

Va identificata la figura specifica di un professionista esperto in progettazione di opere di mitigazione e di ingegneria naturalistica in grado, tra l'altro, di effettuare le analisi degli elementi naturalistici di supporto alla progettazione per la individuazione a priori non solo delle emergenze da tutelare, ma anche delle possibilità concrete di adottare determinati interventi di ripristino.

A tal fine va presa in esame la seguente lista pragmatica di controllo:

- disponibilità di superfici a lato strada per interventi di rivegetazione;
- disponibilità di suolo vegetale nell'ambito del cantiere o possibilità di reperimento e ammendamento di inerti terrosi derivati;
- possibilità di adozione di tecniche di ingegneria naturalistica negli interventi di consolidamento e rivegetazione di scarpate di neoformazione;
- selezione delle specie vegetali autoctone di possibile impiego;

- disponibilità di mercato delle stesse o, in alternativa, possibilità di realizzare vivai temporanei;
- individuazione dei problemi di interferenze faunistiche e possibilità di realizzare strutture per il mantenimento dei dinamismi di certe specie animali;
- possibilità di adottare provvedimenti antinquinamento con tecniche naturalistiche (barriere vegetative antirumore, ecosistemi filtro quali presidi idraulici di sicurezza, etc).

Gli interventi ambientali nel settore viario si possono principalmente distinguere in alcune categorie di opere di seguito elencate:

1) opere di mitigazione vere e proprie cioè quelle direttamente collegate agli impatti quali, ad esempio, barriere antirumore a lato strada per mitigare l'impatto da rumore prodotto dal traffico veicolare, le vasche di sicurezza e i presidi idraulici per intercettare i liquidi di piattaforma stradale, etc.;

2) quelle di "ottimizzazione" del progetto che sono in realtà la maggior parte e non necessariamente collegate con un eventuale impatto su beni naturali di pregio preesistenti, quali ad esempio: la creazione di fasce vegetate di riambientazione di una strada in zona agricola, la rivegetazione di tutte le scarpate, airole, aree di svincolo etc.;

3) opere di compensazione cioè gli interventi non strettamente collegati con l'opera, che vengono realizzati a titolo di "compensazione" ambientale quali, ad esempio, creazione di habitat umidi o zone boscate in aree di ex cave presenti nell'area, bonifica e rivegetazione di siti devastati, anche se non prodotti dal progetto in esame.

A livello metodologico sull'impiego di specie e materiali negli interventi di ingegneria naturalistica, valgono le considerazioni del Capitolo sulla Deontologia.

5.4.2 Tipologie degli interventi

Scarpate in rilevato o a raso (figura 5.4.A)

Va previsto in generale per tutte le superfici a raso e per le scarpate in rilevato:

- il riporto di terreno vegetale;
- la formazione di cotici erbosi mediante semine, in genere idrosemine (foto 5.4.1);
- la formazione di siepi tra le carreggiate;
- la messa a dimora di specie arbustive ed arboree con attenzione ai problemi di invasione della sagoma dei veicoli, mantenendo quindi una fascia di sgombro adeguata (da 2 a 4 m) a solo cotico erboso (figure 5.4.A1a,b,c,d e foto 5.4.2);
- la rivegetazione dei rilevati di ricomposizione morfologica (es. portali di gallerie)

Anche gli eventuali interventi di sostegno dei rilevati vanno, se possibile, realizzati con tecniche di I.N. o miste quali: palificate vive, gabbionate rinverdite, terre verdi rinforzate semplici o doppie (vedi figura e foto in scheda interventi – Blufi), muri cellulari rinverditi (figure 5.4.A2a, b, c, d e foto 5.4.3, 5.4.4).

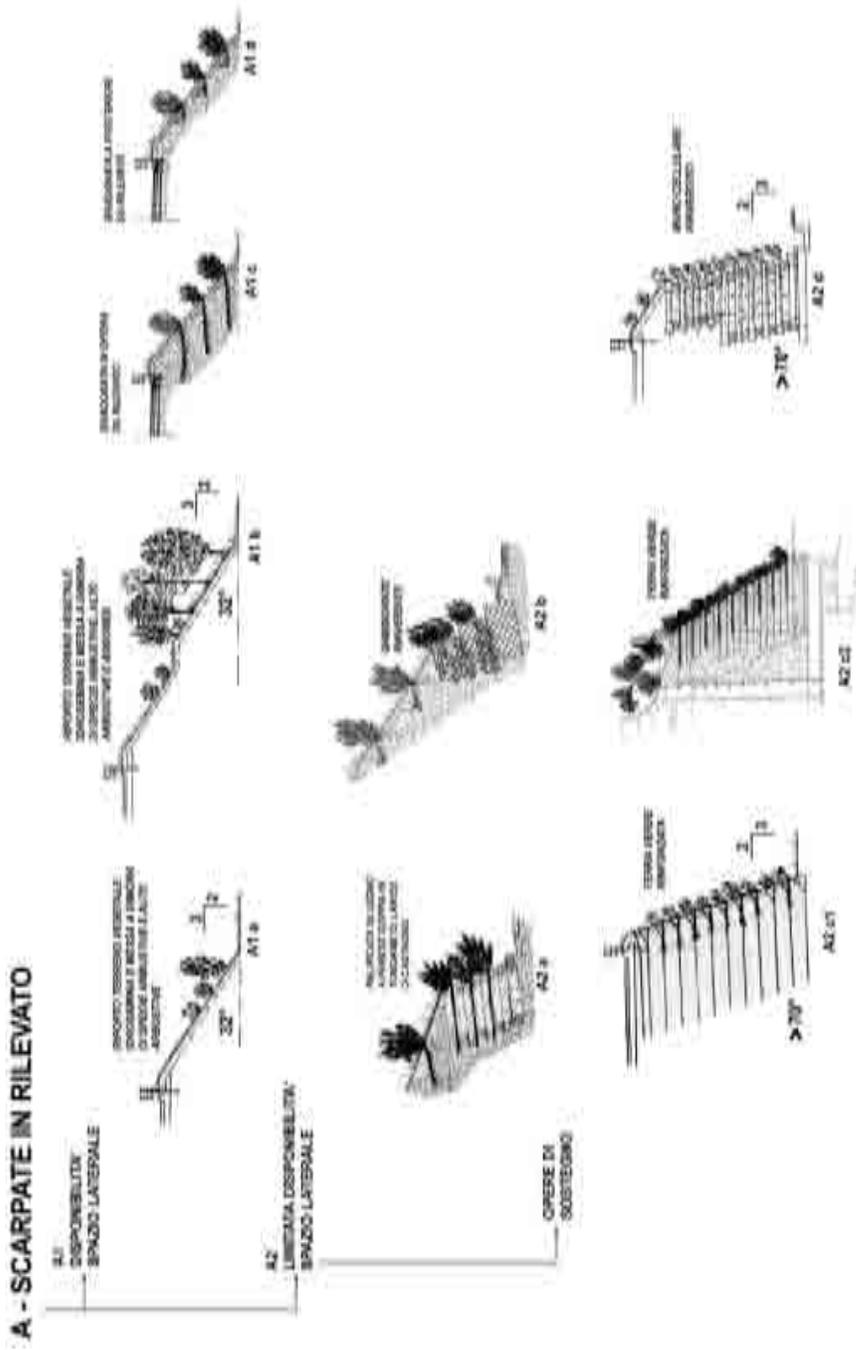


Figura 5.4.A: Interventi di I.N. strade e ferrovie



*Foto 5.4.1: Idrosemina a spessore -
Foto G. Sauli*



Foto 5.4.2: Messa a dimora di arbusti autoctoni su rilevato autostradale Aurisina (TS) - Foto G. Sauli



Foto 5.4.3: Consolidamento al piede di rilevato stradale con terre rinforzate verdi Casello di Villesse (GO) - Foto G. Sauli



Foto 5.4.4: Consolidamento al piede di rilevato stradale con terre rinforzate verdi dopo alcuni mesi Casello di Villesse (GO) - Foto G. Sauli

Scarpate in trincea (figura 5.4.B)

Le scarpate in scavo o in trincea rappresentano una casistica molto frequente tipica dei tracciati in zone montane e collinari, sia perché si cerca di bilanciare i volumi scavi/riporti per limitare i costi di approvvigionamento degli inerti da cave di prestito, sia per evitare antiestetici cavalcavia e viadotti negli incroci con altra viabilità.

Data la natura litoide del substrato e le pendenze di scavo, nella prassi normale non sono previsti interventi a verde su tali scarpate, creando problemi di reinserimento paesaggistico, ma talvolta anche funzionali di erosione da ruscellamento nelle litologie meno compatte o, addirittura, di franamenti difficili da mettere in sicurezza.

Le scarpate in trincea andrebbero progettate a seconda della litologia, non soltanto in funzione della stabilità geomeccanica, ma anche della ripristinabilità (tabella 5.4.1). Rocce sciolte quali ghiaie e sabbie terrazzate, argille sovraconsolidate, marne, conglomerati, etc, vanno, ove non sussistano impedimenti al contorno, scavate a pendenze non superiori ai 35° , per consentire appunto riporti di suolo e successiva rivegetazione, con beneficio anche della stabilità superficiale e durata nel tempo delle scarpate stesse. In certi casi di litologie particolarmente friabili è necessario ricorrere a costose ed impattanti tecniche di stabilizzazione mediante mantellate in cls.

Tabella 5.4.1: Interventi di sistemazione ambientale delle scarpate

<i>Litologia</i>	<i>Pendenza</i>	<i>Intervento</i>
Sabbie ghiaiose e ghiaie sabbiose	Angoli inferiori o uguali a 35°	Tipologia A: Riporto di terreno vegetale + idrosemina + messa a dimora di arbusti autoctoni
	Tra 35° e 40°	Tipologia B: Riporto di terreno vegetale + rivestimento vegetativo a stuoia con reti metalliche + messa a dimora di talee e arbusti autoctoni
Limi sabbiosi e sabbie limose a bassa plasticità	Inferiori o uguali a 30°	Tipologia A
	Tra 30° e 40°	Tipologia B
Limi sabbiosi e argillosi plastici, argille limoso-sabbiose	Inferiori o uguali a 28°	Estensione in altezza inferiore a 5 m Tipologia A + eventuale biostuoia
		Estensione in altezza superiore a 5 m Tipologia A + eventuale biostuoia + eventuale drenaggio biotecnico (tip.G)
	Tra 28° e 38°	Tipologia B o vimate vive (tip. D) + idrosemina + messa a dimora di talee e arbusti radicati
	Tra 38° e 44°	Grate vive (tip. I) o fascinate (tip. F) o vimate (tip.D) + idrosemina + messa a dimora di talee e arbusti radicati
Tufi litoidi conglomerati cementati	Tra 55° e 65°	Rinaturazione spontanea + eventuali locali interventi di ancoraggio con reti metalliche

Da S.I.A. 3° corsia Orte-Fiano

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

Nel caso di rocce compatte non necessariamente va adottata la massima pendenza tecnicamente possibile, ma il progetto dovrà tener conto dell'assetto e dei raccordi morfologici in funzione di ottimizzazione paesaggistica. Gli interventi di rivestimento vegetativo nel caso di scarpate in roccia ricondotte a pendenze maggiori (45° - 60°) sono molto onerosi o addirittura impossibili.

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 interventi antierosivi e stabilizzanti con tecniche di ingegneria naturalistica.

In figura. 5.4.B e foto da 5.4.5 a 5.4.12 viene riportata una possibile casistica di interventi a verde su scarpate in trincea. Si noti che certe sistemazioni come ad esempio l'impiego dello "spritz-beton", anche se "rinverdito" con rampicanti (foto 5.4.12), non sono da considerarsi interventi di I.N., mentre esistono tecniche alternative a pari funzione quali il rivestimento vegetativo in rete e stuoia che ha migliori prospettive di rinverdimento su rocce sciolte a pendenza minore (vedi foto in scheda interventi – Arezzo). Anche la sola rete metallica su rocce fratturate costituisce di per sé un sistema antierosivo che facilita la rivegetazione (vedi foto in scheda interventi – SS 195 Cagliari).

