

FEDERICO BOCCALARO

DIFESA DEL TERRITORIO E INGEGNERIA NATURALISTICA

Manuale degli interventi di recupero ambientale
da dissesto geomorfologico su versanti, alvei e litorali
prossimi a infrastrutture viarie

INDICE

Presentazione	pag.	9
1 • INTRODUZIONE		
1.1. Dissesto idrogeologico	>>	11
1.2. Commissione De Marchi	>>	11
1.3. Ingegneria naturalistica	>>	13
1.4. Manuale di difesa del territorio	>>	16
2 • FORMAZIONE DELLE PROPOSTE PROGETTUALI (LINEE GUIDA ALLA PROGETTAZIONE)		
2.1. Modalità per la formazione delle proposte progettuali	>>	19
2.1.1. Generalità	>>	19
2.1.2. Relazione tecnica	>>	20
2.1.3. Documentazione fotografica	>>	20
2.1.4. Computo metrico e stima dei lavori	>>	20
2.1.5. Specifiche tecniche	>>	21
2.1.6. Acquisizione dei pareri e delle autorizzazioni	>>	21
2.1.7. Piano particellare di esproprio e indennizzi	>>	22
2.1.8. Conformità al capitolato	>>	22
2.2. Indicazioni progettuali generali	>>	22
OPERE DI DIFESA DEL SUOLO	>>	22
2.2.1. Stabilità dei pendii naturali e delle scarpate	>>	22
2.2.2. Interventi di stabilizzazione di pendii franosi	>>	24
2.2.3. Interventi di stabilizzazione di pendii franosi in roccia	>>	27
2.2.4. Opere di ingegneria naturalistica geotecnica	>>	29
2.2.5. Terra verde rinforzata	>>	35
2.2.6. Gabbioni	>>	38
2.2.7. Muri di sostegno	>>	39
2.2.8. Pali e micropali	>>	39
2.2.9. Ancoraggi	>>	42
2.2.10. Diaframmi	>>	46
2.2.11. Barriere da neve	>>	48
2.2.12. Barriere paramassi	>>	49
2.2.13. Drenaggi	>>	52
2.2.14. Trattamenti del terreno	>>	62
OPERE DI REGOLAZIONE DELLE ACQUE	>>	68
2.2.15. Criteri generali di intervento	>>	68
2.2.16. Morfologia dei corsi d'acqua	>>	70
2.2.17. Opere idrauliche di ingegneria naturalistica	>>	74
2.2.18. Difese longitudinali	>>	81
2.2.19. Difese trasversali	>>	86
2.2.20. Rivestimenti degli alvei	>>	90
2.2.21. Difesa delle fondazioni di spalle o pile di ponti	>>	90
OPERE DI DIFESA COSTIERA	>>	91
2.2.22. Generalità	>>	91
2.2.23. Opere di ingegneria naturalistica costiera	>>	93
2.2.24. Scogliere radenti	>>	98

2.2.25. Scogliere foranee	»	100
2.2.26. Pennelli	»	108
2.2.27. Opere di ripascimento e spiagge artificiali.....	»	109
APPENDICE 2.A	»	111
APPENDICE 2.B	»	127
APPENDICE 2.C	»	129
3 • QUADRO DI INSIEME DELLE OPERE DI DIFESA		
Premessa	»	133
SCHEDA	»	134
4 • PRONTUARIO DEGLI INTERVENTI D'URGENZA		
Premessa	»	139
SCHEDA	»	141
5 • TIPOLOGIE, MODALITÀ E COSTI DI ESECUZIONE DEI LAVORI (LINEE GUIDA ALLA COSTRUZIONE E ALLA CONTABILIZZAZIONE)		
Premessa	»	175
SCHEDA	»	177
6 • PIANIFICAZIONE E REALIZZAZIONE DEGLI INTERVENTI (LINEE GUIDA ALL'ESECUZIONE)		
6.1. Aspetti generali per la realizzazione delle opere di ingegneria naturalistica	»	489
6.1.1. La gestione amministrativa dei lavori	»	489
6.1.2. L'avanzamento dei lavori	»	490
6.1.3. Sopralluoghi e accertamenti preliminari	»	490
6.1.4. Collaudo	»	491
6.1.5. Garanzie	»	491
6.1.6. Verbale di ultimazione dei lavori e presa in consegna	»	492
6.1.7. Verbale di attecchimento delle piante e dei prati	»	492
6.1.8. Monitoraggio	»	493
6.2. Direttive sull'impiego dei materiali agrari e vegetali per le opere di ingegneria naturalistica	»	493
6.2.1. Substrati di coltivazione e terra di coltivo riportata	»	493
6.2.2. Concimi, ammendanti e correttivi, fitofarmaci	»	494
6.2.3. Pacciamatura	»	494
6.2.4. Pali di sostegno, ancoraggi e legature	»	494
6.2.5. Drenaggi e materiale antierosione	»	494
6.2.6. Acqua	»	494
6.2.7. Alberi	»	495
6.2.8. Arbusti e cespugli	»	495
6.2.9. Sementi	»	495
6.2.10. Tappeti erbosi in strisce e zolle	»	496
6.2.11. Verghe e talee di salice	»	496
6.2.12. Scelta delle specie	»	496
6.2.13. Origine e provenienza del materiale vegetale	»	497
6.2.14. Forme e caratteristiche qualitative del materiale di propagazione	»	497
6.2.15. Reperimento del materiale vegetale e aspetti amministrativi connessi all'approvvigionamento in loco	»	497
6.2.16. Conservazione, spostamento e recupero delle piante esistenti nella zona	»	498

6.3. Direttive sulle modalità di esecuzione delle opere di ingegneria naturalistica	>>	499
6.3.1. Pulizia generale del terreno	>>	499
6.3.2. Lavorazioni preliminari	>>	499
6.3.3. Movimenti di terra e lavorazioni del terreno	>>	499
6.3.4. Drenaggi localizzati.....	>>	499
6.3.5. Correzione, ammendamento, concimazione di fondo	>>	500
6.3.6. Apporto di terra da coltivo	>>	500
6.3.7. Messa a dimora delle piante	>>	500
6.3.8. Formazione dei prati	>>	500
6.3.9. Inerbimenti e piantagioni di scarpate e di terreni in pendio	>>	501
6.3.10. Protezione delle piante messe a dimora	>>	501
6.3.11. Attuazione del piano delle cure colturali	>>	501
6.3.12. Periodo utile per l'esecuzione dei lavori	>>	501
6.4. Indici di attecchimento	>>	502
6.4.1. Inerbimenti	>>	502
6.4.2. Interventi con l'impiego di piantine	>>	502
6.4.3. Interventi con l'impiego di talee, astoni e ramaglia	>>	503
6.4.4. Casi problematici	>>	503
6.5. Manutenzione delle opere di ingegneria naturalistica	>>	503
6.5.1. Manutenzione delle opere per il periodo di garanzia	>>	504
6.5.2. Manutenzione delle opere nel breve periodo	>>	505
6.5.3. Manutenzione delle opere a medio e lungo periodo	>>	506
6.6. Aspetti economici dell'uso di interventi di ingegneria naturalistica	>>	507
APPENDICE 6.A	>>	508
6.a.1. Generalità	>>	508
6.a.2. Esempio applicativo su costa	>>	509
6.a.3. Esempio applicativo su versante	>>	511
7 • INDICAZIONI PER IL CONTROLLO DELLA QUALITÀ (LINEE GUIDA AL CONTROLLO QUALITÀ)		
7.1. Generalità	>>	513
7.2. Sistemazioni dei corsi d'acqua	>>	513
7.2.1. Qualifica dei materiali	>>	513
7.2.2. Controlli di posa in opera	>>	515
7.3. Opere di difesa del suolo	>>	519
7.3.1. Disgaggio massi	>>	519
7.3.2. Barriere paramassi	>>	519
7.3.3. Rivestimenti di pareti e scarpate	>>	520
7.3.4. Gabbionate.....	>>	520
7.3.5. Canalette, cunette e cunicoli.....	>>	520
7.4. Opere di ingegneria naturalistica	>>	520
7.4.1. Qualifica dei materiali agrari e vegetali	>>	520
7.4.1.1. Materiale agrario	>>	520
7.4.1.2. Materiale vegetale	>>	522
7.4.2. Controlli di posa in opera	>>	523
APPENDICE 7.A Schede per il piano di controllo qualità (PCQ).....	>>	537
APPENDICE 7.B Principali standard qualitativi del materiale vegetale per l'ingegneria naturalistica	>>	544
7.b.1. Provenienza del materiale vegetale da area ecologicamente omogenea rispetto a quella di impianto	>>	544
7.b.2. Idoneità allo svolgimento efficace delle funzioni per le quali è stato scelto ..	>>	544
7.b.3. Rispetto delle normative di tutela fitosanitaria e delle condizioni di buona sanità delle piante	>>	544
7.b.4. Rispetto delle buone norme di qualità esteriore e morfologica	>>	544

7.b.5. Principali caratteristiche morfologiche del materiale di propagazione agamica	»	545
APPENDICE 7.C Indicazioni per un progetto di norma UNI	»	546
7.c.1. Definizioni	»	546
7.c.2. Funzioni	»	546
7.c.3. Ambiti di applicazione	»	546
7.c.4. Progettazione	»	547
7.c.5. Materiali da costruzione agrari, vegetali, inerti	»	547
7.c.6. Tecniche costruttive	»	547
7.c.7. Manutenzione	»	548
7.c.8. Programmazione e andamento dei lavori	»	549
7.c.9. Controllo Qualità	»	549
8 • RIFERIMENTI NORMATIVI E LEGISLATIVI		
8.1. Legislazione statale	»	551
8.2. Legislazione regionale	»	554
8.2.1. Regione Piemonte	»	554
8.2.2. Regione Liguria	»	555
8.2.3. Regione Lombardia	»	555
8.2.4. Regione Veneto	»	556
8.2.5. Regione Friuli Venezia Giulia	»	556
8.2.6. Regione Emilia Romagna	»	556
8.2.7. Regione Toscana	»	556
8.2.8. Regione Marche	»	556
8.2.9. Regione Umbria	»	556
8.2.10. Regione Lazio	»	557
8.2.11. Regione Campania	»	557
8.2.12. Regione Sicilia	»	557
Glossario	»	558
Bibliografia	»	567
Rassegna fotografica	»	569

Presentazione

Questo lavoro ripercorre in qualche modo la mia esperienza di lavoro nel settore della difesa del corpo stradale e vuole rappresentare tutti quegli aspetti (progettuali, costruttivi, economici, qualitativi, manutentivi) degli interventi di *difesa del suolo* che trovano applicazione nel settore delle infrastrutture viarie (strade e ferrovie).