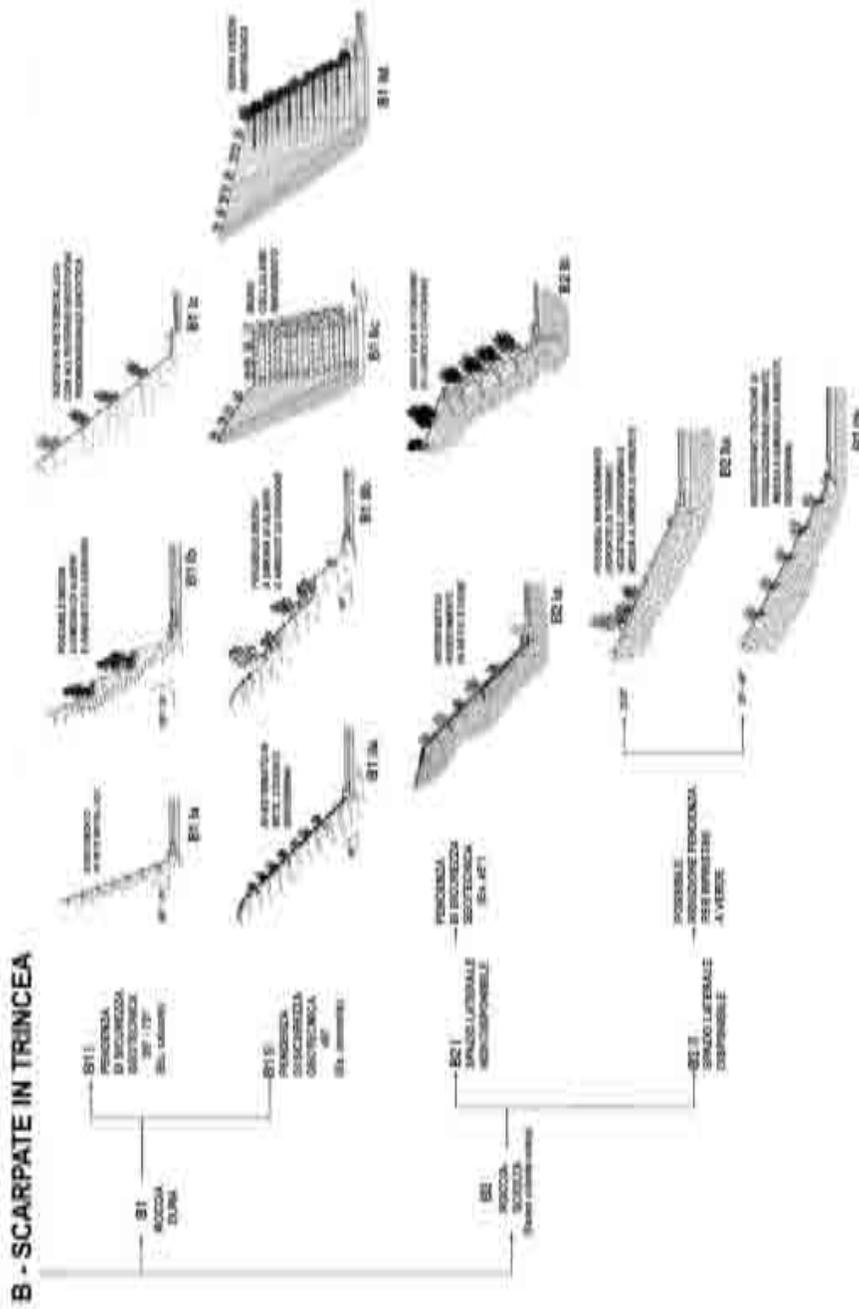


Figura 5.4.B: Interventi di I.N. strade e ferrovie



Foto 5.4.5: Colonizzazione spontanea scarpate in argilla con Arundo pliniana, Hedysarum coronarium (3° corsia Autostrada Fiano-Orte) - Foto G. Sauli



Foto 5.4.6: Rivegetazione scarpate, zona colline moreniche (Autostrada Udine - Tarvisio) - Foto G. Sauli



Foto 5.4.7: Messa a dimora di arbusti della macchia mediterranea su scarpate in trincea su litologia a matrice argillosa (3° corsia Autostrada Fiano-Orte) - Foto G. Sauli



Foto 5.4.8: Grata viva su scarpata in trincea Montenars (UD) - Foto G. Sauli



Foto 5.4.9: Mantellate verdi su scarpata (3° corsia Autostrada Fiano-Orte) - Foto G. Sauli



Foto 5.4.10: Muro cellulare rinverdito Tarvisio Boscoverde (UD) - Foto G. Sauli



Foto 5.4.11: Muri cellulari rinverditi su scarpata in scavo (CZ) - Foto G. Sauli



Foto 5.4.12: Scarpata con spritz beton con rampicanti S. Simeone (UD) - Foto G. Sauli

5.4.3 Opere di sostegno

Per quanto riguarda le opere di sostegno applicabili in ambito stradale e ferroviario sia su scarpate in rilevato che in trincea, sono ormai collaudate una serie di tecniche di ingegneria naturalistica che possono essere realizzate in sostituzione o in abbinamento con strutture tradizionali. Risultano proponibili principalmente le seguenti tecniche (per i dettagli vedasi il capitolo 7):

1 - Terre rinforzate rinverdite

Consentono opere di sostegno importanti di altezze anche notevoli, alternative di rilevati a pendenza naturale, ma con notevole risparmio di spazio, o alternative di opere murarie in calcestruzzo, ma con migliore reinserimento paesaggistico (figura 5.4.A2c1, figura 5.4.B1IId, foto 5.4.3, 5.4.4,) opere con funzione combinata di sostegno di rilevati e rivestimento (figura 5.4.A2c2)

2 - Muri cellulari rinverditi (foto 5.4.10) e muri verdi in terra armata;

3 - Gabbionate rinverdite (figura 5.4.A2b);

4 - Palificate e grate vive utilizzabili per sostegno e rivegetazione di scarpate, piste laterali, etc. (figura 5.4.A2a e 5.4.B2Ib, foto 5.4.8).

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

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

Gli interventi con talee, ove possibili, sono facilitati se eseguiti in corso di costruzione della struttura (consentendo l'inserimento di astoni anche di 2 – 3 m), ma sono soggetti ai limiti stagionali (autunno – inverno) di messa a dimora delle talee.

5.4.4 Rivegetazione a lato strada

Una categoria particolare di opere a verde a lato strada è costituita da opere compensatorie di tipo naturalistico quali gli interventi di rivegetazione non strettamente connessi con le pertinenze stradali (scarpate, rilevati), anche se collegate all'attenuazione di agenti inquinanti derivati.

Vengono di seguito citate alcune categorie di tali interventi:

- Realizzazione a lato strada di fasce di vegetazione “tampone” con funzioni di “filtro” sia per l’inquinamento atmosferico che luminoso e visuale, di almeno 10 m (figura 5.4.C1). Tali barriere verdi non hanno di per se, in genere, funzioni antirumore e vanno abbinate, nel caso, a barriere fonoisolanti.
- Interventi di rivegetazione sia nelle aree di pertinenza della strada, a titolo di mitigazione diretta degli impatti, sia a titolo compensatorio, in area più vasta, con la finalità di migliorare il tessuto delle reti ecologiche, dei corridoi faunistici ed, in genere, per l’aumento della biodiversità (figura 5.4.C2).
- Rivegetazione delle aree sotto i viadotti, che rimangono spoglie, in genere, non per mancanza di luce, ma di acqua, che può però essere facilmente portata con un sistema di tubi diffusori per subirrigazione, collegati con la rete idrica o in serie con le acque di smaltimento di piattaforma opportunamente condizionate con delle vasche di prima pioggia (figura 5.4.C3).

Interventi antirumore

Una delle problematiche legate all’esercizio di strade e ferrovie è quello del rumore, che va affrontato in sede di scelta del tracciato, mantenendo ove possibile l’infrastruttura a distanze di sicurezza dagli abitati.

Nel caso che questo tipo di interferenza si manifesti per vari motivi contingenti (vincoli morfologici, preesistenza di edifici in adiacenza nel caso di ampliamenti, etc), vanno realizzati presidi antirumore che, nei settori stradale e ferroviario, sono ormai adottati in Europa da oltre 20 anni.

La tipologia più diffusa, per motivi di praticità, in particolare legati allo spazio e al massimo avvicinamento alla sorgente, è quella dei pannelli fonoisolanti montati su supporti metallici al ciglio strada (foto 5.4.17).

L’uso della vegetazione con funzioni antirumore richiede fasce boscate molto ampie (superiori ai 25-30 m e, quindi, poco proponibili nella realtà territoriale italiana) e costituite da vegetazione arboreo- arbustiva molto fitta e realizzata con specie molto ramosi e con una componente di sempreverdi (resinose e latifoglie) di almeno il 30%.

Altri sistemi a verde possono essere realizzati con uso di terrapieni vegetati con le tipologie che seguono:

- in terrapieno naturale vegetato, che richiede però comunque notevoli occupazioni di spazio lato strada e rilevanti quantità di inerti (figura 5.4.D1);
- in strutture a terrapieno compresso verde che, a loro volta, si distinguono in alcune tipologie costruttive:
 - in doppia terra rinforzata rinverdita in rete sintetica (figura 5.4.D2);
 - in doppia terra rinforzata rinverdita in rete metallica zincata e plastificata (figura 5.4.D3 e foto 5.4.13 e 5.4.14);
 - barriera vegetativa antirumore (figura 5.4.D4 e foto 5.4.15 e 5.4.16);
- in doppio muro cellulare rinverdito in calcestruzzo (figura 5.4.D5 e D6));
- in doppio muro cellulare rinverdito in legno;
- in pannelli fonoisolanti abbinati a terrapieni verdi (figura 5.4.D7 e foto 5.4.17) o a fasce di vegetazione. La scelta dei materiali, il dimensionamento in altezza, la scelta delle specie dovranno tener conto sia dei parametri tecnici, sia delle caratteristiche della vegetazione locale (uso di specie autoctone), che dei problemi di natura paesaggistica.

Nel caso si adottino pannelli trasparenti, la loro presenza va segnalata con adesivi di sagome di falconiformi per evitare lo schianto degli uccelli in planata (figura 5.4.F3). L'esperienza degli ultimi anni dimostra che in certe situazioni (in genere viadotti in aree urbane) si sono verificate numerose collisioni mortali.

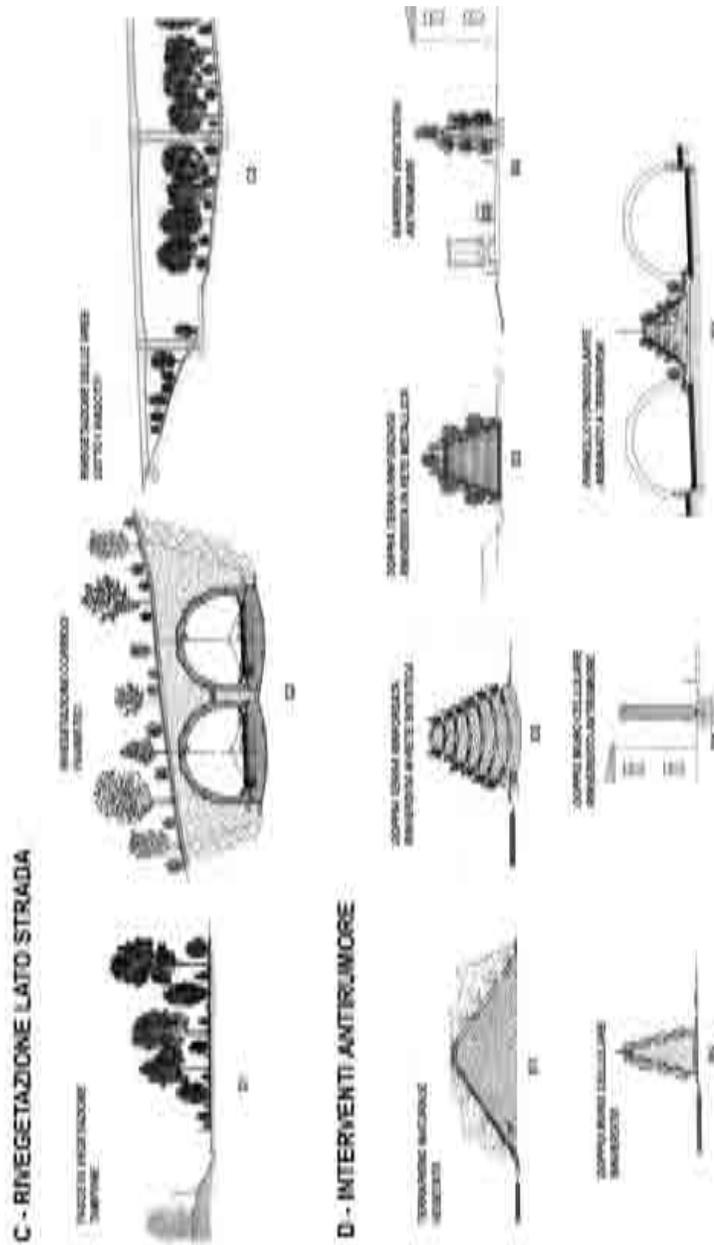


Figura 5.4.C e D: Interventi di I.N. strade e ferrovie



Foto 5.4.13: Fase di costruzione di terrapieno antirumore in doppia terra rinforzata verde (Bologna) - Foto G. Sauli



Foto 5.4.14: Terrapieno antirumore in doppia terra rinforzata verde (A.V. Torino - Milano) - Foto Maccaferri



Foto 5.4.15: Particolare barriera vegetativa antirumore - Foto G. Sauli



Foto 5.4.16: Barriera vegetativa antirumore in terrapieno compresso dopo 10 anni (Autostrada dei Trafori - Loc. Baveno) - Foto G. Sauli



Foto 5.4.17: Pannelli fonoisolanti misti Aurisina (TS) - Foto G. Sauli

Presidi idraulici e vasche di sicurezza

Un altro dei problemi di potenziale inquinamento derivante dall'esercizio delle strade è quello dei liquidi derivanti dalle piattaforme stradali, in particolare le acque di prima pioggia che trasportano nei recapiti una serie di inquinanti. Vanno in tal senso realizzati sistemi di drenaggio collegati con delle strutture di presidio idraulico per la captazione degli inquinanti a lato strada.

La collocazione, il numero, il dimensionamento e la tipologia dei presidi (vasche di prima pioggia, vasche di sicurezza, ecosistemi filtro, etc.) vanno progettate in funzione dei seguenti fattori:

- presenza di corpi idrici vulnerabili (corsi d'acqua di particolare pregio, falde freatiche superficiali o di uso idropotabile, sorgenti, etc.);
- volume di traffico;
- presenza abituale di veicoli per trasporto di liquidi pericolosi;
- piovosità annua e concentrazioni stagionali/giornaliere;
- tempi di ritorno considerati in funzione della valutazione del rischio (in genere per le strade si considerano tempi di ritorno bassi per evitare sovradimensionamenti inutili);
- superficie della sezione di piattaforma considerata;
- natura litologica del substrato in funzione della permeabilità.