Nel programmare gli interventi di difesa del suolo, finalizzati soprattutto a garantire la sicurezza a persone e infrastrutture, si è sempre più cercato di ridurre anche l'impatto ambientale delle opere, con l'obiettivo di coniugare maggiormente sicurezza, salvaguardia degli ambienti naturali e tutela del paesaggio.

L'Ingegneria naturalistica costituisce lo strumento operativo per raggiungere questo obiettivo, e trova fonte di ispirazione nella mia frequente visita di luoghi e interventi in Alto Adige, dove con più assiduità e capacità organizzativa sono state applicate tali tecniche di riambientalizzazione, in un efficace equilibrio tra conoscenze tecnologiche e naturalistiche.

A fianco di materiali innovativi quali i rivestimenti antirosivi, gli ancoraggi, le strutture flessibili, compaiono le piante con le loro funzioni essenziali: consolidare il terreno, colonizzare suoli sterili, incrementare la biodiversità, armonizzare il paesaggio, diminuire gli effetti dell'inquinamento.

Si spera con questo manuale di suscitare, specie nei giovani, interesse e considerazione per un'attività che può coniugare tradizione e innovazione nel gestire il territorio con risparmio delle risorse, prevenzione del dissesto e rispetto dell'ambiente.

L'Autore

Roma, luglio 2006

CAPITOLO I

INTRODUZIONE

1.1. Dissesto idrogeologico

Il dissesto idrogeologico del territorio italiano è un evento naturale sempre più ricorrente e discusso.

Fenomeni come i processi erosivi del suolo, le alluvioni, le esondazioni, gli arretramenti delle rive, le valanghe, le subsidenze indotte comportano spesso ingenti danni materiali e ambientali (nel nostro paese sono necessari da 100 a 400 anni per costituire 1 cm di suolo) e perdite di vite umane. In molti casi l'uomo (in passato ma specialmente oggi) ha accelerato o innescato tali processi naturali oppure ha trasformato il territorio rendendolo molto vulnerabile a questi processi. Da questo consegue che la difesa dai rischi idrogeologici si impone nei due termini della previsione dei dissesti con reti di monitoraggio e della prevenzione con idonee misure protettive.

Gli interventi per la difesa del suolo quali le sistemazioni idraulico-forestali, le regimazioni delle acque e le opere a presidio delle coste, costituiscono allora un investimento produttivo, anche se in gran parte a lungo termine. Infatti, è ormai accertato che il costo per realizzare le opere preventive può essere di gran lunga inferiore all'ammontare del danno economico e dell'investimento per le opere di sistemazione.

1.2. Commissione De Marchi

Chi si occupa di governo del territorio ricorda De Marchi soprattutto come presidente della *commissione interministeriale per lo studio della sistemazione idraulica e della difesa del suolo*, costituita nel novembre 1967 congiuntamente dal Ministero dei Lavori Pubblici e da quello dell'Agricoltura e delle Foreste, meglio conosciuta come Commissione De Marchi.

La costituzione di quella Commissione fu il provvedimento di più largo respiro messo in atto dal governo a seguito della disastrosa alluvione che dal 3 al 7 novembre 1966 aveva sommerso gran parte del centro storico di Firenze e gravemente danneggiato campagne, litorali e città su vaste estensioni dell'Italia centro-settentrionale, in particolare del Veneto, Friuli Venezia Giulia e Toscana. Già venti giorni dopo l'evento calamitoso il Ministero dei lavori pubblici aveva costituito una prima commissione – anch'essa presieduta dal prof. De Marchi – che in soli otto mesi aveva studiato il quadro meteorologico e idrologico dell'evento ed elaborato una trattazione sostanzialmente introduttiva degli aspetti fondamentali del vasto problema della

programmazione delle opere da attuarsi per prevenire, o almeno diminuire, il rischio di alluvioni analoghe in avvenire. La commissione interministeriale, costituita un anno dopo, riprese con più ampia visione e in un quadro più vasto il lavoro compiuto dalla precedente, integrandolo anche con lo studio dei problemi agricoli e forestali connessi con la difesa del suolo.

Eccezionale fu il risultato dei lavori della commissione, che nei termini assegnatigli e precisamente ai primi del 1970, redasse una monumentale relazione conclusiva (ben 900 pagine) che insieme ai quattro dettagliati volumi di Atti pubblicati poi nel 1974 dopo la morte di De Marchi, costituisce ancor oggi un documento fondamentale che fa il punto non tanto sulla tecnologia, quanto sull'approccio con cui all'epoca si affrontavano i problemi della difesa dalle alluvioni, con anticipazioni notevolissime di idee che si sarebbero sviluppate successivamente.

Si verificarono purtroppo vertiginosi ritardi e intoppi nell'erogazione dei fondi che la legge istituita aveva assegnato per il finanziamento della commissione.

Chissà cosa scriverebbe oggi De Marchi constatando con quanta insensibilità politica siano state accolte le meditate e innovative proposte della "sua" commissione nel quarto di secolo trascorso dalla relazione conclusiva: in riferimento non tanto al fatto che pochissime delle opere ivi previste sono state realizzate, ma soprattutto ai 19 anni che sono occorsi (fino alla legge 183/89, cosiddetta "sulla difesa del suolo") perché la legislazione dello stato italiano recepisce le idee fondamentali della commissione adottando il bacino idrografico come ambito territoriale di riferimento e introducendo come strumenti per la gestione delle risorse idriche i *piani di bacino*.

Alla domanda se oggi il governo del territorio presenti problemi del tutto nuovi rispetto agli ultimi anni '60 si deve dare una risposta articolata, perché è soprattutto vero che anche problemi vecchi vengono oggi affrontati con un approccio moderno. Da questo punto di vista vanno considerati essenzialmente tre ordini di idee.

Il primo è la maggiore attenzione che si rivolge all'interazione fra le opere di intervento sul dissesto idrogeologico (in particolare di sistemazione degli alvei) e l'ambiente nel quale queste opere devono calarsi, ambiente nel senso più comprensivo della parola, non solamente fisico, geografico o idrologico, ma anche biologico, sociale, economico, igienico, ecc.

Il secondo è la diffusione delle procedure di *ingegneria naturalistica*, anche se l'impiego di fascine, palificate di legno, viminate e tipi di opere di consolidamento che sposino la natura risale alla preistoria.

Il terzo è lo sviluppo dell'approccio sistemico ai problemi connessi col governo del territorio: forse la commissione De Marchi è stata l'ultima grande attività pianificatoria – anche se limitata allo scopo primario del controllo delle piene per la difesa del territorio – compiuta nel nostro paese senza l'esplicito ricorso all'analisi dei sistemi. In effetti fu soltanto all'inizio degli anni '70 che i procedimenti dell'analisi dei sistemi cominciarono a essere applicati in Italia, specialmente sul piano regionale, allo studio dei problemi della pianificazione delle risorse idriche e perciò indirettamente a quelli della difesa del suolo, giacché i provvedimenti intesi a difendere il territorio dalle intemperanze della natura, ivi inclusa la sistemazione degli alvei, interagiscono fortemente, tanto nei costi quanto nei benefici, con l'utilizzazione delle risorse.

Questo cambiamento di rotta avvenne soprattutto sotto lo stimolo della Conferenza nazionale delle acque (1972) e dello studio metodologico sviluppato sul bacino del Tevere dall'Istituto di Ricerca Sulle Acque (IRSA) del Consiglio Nazionale delle Ricerche (1975). E le applicazioni a casi concreti non si fecero attendere: fra le primissime il "Progetto di piano per la salvaguardia e razionale utilizzazione delle risorse idriche" della Regione Emilia Romagna, impostato nel 1973; il progetto pilota delle opere di regolamentazione del bacino dell'Arno, che è del 1976, e soprattutto il progetto speciale P.S. 14 della Cassa per il Mezzogiorno relativo alla Puglia e alla Basilicata (1976), nel quale l'analisi dei sistemi ha permesso di impostare correttamente la soluzione dei problemi pianificatori e gestionali posti dalla complementarietà delle due regioni sotto l'aspetto delle risorse e delle domande d'acqua (la Basilicata, con i suoi fiumi perenni, è più ricca di acqua, ma ha minori fabbisogni; per la Puglia accade il contrario).

L'analisi dei sistemi in sostanza non fa che codificare e precisare valutazioni e stime che possono portare a soluzioni ottime o quasi, anche senza l'applicazione dell'algoritmo matematico, ma sfruttando esperienza e intuito: è certamente quello che è riuscita a fare la commissione De Marchi, che ha inquadrato perfettamente in una visione globale e multidisciplinare problemi molto complessi e soggetti a vincoli d'ogni genere.

L'esperienza ha un ruolo fondamentale nell'affrontare i problemi del dissesto idrogeologico se, nella relazione "Sulla difesa dalle acque" (1972), Giulio De Marchi affermava:

«...L'esito infelice di molte sistemazioni effettuate in passato su torrenti montani, specie delle regioni meridionali, trova spiegazione in generale nel fatto che le progettazioni di base furono condotte più sulle carte che sul terreno, e che nello studio di esse e nella direzione dei lavori si sono succeduti, talora a brevi intervalli di tempo, funzionari diversi, inizialmente ignari dell'ambiente e troppo spesso privi di ogni esperienza precedente in questo particolarissimo campo d'attività.

Tenuto presente tutto ciò, mi pare di poter affermare che la situazione dei torrenti è in prima linea problema d'uomini: il loro successo è legato, infatti, soprattutto agli uomini che vi soprintendono, alla loro specifica preparazione, alla diretta conoscenza dei torrenti da sistemare e dei loro bacini, da essi acquisita, e ad una lunga loro permanenza nello stesso ufficio, che consente loro di seguire senza interruzione il progressivo svolgimento dei lavori di sistemazione e il loro effetto, dal principio alla fine...».

1.3. Ingegneria naturalistica

Tra le discipline tecniche che intervengono nella soluzione dei problemi creati dal dissesto idrogeologico, si è inserita ormai da diversi anni l'ingegneria naturalistica, che trova ampio spazio di trattazione nel presente manuale.

L'*ingegneria naturalistica* (I.N., tedesco *Ingenieurbiologie*, inglese *Bioengineering*) è una disciplina tecnica che utilizza le piante vive negli interventi antiersivi e di consolidamento, in genere in abbinamento con altri materiali (legno, terra, roccia, geotessili, reti zincate, ecc.), per la ricostruzione di ecosistemi tendenti al naturale e all'aumento della biodiversità. I campi di intervento vanno da quelli tradizionali di consolidamento dei versanti e delle frane al recupero delle aree degradate (cave, discariche, cantieri), alla mitigazione degli impatti legati alla realizzazione di opere di ingegneria (barriere antirumore e visive, filtri alla diffusione di polveri, ecosiste-

mi-filtro a valle di scarichi idrici), all'inserimento ambientale delle infrastrutture di trasporto lineari (scarpate stradali e ferroviarie), alla rinaturazione dei corsi d'acqua, ecc.