Vengono individuate due casistiche principali:

1) quella delle **acque di dilavamento della piattaforma stradale** che, notoriamente, contengono residui inquinanti di varia natura (tabella 5.4.2) e che risultano concentrati nelle acque di prima pioggia, che, tramite i sistemi di drenaggio e canalizzazione, vengono convogliate nei recapiti adiacenti alla strada stessa;

2) quella degli **sversamenti accidentali** di liquidi inquinanti (benzina, gasolio, trielina, etc) trasportati da veicoli in transito a seguito di incidenti.

Tabella 5.4.2: Principali inquinanti della piattaforma stradale

<i>Agenti inquinanti</i>	<i>Principali fonti di emissione</i>
Elementi particellari	Logorio della pavimentazione, operazioni di manutenzione, atmosfera
Nitrati e fosfati	Fertilizzanti provenienti dalle fasce di pertinenza atmosfera
Piombo	Gas di scarico, consumo pneumatici (additivi minerali), oli lubrificanti, grassi, consumo cuscinetti
Zinco	Consumo pneumatici (additivi minerali), olio motore (additivi stabilizzanti)
Ferro	Ruggine carrozzeria, elementi complementari della strada (barriere, segnali, etc), parti mobili motore
Rame	Rivestimenti metallici, consumo cuscinetti, boccole e ferodi, parti mobili motore, fungicidi, pesticidi usati nelle operazioni di manutenzione
Cadmio	Consumo pneumatici (additivi minerali), applicazione di insetticidi
Cromo	Rivestimenti metallici, parti mobili del motore, consumo dei ferodi
Nickel	Gas di scarico dei motori, oli lubrificanti, rivestimenti metallici, consumo delle boccole e ferodi
Manganese	Parti mobili del motore
Bromo	Gas di scarico dei motori
Cianuro	Sostanze agglutinanti usate nei sali disgelanti
Na, ca	Sali disgelanti, grassi
Cl	Sali disgelanti
SO ₄	Spillamento e perdite di lubrificanti, antigelo, fluidi idraulici, bitumi flussati
Pcb	Insetticidi a base di pcb
Batteri patogeni (indicatori)	Rifiuti vari, sostanze organiche putrescibili
Gomma	Consumo dei pneumatici
Amianto	Consumo frizione e freni
Grassi idrocarburi	Oli lubrificanti a base di n-paraffine, anticongelanti, fluidi per comandi idraulici

Nel primo caso va realizzato un sistema costituito da (figura 5.4.E):

- sezione di piattaforma che costituisce il bacino di raccolta delle acque meteoriche;
- drenaggi e canalizzazioni convogliati in uno stesso punto;

- fossi di infiltrazione nel caso sia possibile questo sistema di smaltimento delle acque (figura 5.4.E2)
- vasche di prima pioggia con funzioni: a) di sedimentazione del particolato che veicola la maggior parte degli inquinanti; b) di disoleazione per i leggeri (oli);
- ecosistemi filtro sotto forma di vasche con vegetazione palustre per il filtraggio ed abbattimento degli inquinanti (figura 5.4. E3 e foto 5.4.18).

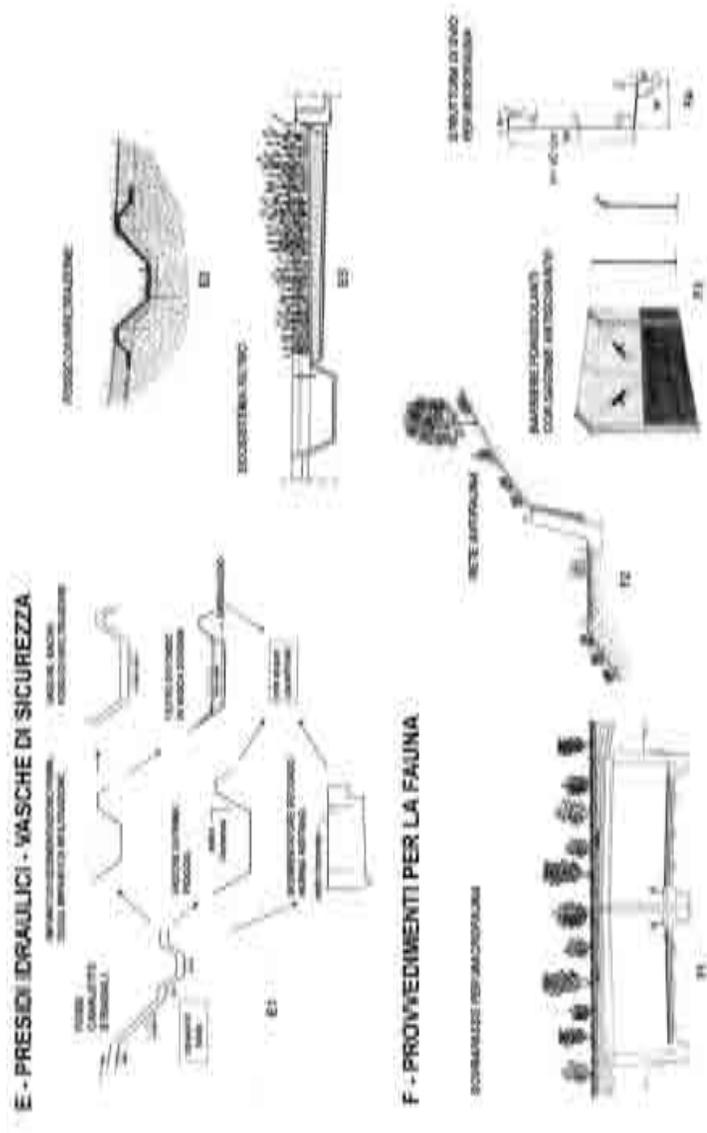


Figura 5.4.E e F: Interventi di I.N. strade e ferrovie



Foto 5.4.18: Ecosistemi filtro con funzione di vasche di prima pioggia in costruzione a lato strada (Brema-D) - Foto G. Sauli

Nel secondo caso va realizzato un sistema costituito da:

- sezione di piattaforma che costituisce il bacino di raccolta delle acque meteoriche;
- drenaggi e canalizzazioni convogliati in uno stesso punto;
- vasche stagne a cascata con sistema di autosvuotamento a sifone, dimensionate in funzione del parco autocisterne circolanti (max 40 mc) e dei parametri di piovosità (massime concentrazioni per evento), in modo che vi sia sempre disponibile una vasca vuota di dimensioni tali da poter contenere tutto il volume di inquinante sversato, anche in presenza di piogge eccezionali per il tempo necessario stimato per l'intervento dei mezzi di emergenza.

In attesa di normative e direttive tecniche specifiche, come già adottate in altri paesi europei, vanno concordati caso per caso, nell'ambito della procedura di V.I.A., i valori soglia e i parametri di riferimento per l'ubicazione, il numero, le tipologie ed il dimensionamento delle vasche. Una prima serie di indicazioni metodologiche sono contenute negli atti del Workshop organizzato dal Ministero dell'Ambiente "Presidi idraulici e vasche di sicurezza in ambito stradale" Roma 13 giugno 2000" (atti pubblicati dalla rivista *Le Strade* n° 12 dicembre 2000).

Nell'ambito di tali progettazioni dovrà essere data priorità all'utilizzo di sistemi biotecnici riferiti all'I.N. (bacini o avvallamenti di infiltrazione vegetati, ecosistemi filtro, vasche di paludaggio), visto il contributo determinante dato dai processi biologici alle funzioni di purificazione delle acque, nonché la ulteriore garanzia di trappola degli inquinanti data da un ecosistema filtro in uscita ai sistemi tecnologici.

Provvedimenti per la fauna

Un altro settore di problematica naturalistica indotta dalla realizzazione e gestione delle strade riguarda le possibili interferenze con la fauna.

Una prima verifica da effettuare in sede di valutazioni di impatto riguarda la consistenza faunistica dell'area attraversata e la eventuale presenza di habitat di pregio lungo il tracciato.

Tali dati di analisi consentono gli opportuni spostamenti del tracciato stradale, fermo restando che, anche nelle zone a minor pregio, sono possibili interferenze con singole specie, dati i dinamismi di certi gruppi faunistici (es. uccelli).

Buona regola adottare in sede di progetto i provvedimenti atti ad evitare la frammentazione degli habitat ed, in genere, le interferenze con i dinamismi della fauna quali:

- prolungamento di viadotti in sostituzione di tratti in rilevato;
- realizzazione di sovrappassi (ponti ecologici) per macrofauna (figura 5.4.F1 e foto 5.4.19);
- sottopassi scatolari per macrofauna e per microfauna collegati con provvedimenti di svio e deviazione (figura 5.4.F4) ;
- sistemi di recinzioni particolari realizzate con reti a maglia decrescente, interrata alla base e dimensionate in rapporto alla fauna presente (figura 5.4.F2).

La tipologia, la collocazione e la frequenza di tali provvedimenti andranno individuati in funzione del territorio attraversato sulla base dell'analisi faunistica. In assenza di dati probatori verranno adottate tipologie e frequenze prudenziali (minimo un passaggio ogni 500 m).



Foto 5.4.19: Sovrappasso per uso faunistico (Lussemburgo) - Foto G. Sauli

Blufi (PA)
Specificità dell'intervento
Primo rilevato stradale basato su doppia terra rinforzata realizzato in Italia
Provincia/ Comune
Palermo/ Blufi
Altitudine slm / Esposizione/Inclinazione °
638 m / Strada asse SW-NE; scarpate: NW- SE / 32° - 45° (rispettivamente parte alta e bassa della scarpata)
Lineamenti vegetazionali
Coltivi collinari
Lineamenti geomorfologici
Falda affiorante
Obiettivo dell'intervento
Consolidamento di rilevato stradale su terreni umidi
Tipologie e dimensioni dell'intervento
Sulla parte basale del rilevato, avente una pendenza di 45° , si è operato tramite doppia terra rinforzata L 300 m
Materiali morti impiegati
Geotessuti ad elevata resistenza a trazione/taglio
Specie vegetali impiegate
Nessuna
Periodo dei lavori
1988
Osservazioni
A distanza di 15 anni la struttura risulta integra. Si è sviluppata una vegetazione erbacea infestante.



Foto 1: Uno dei primi rilevati stradali in doppia terra rinforzata realizzati in Italia Loc. Blufi 1988 - Foto Harpo SEIC



Foto 2: Idem, Loc. Blufi, novembre 2003 - Foto G. Sauli

Pula (CA)
Specificità dell'intervento
Rivegetazione con idrosemina a spessore e reti metalliche con biostuoie su scarpate stradali in roccia
Provincia/ Comune/ Località
Cagliari / Sarroch / Strada SS 195 (4 corsie) altezza uscita Sarroch
Altitudine slm /Esposizione/Inclinazione °
50 m / E / 45°
Lineamenti vegetazionali
Incolti
Lineamenti geomorfologici
Scarpata in trincea alta 15-20 m con berma intermedia in roccia granitica e substrato costituito da detrito colluviale granitico cementato
Obiettivo dell'intervento
Sistemazione antierosiva superficiale per evitare l'intasamento della canaletta stradale
Tipologie e dimensioni dell'intervento
Rivestimento vegetativo in rete e stuoia e idrosemina S 5000 mq circa
Materiali morti impiegati
Stuoia in paglia, rete zincata a doppia torsione
Specie vegetali impiegate
Nessuna
Periodo dei lavori
Febbraio 1995
Osservazioni
La biostuoia si è decomposta, ad eccezione della reticella di supporto in plastica. La rete metallica è in buono stato. La copertura è variabile in funzione del substrato; nei tratti litoidi è intorno al 15%, nei tratti a graniti alterati, ove è più facile l'attecchimento, raggiunge l'80%. In ogni caso sulla berma, che consente l'accumulo di suolo e di umidità, è intorno all'80%. Le specie originarie del miscuglio sono state sostituite da specie spontanee erbacee ed arbustive. Le specie dominanti sono <i>Inula viscosa</i> , <i>Avena barbata</i> , <i>Daucus carota</i> , <i>Trifolium sp.</i> , <i>Carlina corymbosa</i> , <i>Tamarix sp.</i> , <i>Calicotome villosa</i> , <i>Cistus monspeliensis</i> , <i>Lavandula stoechas</i> , <i>Helichrysum italicum</i> , etc.



Foto 1: Nuova SS 195 Km 18 per Pula (CA), rete metallica con funzione antierosiva (settembre 2003) - Foto G. Sauli



Foto 2: Nuova SS 195 Km 18 per Pula (CA), rete metallica con funzione antierosiva (settembre 2003) - Foto G. Sauli

Scarpata ferroviaria linea Alta Velocità Roma-Firenze (AR)
Specificità dell'intervento
Intervento antierosivo e stabilizzante su scarpate ferroviarie in argilla a 40-45°
Provincia/ Località
Arezzo/ Km 201 circa linea AV Roma-Firenze
Altitudine slm /Esposizione/Inclinazione °
240 m /SW/ 40-45°
Lineamenti vegetazionali
Ambito agricolo
Obiettivo dell'intervento
Protezione antierosiva superficiale e stabilizzazione della scarpata
Tipologie e dimensioni dell'intervento
Rivestimento vegetativo in paglia e rete zincata plastificata; piantagione di talee di salice e di arbusti radicati autoctoni; idrosemina; dimensioni: H = 3-7 m, L = 500 m
Materiali impiegati
Paglia a fibra lunga, rete a doppia torsione zincata e plastificata chiodata con barre di acciaio a.m. D 22 mm, L 1,5m
Specie vegetali impiegate
<i>Salix purpurea</i> (talee); <i>Crataegus monogyna</i> , <i>Cornus sanguinea</i> , <i>Spartium junceum</i> , (piante radicate)
Periodo dei lavori
Febbraio 1990
Osservazioni
L'intervento ha garantito la stabilizzazione della scarpata con l'avvio di una evoluzione spontanea che ha portato, in 12 anni, da situazioni erbacee iniziali dominate da leguminose (erba medica e lupinella) a fitocenosi a prevalenza di specie erbacee spontanee, con sviluppo di arbusti alti fino a 4 metri



Foto 1: scarpata con copertura a lupinella (aprile 1990) - Foto P. Cornelini



Foto 2: la stessa scarpata a giugno 2002 - Foto P. Cornelini

5.5 CAVE

Vengono prese in esame le più frequenti casistiche di interventi di recupero di cave in Italia, organizzate secondo le principali tipologie di scavo in cui si possono far rientrare la maggior parte delle cave italiane.