Le finalità degli interventi di I.N. sono principalmente:

- *tecnico-funzionali*, ad esempio antierosive e di consolidamento di una scarpata o di una sponda;
- *naturalistiche*, in quanto lo scopo non è la semplice copertura a verde ma la ricostituzione o l'innesco di comunità vegetali appartenenti alla serie dinamica autocotona;
- *estetiche e paesaggistiche* di inserimento nel paesaggio naturale;
- *economiche*, in quanto tipologie alternative e competitive alle opere tradizionali (ad esempio muri di sottoscarpa in cemento sostituiti da palificate vive).

Gli interventi di I.N. si distinguono da quelli tradizionali per:

- l'esame delle caratteristiche microclimatiche, geomorfologiche e pedologiche delle aree di intervento;
- l'analisi floristica e vegetazionale, con particolare riferimento alla ricostruzione della serie dinamica e all'individuazione delle specie d'impiego in funzione delle loro caratteristiche biotecniche;
- l'uso di materiali non tradizionali quali i geotessuti sintetici in abbinamento a piante o parti di esse;
- l'accurata selezione delle specie vegetali da impiegare (miscele di sementi, specie arboree ed arbustive, talee, rizomi, trapianti di zolle);
- l'abbinamento della funzione di consolidamento con quella del reinserimento ambientale;
- il miglioramento nel tempo delle suddette funzioni per lo sviluppo delle parti aeree e sotterranee delle piante.

Opere di ingegneria naturalistica vengono realizzate da oltre trent'anni nei paesi di lingua tedesca, mentre in Italia le esperienze principali sono state fatte in Trentino-Alto Adige.

Anche sul piano legislativo tali tecniche vengono ormai espressamente richieste come nella legge speciale 102/90 per la Valtellina o nella norma regionale per gli interventi di difesa del suolo dell'Emilia Romagna (delibera n. 3939 del 6/9/94) e di altre regioni italiane.

L'interesse per tali tecniche è anche manifestato dai manuali tecnici usciti negli ultimi anni quali quelli predisposti dalle regioni Emilia Romagna e Veneto, Lazio, Toscana, Liguria, Lombardia, dalla Provincia di Trento, dalla Provincia di Terni e dal Ministero dell'ambiente.

Si può quindi affermare che l'ingegneria naturalistica ha ormai superato in Italia la fase pioniera e si sta accreditando presso le pubbliche amministrazioni e i professionisti come uno strumento fondamentale per la salvaguardia del territorio e la riqualificazione dell'ambiente.

Lo studio di un intervento di ingegneria naturalistica comprende le seguenti fasi:

- indagini bibliografiche;

- indagine geologica e geomorfologica;
- indagine pedologica;
- indagine floristica e vegetazionale per l'individuazione delle specie e delle tipologie vegetazionali d'intervento;
- definizione dei criteri progettuali;
- definizione delle tipologie di ingegneria naturalistica;
- elenco delle specie floristiche da impiegare.

La lunghezza della rete stradale e ferroviaria in Italia è di circa 930.000 km (Conto Nazionale Trasporti, 1986) con una occupazione di superficie per l'infrastruttura di circa il 3% del territorio nazionale (dati relativi alla Germania, comprensivi dei canali navigabili e degli aeroporti, indicano circa l'8% di territorio occupato).

Risulta quindi evidente l'importanza della rinaturazione delle superfici laterali delle infrastrutture per un aumento della diversità biologica e della qualità ambientale del territorio attraversato.

Nel settore delle opere ferroviarie, mettendo in ogni caso al primo posto la sicurezza dell'esercizio, è possibile in molte situazioni utilizzare tecniche di I.N. negli interventi di ripristino o inserimento ambientale di nuove infrastrutture, dopo aver comunque garantito con gli studi di compatibilità e di impatto ambientale la scelta del tracciato e delle tipologie costruttive meno dannose per l'ambiente. L'ingegneria naturalistica è applicabile anche negli interventi di manutenzione lungo le linee.

Tali tecniche sono state impiegate nella tratta ferroviaria Arezzo-Figline Valdarno della DD Roma-Firenze per l'impianto di formazioni arboree autoctone sui rilevati ferroviari, per il consolidamento di scarpate in erosione e per la realizzazione di una barriera visiva vegetale tra DD e Autostrada del Sole (Cornellini et al., 1991, 1992, 1993).

Un altro intervento di bioingegneria è stato realizzato in Liguria, a Cadibona (SV), nella tratta Savona-Torino (via Altare), per il consolidamento di un versante in frana. Operai addetti alla manutenzione della linea ferroviaria, provenienti dai compartimenti di Genova e Torino, hanno frequentato un corso teorico-pratico di ingegneria naturalistica, durante il quale hanno appreso tecniche quali la grata viva, la fascinata viva, la cordonata viva, lo steccato vivo, il rivestimento vegetativo in rete e il biofello presemato (Boccalaro et al., 1994).