La casistica riporta principalmente casi di recupero di tipo naturalistico con tecniche a verde e di ingegneria naturalistica, in coerenza con il tema del presente manuale. La casistica considerata fa riferimento a regioni del centro-nord Italia dove sono stati operati alcuni significativi interventi di ripristino.

Le tecniche di rivegetazione fanno ricorso ai principi e metodologie dell'ingegneria naturalistica. Ogni intervento di rivegetazione prende in considerazione i dati di analisi naturalistica e geopedologica. Per quanto riguarda le tecniche risultano proponibili principalmente interventi antierosivi e stabilizzanti (idrosemine, messa a dimora di arbusti ed alberi, biostuoie, viminate e fascinate). Opere costose di tipo combinato (gabionate e materassi verdi, terre rinforzate e palificate vive, rivestimenti vegetativi in reti metalliche e stuoie, etc.) sono possibili, ma vanno considerate di impiego localizzato o per casi particolari, principalmente per motivi di costo.

5.5.1 Cave di pianura (figura 5.5.A)

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

Si individuano le tipologie di recupero di seguito descritte.

A) 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, scarsamente proponibili nell'Italia meridionale;

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 5.5.1 e figura 5.5.A1).



Foto 5.5.1: Ripristino naturalistico con ricostruzione dell'idroserie in ex cava di ghiaia in falda, 1982 - Foto J. Ott

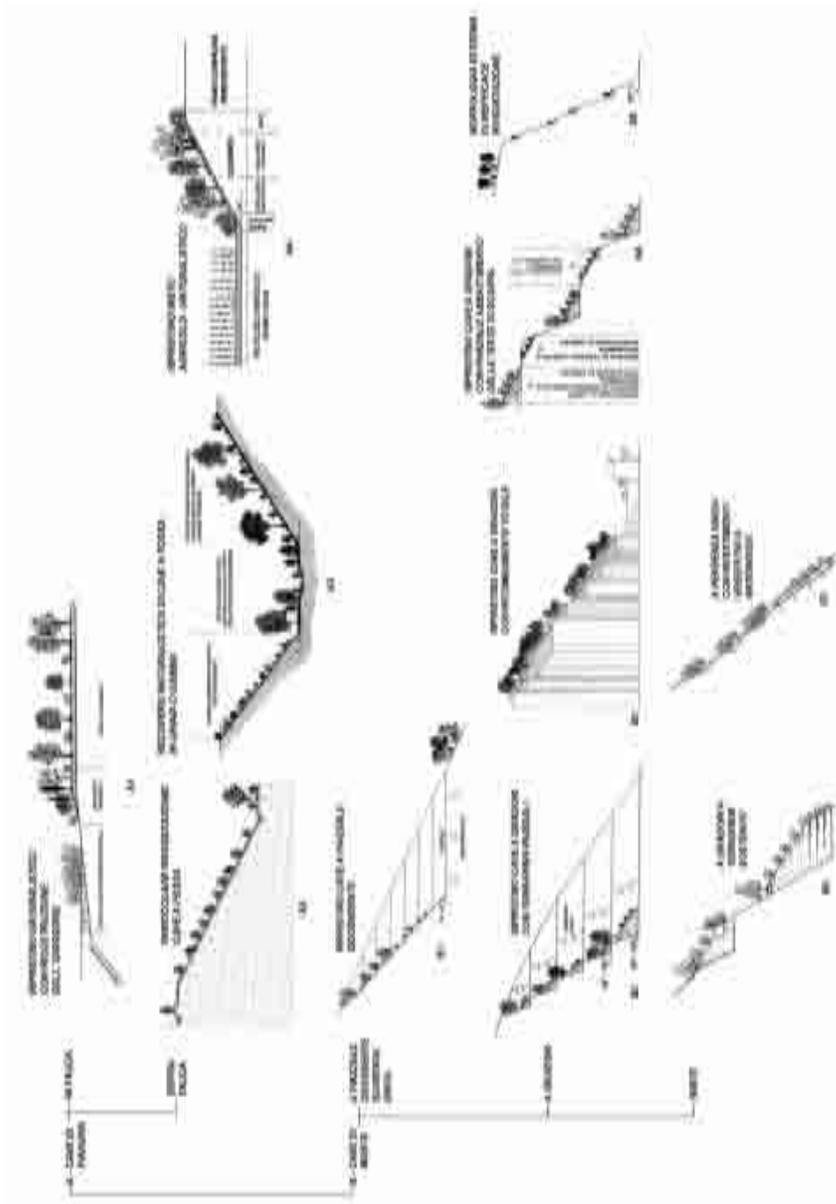


Figura 5.5A e B: Interventi di I.N. cave

B) Tipologie di recupero di cave sopra falda

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

1) di **tipo naturalistico** (figura 5.5.A2 e A3) 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.

2) di **tipo agricolo** (foto 5.5.2) o misto **agricolo-naturalistico** (figura 5.5.A4).

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 agricolo o misto.



Foto 5.5.2: Recupero all'uso agricolo su piano ribassato cava ex Stefanel Gonars (UD) medicaio da sovescio, 1983 - Foto G. Sauli

5.5.2 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 collinare e montana 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 cave di versante a fine coltivazione sono varie, ma principalmente:

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

Vengono qui prese in considerazione le problematiche legate alla seconda possibilità, per ottenere la quale si possono ulteriormente distinguere le metodologie di intervento che seguono, dedotte da una casistica di interventi maturati negli ultimi 15-20 anni in Italia.

Vale in linea di massima la distinzione nelle principali tipologie di intervento che seguono.

Coltivazioni a scarpata unica a piazzale discendente (o splateamento)

Le coltivazioni a scarpata unica a piazzale discendente (o splateamento) 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, (Figura 5.5.B1 e Foto in scheda M. S. Lorenzo di Fanna) con scarpate di 35°-37°. Questa pendenza corrisponde all'angolo di stabilità della terra vegetale, mentre al di sopra di questo valore c'è pericolo di erosione e franamenti. I fronti di scavo sono perpendicolari alle scarpate, consentendo la lavorazione meccanica delle superfici destinate al ripristino. È 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 possono 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 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.

Coltivazioni a gradoni

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

A) di una certa efficacia se il rapporto tra alzata e pedata è tale da non superare la pendenza media complessiva di 45° (figura 5.5.B2e B3).

In tal caso è possibile:

- 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 triestini-

no. 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;

- 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 (figura 5.5.B4);

B) 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) (figura 5.5.B5 e foto 5.5.3) 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.



Foto 5.5.3: Recupero con piantagione di resinose esotiche su gradoni, cava di Monsummano (PT), 2003 - Foto P. Binazzi

Qualche risultato si ottiene sui rilevati basali previo riporto di terreno vegetale o compost combinato 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 rinverdata 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 perché da considerarsi un caso evidente di "imbroglio ecologico".

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

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 figura 5.5.4 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.

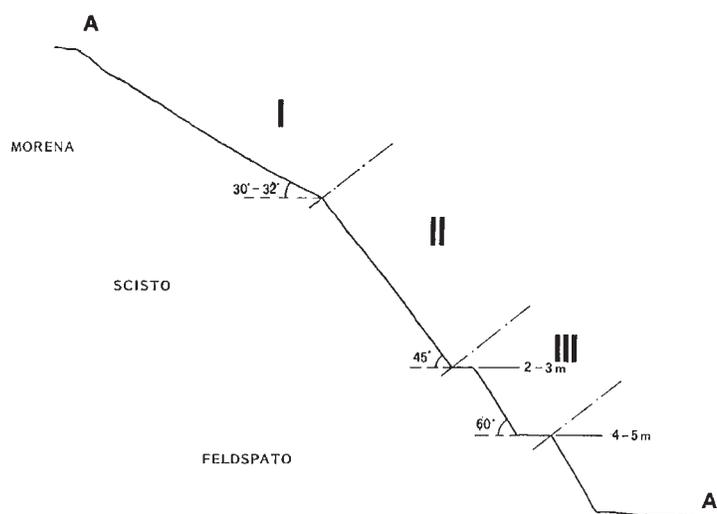


Figura 5.5.4: Strati di copertura S. Giustino (TN)

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 (figura 5.5.B7 e foto 5.5.7).

Sui gradoni sono invece stati realizzati dei rilevati con inerte di copertura, sostenuti da gabbionate rinverdate e da terre rinforzate verdi in geotessili in poliestere (figura 5.5.B6 e foto 5.5.5 e 5.5.6).

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 (foto 5.5.8).



Foto 5.5.5: Interventi di ricomposizione morfologica e rivegetazione con rilevati sostenuti da gabbionate e terre rinforzate verdi durante i lavori (1986), Miniera di Giustino Val Rendena (TN) - Foto G. Sauli



Foto 5.5.6: Interventi di ricomposizione morfologica e rivegetazione con rilevati sostenuti da gabbionate e terre rinforzate verdi dopo 1 anno (1987), Miniera di Giustino-Val Rendena (TN) - Foto G. Sauli



Foto 5.5.7: Realizzazione di materassi a sacche in rete metallica e stuoia sintetica tridimensionale riempite di terreno e rivegetate, Miniera di Giustino Val Rendena (TN) - Foto G. Sauli



Foto 5.5.8: Realizzazione di materassi a sacche in rete metallica e stuoia sintetica tridimensionale riempite di terreno e rivegetate Miniera di Giustino Val Rendena (TN), visione d'insieme (1996) - Foto G. Sauli

Miniera di sabbia silico-feldspatica di pianura a sviluppo chiuso 'Ripa Mucchi'(LT)
Specificità dell'intervento
Interventi di rinaturalizzazione con ricostituzione della vegetazione climacica
Provincia/ Comune/ Località
Latina/ Priverno / miniera di sabbia silico-feldspatica "Ripa Mucchi"
Altitudine slm /Esposizione/Inclinazione °
Quota min: 20 m quota max: 75 m s.l.m; zona pianeggiante
Lineamenti vegetazionali
Ambito di macchia mediterranea con significative presenze di <i>Quercus suber</i>
Lineamenti geomorfologici
Sabbie eoliche gialle e rosse, silico-feldspatiche appartenenti alla "duna antica"
Obiettivo dell'intervento
Recupero naturalistico con ritorno alla situazione ante-operam
Tipologie e dimensioni dell'intervento
Suddivisione della scarpata finale in gradoni (alzata 10 m, pedata 5-7 m, pendenza 40°); Riempimenti con argille (scarti di lavorazione) e terreno vegetale precedentemente accantonato e stoccato; Idrosemina e piantagione di specie arbustive ed arboree tipiche della macchia mediterranea; Dimensioni allo stato attuale ca. 10 Ha.
Materiali morti impiegati
Terreno misto (cappellaccio e scarti di lavorazione), terra vegetale, reti di juta, picchetti metallici ricurvi di 30 cm, semi, piante (oltre 8000).
Specie vegetali impiegate
<i>Quercus ilex</i> , <i>Quercus suber</i> , <i>Quercus pubescens</i> , <i>Arbutus unedo</i> , <i>Pistacia lentiscus</i> , <i>Cytisus scoparius</i> , <i>Ligustrum vulgare</i> .
Periodo dei lavori
Il recupero delle aree estrattive esaurite è iniziato 25 anni fa e prosegue a mano a mano che la coltivazione perviene ai profili di abbandono di scarpate e piazzali. Ogni anno, a settembre, si effettuano gli interventi di idrosemina e gli impianti forestali.
Osservazioni
Le piantine messe a dimora hanno un'altezza di 40 cm; dopo la messa a dimora si effettuano le cure colturali (diserbo manuale, concimazioni ed irrigazione), per i primi 2/3 anni. L'impianto di irrigazione è fisso e l'irrigazione viene effettuata da maggio a settembre, con cadenza di tre - quattro volte alla settimana. Le reti di juta tendono a degradarsi nel giro di due anni circa. Le specie utilizzate nell'idrosemina sono un mix di graminacee e leguminose effimere che preparano il terreno all'ingresso delle specie erbacee spontanee. Le specie erbacee dominanti sono: <i>Anthemis arvensis</i> , <i>Conyza canadensis</i> , <i>Cistus salvifolius</i> , <i>Euphorbia sp.</i> , <i>Andryala sp.</i> , <i>Avena barbata</i> , <i>Briza maxima</i> , <i>Trifolium campestre</i> , <i>Vicia villosa</i> , <i>Inula viscosa</i> , <i>Chenopodium album</i> , <i>Cynosorus echinatus</i> , <i>Carduus nutans</i> , <i>Hypericum perforatum</i> . Si ha anche la presenza di una specie arbustiva spontanea: <i>Heliantemum sp.</i> , e di <i>Arundo donax</i> . La copertura della vegetazione erbacea è pari al 75%, quella arboreo arbustiva al 15%; nella parte alta dei gradoni il pino copre anche il 90% del suolo.