Numerosi interventi di ingegneria naturalistica sono stati effettuati per riqualificare il territorio interessato dal raddoppio della linea ferroviaria Udine-Tarvisio ("Pontebbana"): lavori di ripristino ambientale all'imbocco nord della galleria Leila e del rio Ponte di Muro, lavori di recupero ambientale e sistemazione idrogeologica diffusi, lavori di rinaturazione del fiume Fella a Piana di Valbruna, ecc. (Sauli et al., 2000). È stato un piano di opere di grande impegno, sia per la vastità del territorio coinvolto, sia per il numero e mole di interventi nonché per l'investimento economico profuso.

L'Istituto sperimentale delle ferrovie dello stato ha anche predisposto un progetto di riutilizzo delle traverse ferroviarie in legno dismesse, unitamente alla terra e alle piante viventi, per la realizzazione di una "palificata viva" da impiegarsi come muro di sottoscarpa dei rilevati (Cornellini, 1992), allo scopo di conseguire alcuni importanti obiettivi ambientali:

- utilizzo come materiale riciclato di traverse che presentano problemi di smaltimento;
- risparmio di cemento, materiale la cui produzione richiede energia e quindi aumento di entropia e inquinamento;
- creazione di una struttura vivente con nuovi *habitat* per la flora e la fauna.

Accanto ai suddetti esempi le tecniche di ingegneria naturalistica possono fornire un'alternativa all'uso dei materiali tradizionali nei casi di:

- ripristino degli imbocchi delle gallerie;
- realizzazione di barriere antirumore;
- ripristino della rete idraulica minore;
- sistemazioni idrauliche per la protezione della linea dall'attività erosiva;
- ripristino delle cave di prestito e delle discariche dei materiali.

1.4. Manuale di difesa del territorio

L'autore ha partecipato nel maggio del 1994 a un'escursione tecnica in Alto Adige, organizzata dalla AIPIN (Associazione Italiana Per l'Ingegneria Naturalistica) e guidata dal dott. Florin Florineth (allora responsabile dell'azienda speciale per la regolazione dei corsi d'acqua e la difesa del suolo della Provincia Autonoma di Bolzano), allo scopo di osservare alcuni lavori di sistemazioni idrogeologiche in generale e di ingegneria naturalistica in particolare eseguiti dal personale della Provincia in Val Venosta.

L'azienda speciale per la regolazione dei corsi d'acqua e la difesa del suolo in caso di frane, alluvioni o valanghe è chiamata immediatamente a far fronte ai primi indispensabili ripristini e alla rapida pianificazione e realizzazione degli interventi di ricostruzione. I lavori vengono condotti in amministrazione diretta, evitando quindi i tempi morti della procedura per appalti e le incongruenze per interventi condotti da ditte diverse o non specificamente preparate.

I progetti vengono eseguiti direttamente dal personale dell'azienda, dalla fase di rilievo a quella di progettazione fino alla direzione dei lavori.

L'azienda è composta da circa 50 tra tecnici e impiegati dipendenti dall'amministrazione provinciale e dispone di circa 350 operai per l'esecuzione dei lavori, divisi in 20 squadre dislocate sul territorio della provincia e supportata da una rete di infrastrutture quali magazzini, vivai e alloggi.

L'efficacia antiersosiva degli interventi di ingegneria naturalistica e l'economia di mezzi e materiali che essi consentono ha suggerito all'autore di addestrare il personale ferroviario di linea all'utilizzo di queste tecniche di consolidamento con un corso teorico pratico a sistemazione di una frana, come già sopra menzionato.

Per diffondere ulteriormente in tutto il territorio nazionale questa esperienza e per fornire un'utile guida alla progettazione ed esecuzione di interventi di difesa suolo è stato ideato questo manuale, con la speranza di rendere più consapevole e autonomo il lavoro degli addetti alla manutenzione delle strade e ferrovie e dei tecnici della progettazione e direzione lavori.

Infatti l'attività svolta ha messo in luce le grandi potenzialità delle tecniche di inge-

gneria naturalistica per la difesa del suolo e la regolazione dei corsi d'acqua a protezione della sede ferroviaria/stradale e per la mitigazione dell'impatto ambientale.

Si è inoltre evidenziata l'ottima predisposizione degli addetti alla manutenzione ad apprendere e ad applicare questi metodi, che talvolta derivano dalla cultura agroforestale delle regioni di appartenenza, affinati con le moderne conoscenze.

Nel settore della manutenzione delle infrastrutture esistono alcuni limiti alla disponibilità di mezzi (materiali e mano d'opera), a causa di una inadeguata autonomia di spesa, un esiguo gettito finanziario e una politica del personale non sufficientemente orientata al lavoro autonomo (vedi al contrario il caso della Provincia di Bolzano). L'importanza in termini economici e di sicurezza che riveste il dissesto idrogeologico per la circolazione dei veicoli e per la sede ferroviaria/stradale in molti tratti della rete italiana giustificherebbe, a livello di zona, l'istituzione di una o più squadre specializzate in interventi di difesa suolo e ingegneria naturalistica, dotate di adeguati strumenti finanziari e operativi (come, ad esempio un ragno meccanico per il modellamento del terreno su pendii ripidi).

Il presente manuale si rivolge ai tecnici ferroviari e stradali che si dedicano alla manutenzione del corpo stradale e che spesso devono affrontare problemi di emergenza per la rete e la circolazione viaria causati da instabilità dei versanti (erosione accelerata, frane), alluvioni, mareggiate (arretramento dei litorali), valanghe, subsidenza indotta, sismi.