*Foto 1: situazione attuale - vista delle scarpate recuperate (la coltivazione prosegue nel piazzale di base)
- Foto N. Ferranti*



Foto 2: particolare recupero - Foto N. Ferranti



Foto 3: particolare - rete in geostuoia e specie erbacee - Foto N. Ferranti



Foto 4: particolare - un irrigatore fisso - Foto N. Ferranti

Scoria (TS)
Specificità dell'intervento
Ricomposizione morfologica con inerti di scarto e rivegetazione di una cava di calcare ad anfiteatro a gradoni
Provincia/ Comune/ Località
Trieste/ S.Dorligo della Valle/ Bosco Bazzoni
Altitudine slm /Esposizione/Inclinazione °
280-390 m/ Sud/ 30°
Lineamenti vegetazionali
Boscaglia carsica a roverella e carpino nero, landa carsica, pinete di impianto a pino nero austriaco
Lineamenti geomorfologici
Crinale su altopiano calcareo
Obiettivo dell'intervento
Ricomposizione morfologica con inerti di scarto e rivegetazione di una cava di calcare ad anfiteatro a gradoni mediante semine e messa a dimora di arbusti autoctoni. Primo campione eseguito nel 1985 su un rilevato sulla parete ovest della cava.
Tipologie e dimensioni dell'intervento
Idrosemine, gradonate vive di salici, messa a dimora di arbusti autoctoni
Materiali morti impiegati
Nessuno
Specie vegetali impiegate
<i>Salix sp.pl.</i> , <i>Prunus mahaleb</i> , <i>Crataegus monogyna</i> , <i>Fraxinus ornus</i> , <i>Ostrya carpinifolia</i> , <i>Quercus pubescens</i>
Periodo dei lavori
1985-86, 1992
Osservazioni
L'intervento campione ha dato buoni risultati evidenziando come specie guida il <i>Prunus mahaleb</i> per il comportamento pioniero in condizioni di forte aridità.



Foto 1: Cava Scoria intervento campione di ricomposizione morfologica e rivegetazione con specie della boscaglia carsica 1985-1992 - Foto G. Sauli



Foto 2: Cava Scoria intervento campione di ricomposizione morfologica e rivegetazione con specie della boscaglia carsica dopo 10 anni - Foto G. Sauli

M. S. Lorenzo di Fanna (PN)
Specificità dell'intervento
Rivegetazione di scarpate in roccia calcarea a 35°
Provincia/ Comune/ Località
Pordenone/ Maniago/ Fanna
Altitudine slm /Esposizione/Inclinazione °
700 m/ Sud-Est/ 35°
Lineamenti vegetazionali
Orno-Ostrieti e seslerieti
Lineamenti geomorfologici
Versanti pedemontani delle Alpi Orientali
Obiettivo dell'intervento
Rivegetazione di scarpate di cava in roccia calcarea profilate a 35° con riporti di terra vegetale, semine e messa a dimora di arbusti
Tipologie e dimensioni dell'intervento
Semine e messa a dimora di arbusti, trapianto di arbusti
Materiali morti impiegati
Nessuno
Specie vegetali impiegate
Arbusti dell'orno-ostrieto
Periodo dei lavori
A varie riprese dal '95 in poi
Osservazioni
La miglior strategia di coltivazione e recupero di una cava in roccia mai realizzata in Italia.



Foto 1: Cava di calcare del M. S.Lorenzo di Fanna (PN) 1993 - Foto G. Sauli



Foto 2: Cava di calcare del M. S. Lorenzo di Fanna (PN). Fase di stesura della terra vegetale 1995 - 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 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.

5.6 DISCARICHE

L'argomento discariche viene qui preso in considerazione principalmente per quanto riguarda le tecniche di recupero a verde che risultano necessarie, a discarica esaurita, date le vaste superfici in terra che si vengono a creare nelle parti superiori delle discariche stesse e nelle adiacenze (piazzali di stoccaggio e manovra, piste interne, etc.). Si rimanda ad altra sede per le fondamentali problematiche relative alla pianificazione urbanistica nonché alla progettazione geotecnica ed ingegneristica delle discariche stesse.

Viene di seguito sintetizzata la problematica degli interventi a verde su discariche organizzate secondo le seguenti tipologie:

- discariche di rifiuti solidi urbani (RSU) e discariche di rifiuti tossici nocivi (RTN);
- discariche di inerti;
- discariche minerarie;

Dal punto di vista del recupero, in genere, gli interventi a verde possono essere affrontati quando la discarica o un suo lotto funzionale sono esauriti e ne è 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);
- 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, etc.);

- realizzazione di fasce boscate tampone nelle aree perimetrali attorno alla discarica.

Sono da prendere in considerazione anche tecniche di tipo naturalistico che prevedono l'utilizzo di materiale da propagazione locale quali:

- a) il trapianto in zolla a mosaico (copertura dei trapianti di circa il 10 %) di cotici di formazioni erbacee di prati-pascoli polifiti;
- b) le semine con fiorume proveniente dalle formazioni naturali o paranaturali circostanti;
- c) il trapianto di arbusti pionieri dal selvatico (ad es. specie di gariga).

Tali pratiche, di sicura efficacia e significato in funzione della biodiversità, sono state negli ultimi anni utilizzate nelle regioni meridionali nel settore dei metanodotti. Il loro utilizzo nel settore delle discariche è proponibile per interventi in vicinanza ad aree protette (es. aree SIC – ZPS), o, comunque, aree ad elevata naturalità.

5.6.1 Discariche di RSU e RTN

Per quanto riguarda le discariche di RSU e di RTN 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 alcune principali tipologie quali:

- a fossa;
- a montagnola;
- di versante.

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, in quanto così facendo veniva evitato l'accumulo dei biogas che rendevano 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.

Tale rivestimento permette alla fine la messa a dimora degli arbusti che possono spingere il loro apparato radicale all'interno del terreno vegetale e 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.

In figura 5.6.A viene presentato schematicamente uno dei casi più frequenti di discarica in cui viene riutilizzato il volume di una cava esaurita e vengono riportate le serie di stratificazioni, membrane e interventi a verde realizzabili.

Nella foto 5.6.1 viene illustrato un intervento di rivegetazione di una discarica di RSU in Alto-Adige.



Foto 5.6.1: Rivegetazione mediante semine, messa a dimora di arbusti e gradonate vive di salice. Discarica RSU di versante di Sciaves (BZ) - Foto F. Palmeri

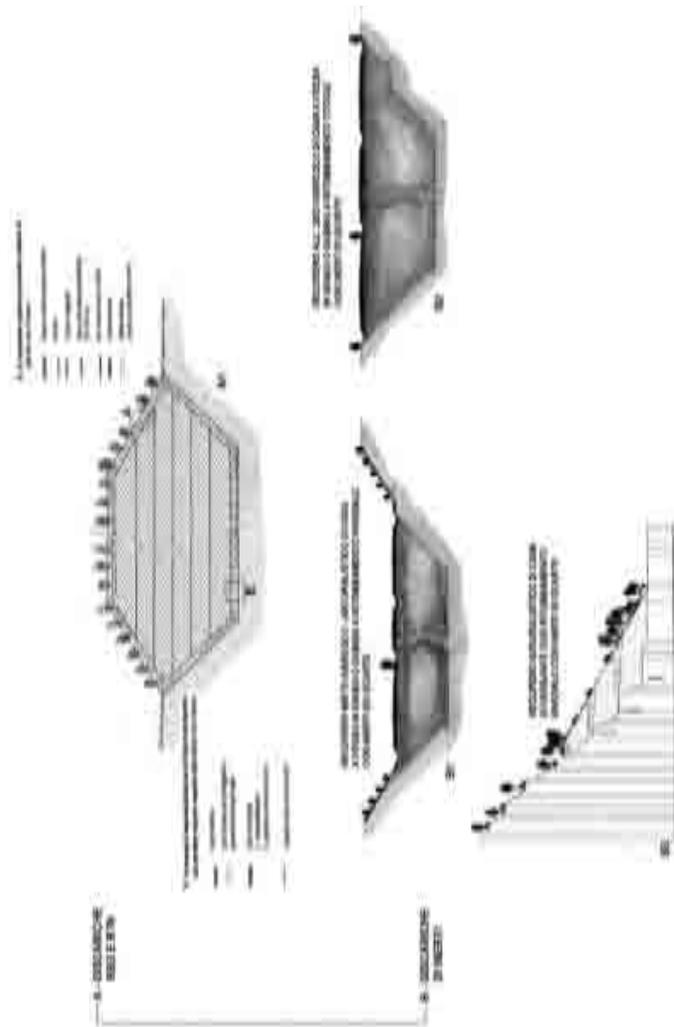


Figura 5.6A e B: Interventi di I.N. discariche

Casistica di interventi a verde in discariche di RSU e RTN

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 (foto 5.6.2) 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 adiacenti, nonché lo sfalcio di manutenzione per evitare il fenomeno delle infestanti.



*Foto 5.6.2: Discarica di Maniago (PN)
Loc. Cossana. Preparazione del fondo di
discarica a fossa - Foto G. Sauli*

Un problema di questa ed altre discariche è rappresentato dalle polveri, in quanto la strada di accesso 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.

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 1 e 2 in scheda Gonnese).

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

Il paesaggio circostante 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, etc), vennero sistemate con disposizione geometrica a isole monospecifiche e con utilizzo anche di specie esotiche (agave). Stessa sorte è spettata 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/innesco di sistemi naturali).

5.6.2 Discariche di inerti

Nei grossi progetti di infrastrutture viarie viene normalmente elaborato e realizzato il "piano cave e discariche" che prevede le fonti di approvvigionamento degli 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 riporta un caso di riciclaggio di inerti per rimodellamenti morfologici e recupero a verde di cave in roccia abbandonate o in fase di chiusura.

Cava di calcare Scoria (TS) (foto 5.6.3 e 5.6.4)



Foto 5.6.3: Ritombamento parziale con inerti di riciclaggio e rivegetazione di scarpate su cava a gradoni Cava Scoria (TS) - Foto G. Sauli



Foto 5.6.4: Ritombamento parziale con inerti di riciclaggio e rivegetazione di scarpate su cava a gradoni Cava Scoria (TS) - Foto G. Sauli

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

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.

5.6.3 Discariche minerarie

Discarica della miniera di Campo Pisano (CA)

Quanto sopra riportato può esser applicato anche in ambito mediterraneo, salvo selezione delle specie arbustive, suffruticose 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) (foto 5.6.5, 5.6.6 e 5.6.7).



Foto 5.6.5: Interventi sperimentali antierosivi e di stabilizzazione su scarpata di discarica mineraria a Campo Pisano (Iglesiente-Sardegna) a distanza di 5 anni (2000) - Foto G. Sauli



Foto 5.6.6: Interventi sperimentali antierosivi e di stabilizzazione su scarpata di discarica mineraria a Campo Pisano (Iglesiente-Sardegna) a distanza di 7 anni (2002) - Foto G. Sauli



Foto 5.6.7: Interventi sperimentali antierosivi e di stabilizzazione su scarpata di discarica mineraria a Campo Pisano (Iglesiente-Sardegna), particolare particella con impiego di soli arbusti autoctoni di gariga mediterranea dopo 7 anni dall'intervento - Foto G. Sauli

La scarpata interessata dalle opere (circa 1000 m² con pendenza 40°- 45°) fu suddivisa in otto particelle longitudinali (5x25 m) che sono state rinaturate con differenti metodiche, onde valutare in modo comparativo i risultati ottenuti.

Le tecniche impiegate sono state:

- rivestimento con biofiltro preseminato e preconciato, fissato con rete metallica a maglia 10 x 10 cm;
- fascinate e cordonate 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 sono stati 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.

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 5.6.8).



Foto 5.6.8: L'impiego di tappezzanti quali Mesembryanthemum (fico degli Ottentotti) non ha dato negli anni nessun risultato su scarpate minerarie in condizioni similari a quelle delle due foto precedenti - Foto G. Sauli

Gonnesa (CA)
Specificità dell'intervento
Incaramezzatura di fanghi industriali e recupero paesaggistico con specie locali
Provincia/ Comune/ Località
Cagliari / Gonnesa / Acqua Sa Canna
Altitudine slm
100-150 m
Lineamenti vegetazionali
Gariga mediterranea
Lineamenti geomorfologici
Rocce granitiche con massi affioranti
Obiettivo dell'intervento
Recupero di discariche di fanghi industriali in ex aree minerarie tramite ricomposizione morfologica e rivegetazione
Materiali morti impiegati
Geomembrane, tessuti non tessuti
Specie vegetali impiegate
Rosmarino, mirto, lentisco, cisto, oleandro, agave
Periodo dei lavori
1999
Osservazioni
Buona riuscita del primo lotto. Va migliorata la scelta delle specie e la disposizione a morfologia naturaliforme dei massi granitici.



Foto 1: Discarica industriale di Gonnese - Fase di sigillatura superiore - Foto G. Sauli



Foto 2: Discarica industriale di Gonnese - Fase di rivegetazione - Foto G. Sauli

5.7 CONDOTTE INTERRATE

Per quanto riguarda le condotte interrato (metanodotti, oleodotti), le principali interferenze, in termini naturalistici, sono legate alla sottrazione temporanea di aree per la realizzazione delle condotte stesse che, per la loro natura di infrastrutture lineari di collegamento, attraversano vasti territori anche montani.