In questo testo si è cercato di rappresentare tutti gli aspetti (progettuali, costruttivi, economici, qualitativi) degli interventi di difesa del suolo, anche se con la consapevolezza di dover spesso rinunciare a necessari approfondimenti di singole tematiche, rimandati alla bibliografia, a favore di uno sguardo d'insieme sintetico e logico.

L'ingegneria naturalistica ha ricevuto un'attenzione particolare essendo per il settore dei trasporti una disciplina nuova e nello stesso tempo dimenticata (vedi le antiche tecniche di sistemazione idraulico-forestale conosciute dai primi tecnici ferroviari/stradali).

Con questo lavoro si cerca di coniugare quindi innovazione e tradizione per una gestione del territorio volta al risparmio di risorse, alla prevenzione del dissesto e al rispetto dell'ambiente.

DC. Opere di difesa di sostegno

DCV. Versanti, scarpate

GENERALITÀ

Queste strutture sono impiegate negli interventi di sistemazione e consolidamento dei versanti in frana e nella realizzazione di un'ampia gamma di opere di ingegneria per stabilizzare e/o sostenere terreno o altro materiale, quando per cause naturali o artificiali, quali scavi o riporti, si hanno condizioni che non permettono al terreno di assumere la sua naturale pendenza d'equilibrio. Tali opere fanno aumentare le *forze resistenti* per mezzo di elementi strutturali fondati o ancorati a un terreno sottostante non interessato dal dissesto.

Le opere di sostegno possono essere rigide o flessibili in relazione alla capacità di adattarsi alle deformazioni e/o cedimenti dei terreni o degli ammassi rocciosi, senza rotture o danni significativi. Negli ultimi anni si sono diffuse alcune categorie di opere di sostegno e di consolidamento naturalistiche che rispondono all'esigenza di minimizzare l'impatto degli interventi sull'ambiente e di favorire il ripristino naturale dell'area.

Nella scelta degli interventi che verranno descritti, si deve tener conto anche del loro costo; ciò vale in particolare per quelli più complessi e impegnativi, quali gli ancoraggi, il cui costo è sempre elevato, per cui ne viene consigliato l'uso limitatamente ai casi in cui si è certi della loro efficacia, e l'importanza e il valore del manufatto da salvaguardare sono elevati.

DC. Opere di difesa di sostegno

DCV. Versanti, scarpate

DCV.1. Palificata viva a parete doppia ^{IN}

DESCRIZIONE

La palificata di sostegno in legname a parete doppia, riempita di terreno e rinverdità con talee di salice o tamerice e piantine radicate di specie autoctone, è composta da correnti e traversi in tondami di legno scortecciato idoneo e durabile di larice o castagno (diametro di 15 ÷ 30 cm, lunghezza di 1,50 ÷ 2 m), fissati tra loro con chiodi o tondini di ferro $\phi = 14$ mm, staffe e caviglie di acciaio zincato, opportunamente sagomati negli incastri, ancorata al piano di base con picchetti e filo di ferro ($\phi = 3$ mm) in acciaio zincato. Una fila di putrelle potrà ulteriormente consolidare la palificata alla base. Per un fissaggio corretto con i tondini di ferro, bisogna perforare parzialmente i due tronchi da fissare, in modo da avere una salda presa senza il rischio di provocare rotture o fessurazione del legno. Inoltre, il posizionamento sfalsato dei traversi è a favore della stabilità.

La base di appoggio deve avere una contropendenza di $10^\circ + 15^\circ$.

Si inseriscono talee di salice posate contigue in ogni strato, sporgenti per 15 + 20 cm ($l = 30 + 40$ cm, $\phi = 3 + 10$ cm), e piantine radicate di specie arbustive pioniere, e si riempie a strati con materiale ghiaio-terroso proveniente dagli scavi e/o riportato, previa miscelazione.

La palificata in legname con talee può essere a una o a due pareti.

La palificata a parete semplice ha una sola fila orizzontale esterna di tronchi e gli elementi più corti, perpendicolari al pendio, sono appuntiti ed inseriti nel pendio stesso. L'altezza di questo tipo di palificata è in genere modesta (1 - 1,5 m).

La palificata a due pareti richiede uno scavo maggiore, ma può resistere a spinte più elevate e avere un'altezza superiore (max 3 m, poiché la capacità consolidante delle piante si limita a 2-3 m di profondità).

La palificata di difesa spondale ha una fila di massi posti al piede, a contatto con l'acqua, legati con una fune di acciaio di $\phi = 16$ mm e ulteriormente fissati con piloti in profilato metallico di lunghezza pari a 2 m, infissi nel fondo per almeno 3/4 della lunghezza.

Il paramento a valle non deve essere verticale, ma leggermente inclinato verso monte di 60° per garantire la miglior crescita delle piante.

L'effetto consolidante della struttura in legno, una volta marcita, sarà sostituito dallo sviluppo dell'apparato radicale.

Le piante e le parti di piante legnose vanno inserite nella costruzione solo durante il riposo vegetativo.

Allo scopo di mantenere un popolamento vegetale abbastanza elastico, si dovrà intervenire con periodiche manutenzioni (2 + 4 anni), consistenti nel diradamento o nel taglio dei salici in maniera scalare nel tempo e nello spazio.