L'impatto è legato alle operazioni d'interramento che prevedono scavi e ricoperture dopo la posa. Sono di solito interessate fasce di lavoro temporanee che, per diametri della condotta da 900 a 1.400 mm (36" - 56"), sono larghe da 22 a 34 m in condizioni normali e da 15 a 23 m nei boschi e nelle aree di particolare interesse ambientale.

Tali fasce di lavoro temporanee sono destinate al transito dei mezzi di cantiere, alla saldatura dei tubi ed allo scavo della trincea. La loro apertura può produrre notevoli impatti visuali, naturalistici e rappresenta un potenziale problema di difesa del suolo sui versanti montani interessati.

Vale il principio della totale rimessa in pristino delle fasce d'intervento.

5.7.1 Riutilizzo dei substrati pedologici

Per quanto riguarda le tecniche di ripristino, vale la raccomandazione principale di effettuare lo scotico, accumulo e rimessa in pristino dello strato di terreno vegetale separatamente dall'inerte roccioso sottostante. Tale operazione è relativamente facile e viene normalmente eseguita nelle zone agricole di pianura e collina che possono essere ricomposte completamente e riportate all'uso del suolo precedente.

Nei territori montani ed alpini ed, in genere, nelle morfologie con rocce subaffioranti o litosuoli di superficie dominanti, l'esperienza degli ultimi decenni ha dimostrato la grande difficoltà di ottenere una valida ricomposizione paesaggistica, legata proprio all'impossibilità di effettuare lo scotico dell'humus superficiale (spesso di pochi centimetri), nonché di riproporre la micromorfologia delle rocce e la vegetazione naturali.

5.7.2 Tecniche di ingegneria naturalistica

Per quanto riguarda le tecniche di ingegneria naturalistica e di rivegetazione in genere, va detto che l'utilizzo, da anni, di guaine sintetiche di rivestimento delle tubature ha eliminato l'interferenza possibile degli apparati radicali con le tubature stesse. Anche la permanenza di una pista continua per i servizi d'ispezione e manutenzione lungo i tracciati non è più indispensabile, date le caratteristiche di durata dei materiali oggi impiegati. Ciò consente la rivegetazione e rinaturalizzazione complete delle fasce di scavo (figura 5.7.A).

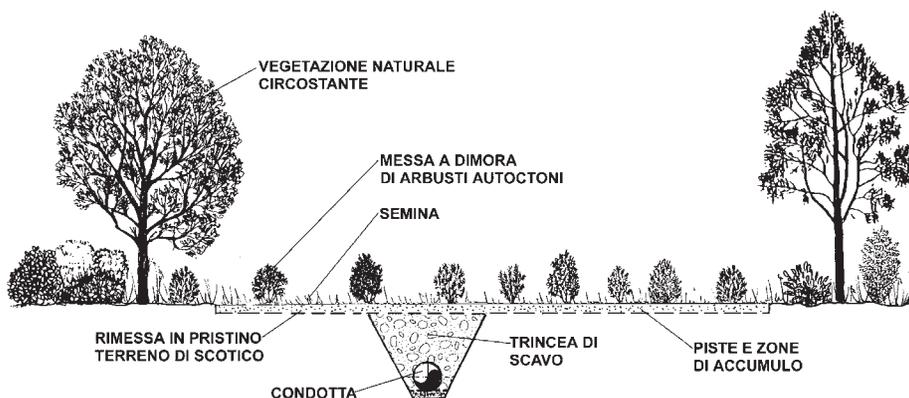


Figura 5.7.A: Interventi di I.N. per condotte interrato

Valgono le modalità che seguono:

- ove possibile va effettuato lo scotico, anche se parziale e ricco di scheletro, del terreno unico superficiale (foto 5.7.1);



Foto 5.7.1: Posa di condotta previo scavo e accumulo del terreno di scotico. Metanodotto Malborghetto-Bordano (UD) - Foto G. Sauli

- l'inerte roccioso proveniente dagli scavi e accumulato a lato della trincea di scavo è di solito ricco della frazione terrosa organica e minerale che non è stato possibile scoticare a priori. Tale frazione va separata in cantiere mediante vagliatura meccanica ed utilizzata come strato di ricoprimento finale dei ritombamenti. Tutta l'operazione, opportunamente organizzata, è di facile esecuzione e poco onerosa, garantendo la provenienza locale del terreno anche se a basso tenore di caratteristiche organiche e microbiologiche;

- per il miglioramento di tali caratteristiche vanno previste operazioni di ammendamento fisico ed organico del suolo (utilizzo di terra di coltivo, terriccio, torba, composti);
- non risulta proponibile l'apporto di terreno vegetale alloctono sia per un evidente principio di tipo naturalistico, sia per la necessità di sacrificare superfici produttive di altre zone date le notevoli quantità necessarie;
- tale operazione risulta invece proponibile per interventi "puntuali" nelle buche di messa a dimora delle specie arboree arbustive (specie se piante adulte o fornite a radice nuda), dopo opportuna miscelazione con il terreno della buca;
- vanno normalmente effettuate semine e messa a dimora di specie autoctone, con preferenza per le specie arbustive, da considerarsi preparatorie per futuri interventi di conversione ad alto fusto (foto 5.7.2 e 5.7.3). Date le quantità notevoli di specie arbustive autoctone necessarie, va programmata per tempo la fornitura di tali specie da vivai locali o vanno realizzati "ad hoc" vivai temporanei legati all'opera;



Foto 5.7.2: Trapianto di arbusti di gariga mediterranea su tracciato di metanodotto Loc. Crispiano (TA) ad un anno dall'intervento. Particolare: calicotome - Foto G. Sauli



Foto 5.7.3: Trapianto di arbusti di gariga mediterranea su tracciato di metanodotto Loc. Crispiano (TA) ad un anno dall'intervento. Particolare: lentisco - Foto G. Sauli

- va effettuata la protezione antifauna delle piante o mediante reticelle su ogni singolo esemplare o mediante recinzioni a isole (foto 5.7.4 e 5.7.5 e foto 2 e 4 in scheda Malborghetto-Bordano);



Foto 5.7.4: Rivegetazione su tracciato di metanodotto (Carso triestino) mediante semine con fiorume e messa a dimora di arbusti autoctoni con reticelle di protezione faunistica - Foto G. Sauli



Foto 5.7.5: Particolare - Foto G. Sauli

- vanno effettuati, ove possibile, trapianti di arbusti, zolle di prati-pascoli naturali, cespi o intere porzioni di terreno vegetato (trapianto di ecocelle) locali per garantire la migliore e più rapida ricolonizzazione delle specie locali (Foto 5.7.2, 5.7.3 e 5.7.6 e Foto 1, 2 e 3 in scheda Bernalda – Brindisi);



Foto 5.7.6: Trapianto di arbusti di gariga mediterranea su tracciato di metanodotto Loc. Crispiano (TA) ad un anno dall'intervento. Veduta d'insieme - Foto G. Sauli

- ove possibile, vanno adottate tecniche di salvaguardia preventiva di esemplari d'alto fusto in pista e di parte delle ceppaie derivanti dal taglio delle piante;
- in funzione paesaggistico-naturalistica, va effettuata anche la conservazione delle morfologie litologiche naturali presenti lungo il tracciato (singoli massi o rocce affioranti lavorati dalla secolare azione meteorica e dell'ossidazione naturale, spesso colonizzati da licheni ed altra vegetazione epilitica);
- vanno adottate le tecniche d'ingegneria naturalistica in tutti gli attraversamenti di corsi d'acqua, stabilizzazione di versanti franosi, etc (foto 5.7.7 e foto 1, 3, 5 e 6 in scheda Malborghetto – Bordano);



Foto 5.7.7: Trapianto di alberi e arbusti lungo il tracciato del metanodotto, Loc. Slizza Tarvisio (UD) - Foto G. Sauli

- per quanto riguarda le semine del cotico erboso vanno adottate le miscele erbacee più idonee possibile rispetto alle caratteristiche pedoclimatiche dei tratti da ripristinare; le specie si dovranno reperire possibilmente da produttori locali;
- in zone di particolare pregio, quali pascoli d'alta quota, praterie pedemontane, etc., si effettua, se i lavori si svolgono in periodo stagionale idoneo, la raccolta di fiorume oppure la zollatura del prato prima dell'apertura della pista, la conservazione delle zolle e la ricollocazione a fine lavori;
- nella fase di messa a dimora di specie arbustive e arboree si può aggiungere la terra vegetale in buca con substrato micorizzato (sia endo che ecto micorizze) oppure si possono utilizzare piante già micorizzate, se prodotte dai vivai locali di piante autoctone;
- vanno previsti periodi di 3 ÷ 5 anni di cure colturali per le piantine messe a dimora e devono effettuarsi tutti gli interventi che possano garantire la migliore riuscita del ripristino.

Metanodotto Bernalda –Brindisi
Specificità dell'intervento
Trapianto dal selvatico di arbusti della gariga mediterranea
Provincia/ Comune
Taranto / Massafra, Crispino, Martinafranca
Altitudine slm / Esposizione / Inclinazione
Altitudine tra 200 e 300 m; il metanodotto si sviluppa lungo la direttrice nord ovest - sud est; le esposizioni dei versanti sono prevalentemente verso est o ovest; bassa inclinazione
Lineamenti vegetazionali
Elemento caratteristico è la scarsità d'acqua aggravata dalla natura calcarea dei terreni con scarsa ritenzione idrica. Si ritrova perciò la macchia mediterranea degradata dal pascolo, con un'alternanza di zone nude aride e zone vegetate. Nello strato arboreo si rinvencono: pino d'Aleppo, olivastro, limitatamente leccio; nello strato arbustivo cisti, rosmarino, timo, lentisco, etc.
Lineamenti geomorfologici
Il metanodotto si sviluppa prevalentemente nel sistema ambientale delle Murge tarantine, con litologie calcaree incise dalle tipiche morfologie a versanti subverticali delle gravine. Si riscontra un suolo molto superficiale rappresentato per lo più da "terre rosse" e roccia affiorante, con fenomeni di erosione superficiale e impoverimento dell'orizzonte "fertile".
Obiettivo dell'intervento
Rinaturazione del tracciato del metanodotto
Tipologie e dimensioni dell'intervento
Trapianto di arbusti dal selvatico, idrosemina, messa a dimora di piante da vivaio su una superficie di 18.000 mq
Specie vegetali impiegate
<i>Pinus halepensis, Pistacia lentiscus, Phillyrea latifolia, Rosmarinus officinalis, Pyrus pyraeaster, Olea europaea, Quercus ilex, Cistus sp.pl., Asparagus officinalis, Calycotome sp.pl., Arbutus unedo, Rhamnus alaternus, Daphne spatulata, Myrtus communis.</i>
Periodo dei lavori
2001/ 2002
Osservazioni
Attecchimento dei trapianti dal selvatico 60%



Foto 1: Rinaturazione metanodotto Bernalda –Brindisi, Loc. Mas safra, messa a dimora di arbusti da vivaio (dicembre 2001) - Foto G. Sauli



Foto 2: Rinaturazione metanodotto Bernalda –Brindisi, Loc. Mas safra, prelievo di arbusti trapiantati dal selvatico (dicembre 2001) - Foto G. Sauli



Foto 3: Rinaturazione metanodotto Bernalda –Brindisi, Loc. Mas safra, messa a dimora di arbusti trapiantati dal selvatico (dicembre 2001) - Foto G. Sauli

Metanodotto Malborghetto –Bordano (UD)
Specificità dell'intervento
Rivegetazione su tracciato di metanodotto in zona alpina
Provincia/ Comune / Località
Udine / Malborghetto, Pontebba, Moggio Udinese / Val Canale, Val di Gleris, Val Alba, Val Aupa
Altitudine slm /Esposizione
700 – 1200 m / varie
Lineamenti vegetazionali
Faggete, abeti-faggete, mughete, praterie alpine a <i>Genista radiata</i> , pinete a pino nero e pino silvestre.
Lineamenti geomorfologici
Conoidi di versante e fondo valle a rocce dolomitiche
Obiettivo dell'intervento
Consolidamento e stabilizzazione dei versanti mediante tecniche di ingegneria naturalistica
Tipologie e dimensioni dell'intervento
Semine e messa a dimora di specie arbustive e arboree con disposizione a isole recintate, palificate vive di versante, palizzate, cordonate, trapianti di arbusti
Materiali morti impiegati
Pali e reti, biofeltri per pacciamatura, tronchi
Specie vegetali impiegate
<i>Pinus mugo</i> , <i>Genista radiata</i> , <i>Salix purpurea</i> , <i>Acer sp.pl.</i> , <i>Quercus sp.</i> , <i>Fagus sylvatica</i> , <i>Picea abies</i> , <i>Pinus nigra</i>
Periodo dei lavori
2002-2003
Osservazioni
Interventi ottimali di recupero dei suoli, di rivegetazione e monitoraggio degli interventi



Foto 1: Metanodotto Malborghetto - Bordano. Palizzate vive, palificate vive, Loc. Chiaranda (Val Aupa - UD) 2003 - Foto G. Sauli



Foto 2: Metanodotto Malborghetto - Bordano. Stabilizzazione del versante con messa a dimora di arbusti e trapianto di ceppaie di carpino nero Loc. Chiaranda (Val Aupa - UD) 2003 - Foto G. Sauli



Foto 3: Metanodotto Malborghetto - Bordano. Consolidamento del versante con palificate vive. Loc. Chiaranda (Val Aupa - UD) - 2003 Foto G. Sauli



Foto 4: Metanodotto Malborghetto - Bordano. Realizzazione di recinzioni per la tutela dalla fauna selvatica delle giovani piante messe a dimora. Val Canale, Malborghetto 2003 - Foto G. Sauli



Foto 5: Metanodotto Malborghetto - Bordano. Cordonate e palizzate vive Val Canale, loc. S. Leopoldo 2003 - Foto G. Sauli



Foto 6: Metanodotto Malborghetto - Bordano. Cordonate e palizzate vive Val Canale, loc. S. Leopoldo 2003 - Foto G. Sauli

5.8 SISTEMAZIONI COSTIERE E DUNALI

Per quanto riguarda le sistemazioni costiere le tecniche di ingegneria naturalistica trovano applicazioni particolari legate soprattutto all'impiego di specie salsoresistenti e psammofile.

Si distinguono alcune casistiche di cui vengono di seguito prese in considerazione le più salienti per problematica: le aree portuali e contermini, le coste sabbiose in erosione e le aree lagunari.

5.8.1 *Porti e aree contermini*

Nel caso delle aree portuali si tratta, in genere, di opere di ampliamento e risistemazione di infrastrutture già esistenti e, quindi, gli impatti riguardano eventualmente le aree contermini a valenza territoriale, mentre il caso più frequente è quello di aree già degradate che possono, quindi, essere ricuperate.

Le opere di risistemazione a verde di possibile realizzazione nell'ambito dei progetti di opere portuali sono le seguenti:

- interventi a verde interni alle aree dell'insediamento e relativi alle zone di accesso, le palazzine uffici, i parcheggi, le aree perimetrali in genere. La vocazione di tali aree per quanto riguarda il verde è di tipo ornamentale-fruitivo e si orienta, in genere, su opere tipo giardino o parco urbano. Resta il problema della selezione delle specie con caratteristiche di salsoresistenza in funzione dell'aerosol marino indotto dalla vicinanza del mare;
- interventi a verde immediatamente esterni o comunque perimetrali alle aree portuali in senso stretto. In tali aree, che possono essere di varia estensione, si cerca di solito di realizzare delle fasce di vegetazione con funzione paesaggistica. La tipologia degli interventi è di tipo naturalistico con utilizzo di specie arboreo – arbustive autoctone, privilegiando quelle salsoresistenti o, comunque, in ambito mediterraneo, di macchia e gariga;
- interventi di ingegneria naturalistica, in genere esterni all'area degli impianti (consolidamenti spondali per deviazione di fossi, corsi d'acqua confinanti, consolidamenti di rilevati perimetrali, consolidamenti di tratti di costa etc.). Vanno progettate le opere di consolidamento costiero e spondale in funzione della resistenza alle sollecitazioni degli eventi meteomarinari (maree, mareggiate, etc.). Nel caso di opere miste con abbinamento di piante va tenuto conto del fattore limitante principale legato alla salinità: è classico l'impiego di certe specie con capacità di riproduzione vegetativa per talea legnosa quali le tamerici (*Tamarix* sp.pl.) e l'atriplice (*Atriplex halimus*).

5.8.2 *L'approccio dell'ingegneria naturalistica nella conservazione degli ambienti dunali* (da G. Bovina , C. Callori Di Vignale, M. Amodio-Manuale di Ingegneria Naturalistica Volume 2 - Regione Lazio 2003, modificato)

Quasi ovunque (e soprattutto in Italia per l'ampio sviluppo litorale), la fascia costiera rappresenta certamente la porzione di territorio nella quale l'azione antropica ha determinato i maggiori effetti di trasformazione. In nessun altro "paesaggio" come quello costiero gli equilibri ambientali, alla base della conservazione delle risorse, sono

stati quasi sempre stravolti dalla mancata o errata pianificazione delle attività umane: bonifiche, sviluppo urbanistico, insediamenti industriali, reti di trasporto e porti, infrastrutture turistiche.

Da una ricerca del WWF Italia sul consumo dei suoli “*Oloferne 1996/97*” risulta che solo il 26 % della fascia costiera è risultato totalmente libero da insediamenti ed attività antropiche.

Oltre alla antropizzazione e cementificazione delle coste, il fenomeno che sintetizza e spesso rappresenta pienamente la criticità dell'effetto sinergico di molte delle attività umane citate, è dato dall'erosione dei litorali. Pur legato alla dinamica di processi naturali, allo stato attuale l'equilibrio delle spiagge è quasi ovunque compromesso dagli interventi sul territorio, non solo costiero. Già oltre dieci anni fa si considerava in erosione un terzo delle spiagge italiane (quindi oltre 1.000 km di litorali sabbiosi risultavano in fase di demolizione ed arretramento): osservazioni recenti condotte dagli scriventi su estesi tratti del litorale nazionale, individuano una ulteriore accelerazione del processo. Per comprendere la natura del fenomeno è necessario considerare che la presenza e stabilità dei materiali sabbiosi che costituiscono le spiagge, in linea generale dipendono da un meccanismo di trasporto, che provvede alla distribuzione lungo costa, per effetto combinato di onde e correnti, dei materiali versati in mare dai corsi d'acqua. Oltre ad altri fenomeni di natura geologica e/o climatica, qualsiasi interferenza sul processo naturale di erosione dei versanti, trasporto verso mare dei sedimenti, trasporto litorale, comporta quindi il disequilibrio della spiaggia che oggi si traduce, nella maggior parte dei casi, nella sua demolizione.

Per queste motivazioni molte spiagge del Mediterraneo sono interessate da erosione, fenomeno che intacca gravemente un bene economico fondamentale per le località turistiche balneari ed un valore naturale da conservare per le generazioni future.

Le spiagge costituiscono così una risorsa naturale difficilmente rinnovabile poiché le azioni di controllo dell'erosione costiera sono complesse e raramente risolutive. Sino a pochi anni fa (oggi si nota peraltro una certa tendenza alla rivalutazione di tale approccio), gli interventi di protezione dei litorali dall'erosione vedevano molto diffuse opere frangiflutti in blocchi di varia natura e dimensione, rivestimenti di spiagge, muri paraonde, pennelli trasversali o paralleli, barriere sommerse o semi sommerse, tutte opere generalmente rigide, scarsamente compatibili, anche dal punto di vista più strettamente paesaggistico, con le valenze e gli equilibri ambientali. I versamenti detritici, i cosiddetti ripascimenti morbidi, cioè la ricostruzione delle spiagge con l'apporto di sabbie prelevate da cave marine (spiagge fossili) costituiscono, allo stato attuale, soluzioni sempre più diffuse e condivise. Particolarmente graditi sono i ripascimenti protetti i quali, attraverso la realizzazione di contenimenti a differente grado di sommergezza, dovrebbero impedire la rapida dispersione del sedimento apportato artificialmente, prolungando nel tempo l'efficacia dell'intervento. È tuttavia opportuno sottolineare come i ripascimenti artificiali (ancor più se protetti) siano frequentemente realizzati con poca considerazione del complesso delle relazioni fisiche e biologiche investite. Il ricorso, sempre più diffuso e generalizzato, alla ricostruzione ed alla rialimentazione periodica delle spiagge, rischia di “viziare” tecnici ed amministratori verso l'adozione di soluzioni, comunque temporanee, che non

affrontano a monte il problema (anche in senso letterale) con possibili effetti critici già nel breve e medio termine (migrazione dei fenomeni erosivi, danneggiamento delle biocenosi e conseguenze sulla rete trofica, mancato controllo dei meccanismi effettivamente responsabili).

L'erosione delle spiagge è frequentemente associata alla demolizione delle dune costiere.

Queste rappresentano il risultato di lenti processi di accumulo, ad opera del vento, delle sabbie trasportate dalle correnti marine lungo costa e, in condizioni naturali, costituiscono un serbatoio di sabbia in grado di rifornire le spiagge nelle fasi "ordinarie" di erosione. Le dune costiere costituiscono ambienti molto dinamici, di estremo valore geomorfologico, ecologico e paesaggistico che, piuttosto diffusi sino a tempi recenti, attualmente sopravvivono integri (o *apparentemente integri*) in poche e limitate aree, tanto da poter essere oggi considerati come "ambienti relittuali". L'importanza ecologica delle dune costiere risiede in particolare nelle comunità vegetali, che sono strettamente caratteristiche di tali ambienti ed alle quali sono riconducibili i meccanismi più significativi di consolidamento ed accrescimento. Anche sotto il profilo faunistico gli ecosistemi dunali rappresentano habitat unici a cui va aggiunto il ruolo irrinunciabile di corridoi ecologici in ambiente costiero. Nonostante siano in larga parte interessati da specifici strumenti di tutela, a livello europeo, sono gli ecosistemi maggiormente minacciati. I meccanismi di degrado, come descritto inizialmente, sono principalmente rappresentati dall'antropizzazione dei litorali, dall'erosione costiera, da una fruizione turistica incontrollata, fondamentalmente causati dalla mancanza di pianificazione - programmazione e di corretta gestione, sia dei litorali che del territorio interno.

Le problematiche della conservazione degli ambienti dunali attuali sono, dunque, estese a larga parte dei territori costieri del Bacino del Mediterraneo e dei Paesi Nord Europei, ma è lungo la costa italiana che si rilevano le condizioni di degrado e distruzione più avanzate. Sulla base dell'analisi della documentazione cartografica (Atlante delle Spiagge Italiane, CNR 1985 -1997) gli scriventi hanno rilevato come lungo la costa nazionale, sino alla metà degli anni 90', i depositi dunali costieri presentavano uno sviluppo residuo complessivo pari a circa 700 km: vale a dire meno del 10% dello sviluppo costiero nazionale e solo circa il 20 % di quello interessato da litorali sabbiosi. Più in dettaglio, la ripartizione tra dune naturali e dune antropizzate risultava pari a circa il 50 %. Ma tale dato non deve trarre in inganno poiché nel corso degli ultimi anni la maggior parte delle dune naturali ha denunciato condizioni di forte aggressione e sensibile degrado principalmente per effetto della pressione turistica e per l'ormai generalizzata erosione costiera. Allo stato di conservazione delle dune e delle spiagge è strettamente legato quello di altri ecosistemi, di estrema importanza, quali gli ambienti umidi retrodunali, le lagune ed i laghi costieri, le foci fluviali, sino alle praterie di *Posidonia oceanica* e di altre fanerogame marine, tutti ecosistemi che, oltre al valore strettamente ecologico, hanno notevole valore economico, diretto ed indiretto. Se una spiaggia sottoposta ad erosione può ricostituirsi anche in pochi giorni, le dune costiere, specie quelle ricoperte di vegetazione, una volta demolite, si ricostruiscono in tempi tanto lunghi che alla scala umana il fenomeno può essere considerato scarsamente reversibile. In materia di conservazione e restauro ambientale, gli ambienti dunali, pur con le loro specificità pedologiche, fisico-climatiche e biologiche, si prestano anch'es-

si all'impiego di tecniche naturalistiche coerenti con i principi dell'ingegneria naturalistica. Anzi, poiché la vegetazione (in interazione diretta con i meccanismi esogeni), rappresenta l'elemento principale di edificazione/stabilizzazione delle strutture geomorfologiche, è proprio nel dinamismo di tali ambiti che l'approccio naturalistico risulta particolarmente coerente ed è in grado di raggiungere i risultati più interessanti. In Italia, le esperienze di protezione e consolidamento delle dune costiere risultano relativamente diffuse e con un background non trascurabile, legato alla storica esperienza degli interventi forestali in ambito litorale; esse sono tuttavia scarsamente riconducibili a criteri di approccio univoci e gli interventi risultano spesso scollegati, condotti isolatamente e con scarsa considerazione del patrimonio conoscitivo, delle esperienze pregresse e dell'utilità della diffusione e del confronto dei risultati ottenuti. Un caso di studio particolarmente significativo sia per lo sviluppo e l'importanza dei depositi dunali, che per le interazioni ambientali, è dato dalle dune del Parco Nazionale del Circeo nel tratto costiero immediatamente a nordovest dell'omonimo promontorio. La duna del Circeo non sfugge all'inquadramento delle problematiche ambientali descritto in precedenza. Con uno sviluppo lineare di circa 25 km ed un'altezza che varia da quote di 8÷10 m sino ad un massimo di 27 m, essa costituisce un cordone sabbioso, in larga parte consolidato da vegetazione *specializzata*, bloccato nella propria dinamica e nel meccanismo di autoprotezione (cioè dal libero avanzamento ed arretramento che le consentirebbe di limitare i danni delle energiche azioni erosive), dalla strada costiera realizzata su di essa negli anni trenta: una struttura rigida che oltre ad impedire, appunto, l'evoluzione morfologica naturale, concentra le acque di pioggia determinando meccanismi di erosione da ruscellamento concentrato. A questi si sommano l'erosione del vento che approfondisce le canalizzazioni asportando la sabbia e sottraendola in tal modo definitivamente al bilancio della duna e conseguentemente a quello della spiaggia. Solchi ed altre superfici di erosione sono poi frequentemente utilizzate per l'accesso incontrollato alla spiaggia da parte di una popolazione di bagnanti e turisti che in occasione della stagione estiva raggiunge punte esorbitanti, di fatto insostenibile per un ambiente così vulnerabile. Nell'arco temporale compreso tra gli anni 1995/1998, attraverso finanziamenti del Ministero dell'Ambiente e comunitari (strumenti Life Natura) oltre 14 km di dune sono stati interessati da interventi di restauro e protezione. A seguito di rilievi ed analisi delle diverse forme di erosione agenti e delle loro interazioni critiche, sono stati progettati specifici interventi sperimentali (a carattere sia puntuale che diffuso) di controllo delle diverse forme di erosione e dissesto:

- passerelle per l'accesso diretto alla spiaggia;
- recinzioni dissuasive, realizzate in legno ed associate a schermi frangivento;
- picchetti per l'interdizione del parcheggio delle auto sulla duna;
- capannini informativi sulla corretta fruizione dell'ambiente e sull'origine e finalità dell'azione di restauro e protezione;
- sistemazioni ed opere per la regimazione delle acque di ruscellamento;
- sistemi frangivento, di differente forma e dimensione, realizzati con molteplici materiali naturali (stuoie di canna, fascinate verticali, recinti porosi in legno, etc.);
- opere di contenimento e consolidamento delle sabbie che hanno utilizzato viminate associate a bioreti in fibra di cocco;

- barriere permeabili in legno con funzione di smorzamento del moto ondoso e frangivento.

Tra gli interventi è stata anche realizzata la rimozione del manto d'asfalto in un tratto di strada costiera di circa 3 km, parzialmente demolita dalle mareggiate all'inizio degli anni 80' e da allora chiusa al traffico. Tale intervento, associato a parte delle opere citate, ha consentito di "deirrigidire" la struttura ed innescare un processo di rinaturazione, in un tratto litorale peraltro significativamente ampio e rappresentativo, restituendolo, almeno in parte, all'evoluzione dei meccanismi naturali.

Nella fase terminale degli interventi sono stati realizzati limitati impianti di specie arbustive (*Juniperus oxycedrus*, *Phillyrea latifolia*, *Rhamnus alaternus*, *Pistacia lentiscus*), provenienti dal vivaio forestale del Parco Nazionale del Circeo di Sabaudia (LT), che hanno riguardato le parti sommitali (cresta dunale) delle opere di contenimento. È opportuno sottolineare come, specie operando in un'area protetta della valenza del Parco Nazionale del Circeo, e quindi nella necessità di tutelare il patrimonio vegetale locale anche sotto il profilo genetico, nella realizzazione degli interventi, si è preferito evitarne l'impiego diretto facendo invece ricorso a opere, sistemazioni ed accorgimenti che oltre alle finalità antierosive e di stabilizzazione delle sabbie eoliche, creassero condizioni favorevoli allo sviluppo della vegetazione locale. In particolare le diverse tipologie di schermi frangivento posizionati con disposizioni articolate, hanno creato condizioni fisiche e biologiche (ombra, umidità, disponibilità di sostanza organica ed elementi nutritivi) favorevoli allo sviluppo di specie psammofile ed alofile che, seppur adatte all'estrema criticità dell'ambiente litorale, hanno trovato nei fattori descritti elementi favorevoli al loro sviluppo ed evoluzione successionale. Oltre che per le specie erbacee quali, più di altre, *Lotus cytisoides*, *Ononis variegata*, *Eryngium maritimum*, *Medicago marina*, tali meccanismi sono risultati importanti anche per le specie arbustive, segnatamente il ginepro coccolone (*Juniperus oxycedrus*) che sta ricolonizzando larga parte della cresta dunale. In rapporto all'approccio descritto, un altro spunto di interesse, sul quale gli scriventi stanno conducendo studi e sperimentazioni specifiche, riguarda la possibilità di impiego di biomasse vegetali spiaggiate, di origine marina, in stretta associazione con le tipologie utilizzate lungo il litorale del Parco Nazionale del Circeo e di altre Aree Protette marino-costiere, per finalità di consolidamento, recupero di fertilità e valorizzazione ecologica di frazioni vegetali normalmente (ed erroneamente) gestite come rifiuto.

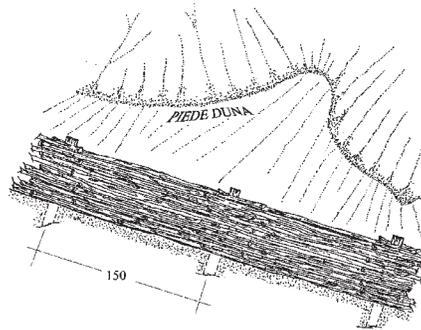
Per le finalità del presente lavoro, tra le molteplici tipologie di opere menzionate, sono state scelte quelle i cui risultati sono di maggior interesse anche in termini di esportabilità dell'esperienza in altri contesti del litorale regionale e nazionale:

- **Tipologia 1. protezione del piede dunale mediante barriera basale costituita da graticciata inclinata** (foto 5.8.1).
- **Tipologia 2. ricostruzione e protezione di depositi dunali embrionali mediante schermi frangivento a scacchiera** (foto 5.8.2).
- **Tipologia 3. ricostruzione e stabilizzazione del pendio dunale mediante consolidamento combinato costituito da viminate (graticciate) rivestite e schermi frangivento** (foto 5.8.3).

Le foto e i disegni sono degli autori.

TIPOLOGIA 1. BARRIERA BASALE IN VIMINATA

PROSPETTO



SEZIONE

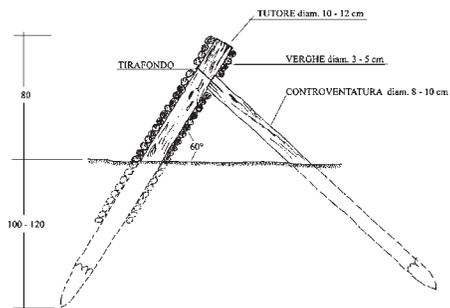


Foto 5.8.1: Barriera basale subito dopo la realizzazione

TIPOLOGIA 2. SCHERMI FRANGIVENTO A SCACCHIERA

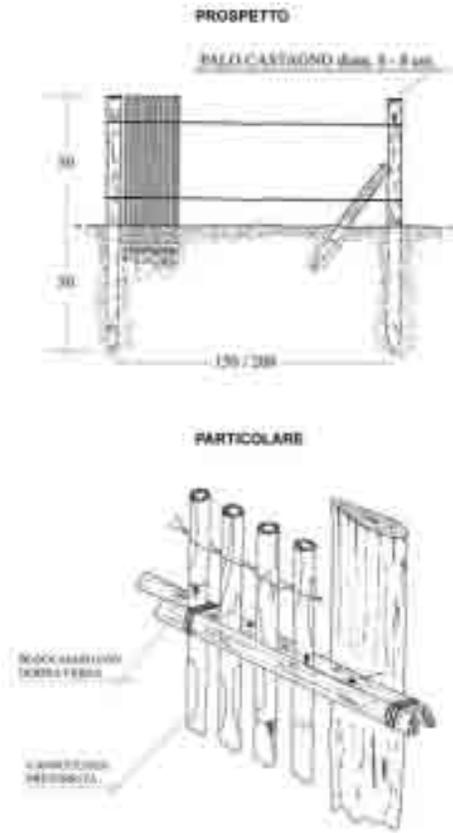


Foto 5.8.2: Schermi frangivento disposti a scacchiera a due anni dalla realizzazione

TIPOLOGIA 3. CONSOLIDAMENTO COMBINATO COSTITUITO DA VIMINATE E SCHERMI FRANGIVENTO

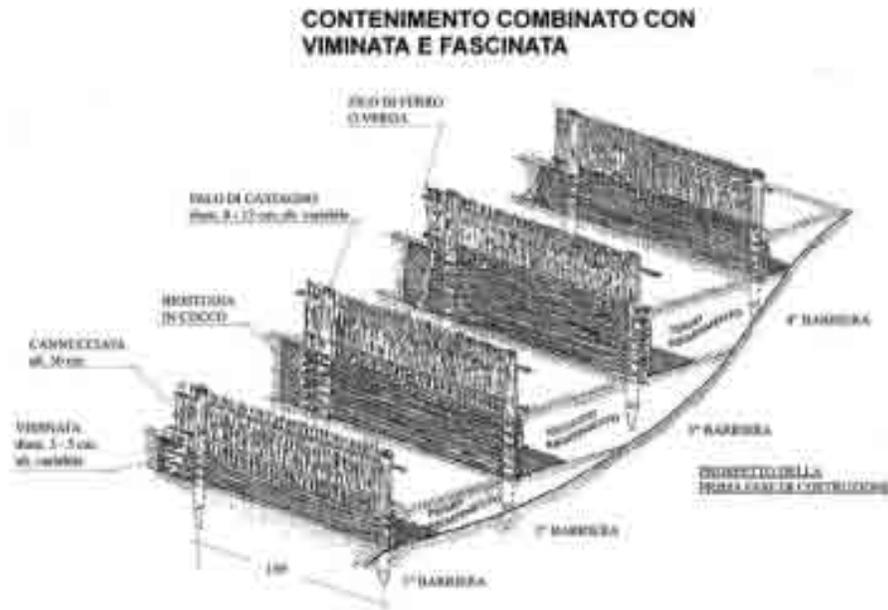


Foto 5.8.3: Fasi della realizzazione del consolidamento combinato

5.8.3 Le aree lagunari

Si riportano due casi di interventi di rivegetazione in aree lagunari in Alto Adriatico. Si rimanda anche alla scheda “Laguna di Nora” per una casistica di interventi spondali su canale lagunare in Sardegna.

Un caso di intervento di rivegetazione su barene in laguna di Grado

(da Manuale di Ingegneria Naturalistica Regione Lazio vol.2, modificato)

Si riportano le risultanze di un intervento di rivegetazione su fanghi lagunari di dragaggio con piante alofile eseguito nel 1996 in laguna di Grado (GO) Loc. Barbana.

Il lavoro è consistito in:

- fresatura dei fanghi derivanti dal dragaggio mediante sorbona del canale di accesso all'Isola - Santuario di Barbana;
- trapianto dal selvatico di esemplari di piante alofile (*Limonium*, *Puccinellia*, *Atriplex*, *Juncus*, *Salicornia*, etc.);
- semina manuale a spaglio con miscela commerciale;
- messa a dimora di talee di tamerici.

A distanza di circa dieci anni dall'intervento si può constatare la totale rivegetazione dell'area con insediamento delle varie formazioni (spartinetto, salicornieto, limonieto, agropireto) a seconda del livello del mare (foto 5.8.4)



Foto 5.8.4: Rivegetazione di barene originate da dragaggi in località Barbana (GO) - Foto G. Sauli

Ricostruzione di morfologie di barena e rivegetazione in Laguna di Calleri (Po di Levante)

Un altro caso di ricostruzione di morfologie di barena con materiali di dragaggio per ripristino di canali lagunari è quello eseguito a metà degli anni '90 nella Laguna di Calleri alla foce del Po di Levante.

Qui la sequenza dei lavori è stata la seguente:

Costruzione di conterminazioni in gabbionate cilindriche (foto 5.8.5);

- Dragaggio canali e accumulo del materiale (qui a prevalente matrice sabbiosa) all'interno delle aree conterminate;
- Realizzazione di morfologie a reti di canali di barena (foto 5.8.6);
- Interventi di piantagioni di specie alofite locali riprodotte a vivaio ed evoluzione spontanea di alcune specie (*Salicornia sp.*, *Arthrocnemum sp.*) (foto 5.8.7).



Foto 5.8.5: Laguna di Calleri (Po di Levante), conterminazioni in gabbioni cilindrici su più file - Foto G. Sauli



Foto 5.8.6: Laguna di Calleri (Po di Levante), ricostruzione di morfologie a reti di canali di barena su depositi di fanghi di dragaggio lagunari a matrice sabbiosa - Foto G. Sauli



Foto 5.8.7: Laguna di Calleri (Po di Levante), rivegetazione spontanea a Salicornia e Arthrocnemum a distanza di un anno - Foto G. Sauli

Nova Siri Marina
Specificità dell'intervento
Trattasi di uno dei primi interventi di stabilizzazione dell'arenile lungo il litorale lucano ionico con tecniche di I.N., effettuato da un gruppo di volontari.
Provincia/ Comune/ Località
MT / Nova Siri / Marina
Lineamenti vegetazionali
Duna costiera con pino marittimo misto a pino d'Aleppo e macchia mediterranea
Lineamenti geomorfologici
Duna costiera con arenile soggetto ad erosione eolica.
Obiettivo dell'intervento
Stabilizzazione della duna e dell'arenile; realizzazione di intervento di I.N. per l'introduzione di una specie autoctona, tipica delle dune bianche della costa metapontina, al fine di contenere l'erosione eolica e rinaturare un tratto di arenile ai fini didattici. Evidenziare l'inutilità ed i danni che si arrecano al patrimonio vegetale degli apparati dunali con l'esecuzione a cadenza annuale dei lavori di pulitura dell'arenile con mezzi meccanici per la fruizione turistico-balneare.
Tipologie e dimensioni dell'intervento
Circa 200 mq di arenile compreso tra la battigia ed il lungomare su cui sono stati messi a dimora 21 bulbi di <i>Pancreatium maritimum</i> su tre file parallele alla linea di costa.
Materiali morti impiegati
Nessun materiale
Specie vegetali impiegate
Bulbi di <i>Pancreatium maritimum</i> (giglio delle sabbie). I bulbi sradicati dall'erosione marina spiaggiati e sommersi dall'acqua marina, sono stati raccolti lungo la battigia dall'arenile di Metaponto Lido in forte erosione.
Periodo dei lavori
Gennaio 2001 raccolta dei bulbi; marzo 2001 messa a dimora
Osservazioni
L'attecchimento è stato totale. Già nel maggio del 2001 è stato possibile constatare il buono sviluppo vegetativo con la predisposizione di qualche bulbo alla fioritura.



Foto 1: Raccolta di Pancratium maritimum sradicato e piaggiato (gennaio 2001) - Foto A. Trivisani



Foto 2: Il giglio delle sabbie fiorito a maggio 2001 - Foto A. Trivisani