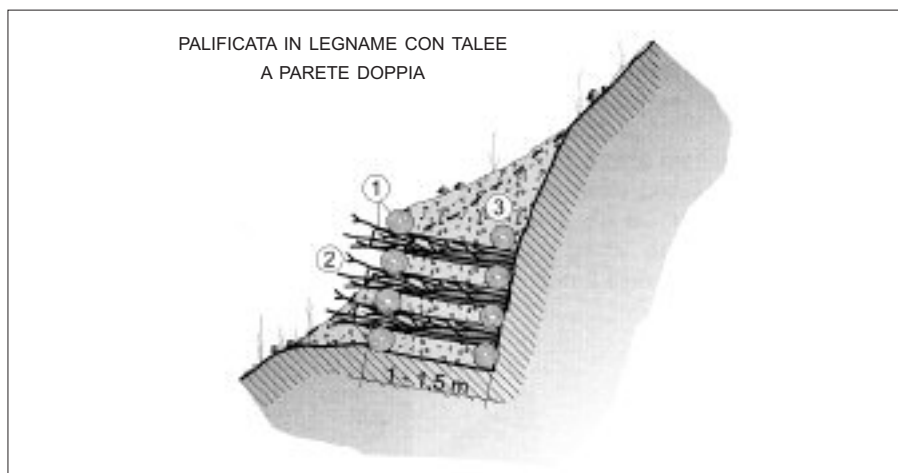
Nel prezzo è compreso lo scavo di fondazione, la fornitura e il trasporto del legname a piè d'opera, il taglio, l'allestimento e la costruzione della struttura, la fornitura e messa a dimora del materiale vegetale (minimo 20 talee e 5 piantine radicate al metro quadrato) e il riempimento.

ANALISI DEI PREZZI

N°	Descrizione dei lavori	Unità di misura	Quantità	Costo unitario	Importo totale
	MANODOPERA				
1	Operaio comune	ora	0,80	21,69	17,35
2	Operaio qualificato	ora	0,70	23,35	16,35
3	Operaio specializzato	ora	0,20	24,47	4,89
	NOLI				
4	Autocarro	ora	0,04	34,10	1,36
5	Ragno meccanico	ora	0,70	45,43	31,80
6	Compressore con pistola	ora	0,30	20,46	6,14
7	Generatore con trapano	ora	0,06	4,73	0,28
8	Motosega a catena	ora	0,30	3,52	1,06
	MATERIALI IN OPERA				
9	Legname di larice o castagno in tondame scortecciato ($\phi=15+30$ cm)	m ³	0,50	126,06	63,03
10	Chiodi in acciaio zincati	cad	4,00	1,54	6,16
11	Profilati in acciaio zincati a doppio T	kg	8,00	1,21	9,68
12	Graffe, staffe, cambre in acciaio zincate	kg	0,50	5,50	2,75
13	Filo di ferro zincato ($\phi = 3$ mm)	kg	0,20	0,89	0,18
14	Talee di salice	cad.	10,00	0,88	8,80
15	Piantine radicate di arbusti	cad.	1,00	7,15	7,15
	Importo totale	€/m ³			176,98
	Prezzo di applicazione al m³	€			177,0

N.B. Il prezzo è riferito al 2006 su una media nazionale e comprende le spese generali (10%) e l'utile d'impresa (16,5%).

ILLUSTRAZIONE [10]



DC. Opere di difesa di sostegno

DCV. Versanti, scarpate

DCV.2. Palificata viva "Roma" IN

DESCRIZIONE

Consolidamento di pendii franosi o di sponde in erosione con palificata in tondami di castagno o larice ϕ 20 + 25 cm posti a formare una struttura triangolare in legname, con i montanti, i tiranti e i traversi di $l = 2,50 + 3,00$ m e fissati tra di loro con tondini e barre filettate in acciaio zincato con dadi e rondelle ϕ 14 mm; la palificata andrà interrata con una pendenza del $10 + 15\%$ verso monte ed il fronte avrà una pendenza di circa 65° per garantire la miglior crescita delle piante; una fila di pali infissi potrà ulteriormente consolidare la palificata alla base; sui traversi di base sarà posata una rete in acciaio zincata e plastificata di maglia 6×8 cm, per la ripartizione del carico del terreno di riempimento sulla fondazione. Sarà effettuato l'inserimento di pietrame di pezzatura superiore al diametro del trasverso nelle camere al di sotto del livello medio dell'acqua sul fronte esterno e un riempimento con inerte nella zona retrostante; analogamente sarà effettuato l'inserimento di fascine vive (di diametro superiore allo spazio tra i tronchi correnti) e talee di salici, tamerici o altre specie con capacità di propagazione vegetativa, nonché di piante radicate di specie arbustive pioniere nelle camere al di sopra del livello medio dell'acqua e riempimento con inerte nella zona retrostante fino a completa copertura dell'opera e riprofilatura di raccordo con la scarpata di sponda.

Rami e piante dovranno sporgere circa 10 cm dalla palificata e arrivare nella parte posteriore sino al terreno naturale. La palificata potrà essere realizzata per singoli tratti non più alti di $1,8 + 2$ m.

Nel caso della difesa spondale sarà posta una fila di massi al piede della palificata, a contatto con l'acqua, legati con una fune d'acciaio zincata di ϕ 16 mm e ulteriormente fissati con pali in legno o in profilato metallici di lunghezza di 2 m, infissi nel fondo per almeno i tre quarti della lunghezza.

ANALISI DEI PREZZI

N°	Descrizione dei lavori	Unità di misura	Quantità	Costo unitario	Importo totale
MANODOPERA					
1	Operaio comune	ora	0,80	21,69	17,35
2	Operaio qualificato	ora	0,60	23,35	14,01
NOLI					
3	Ragno meccanico	ora	0,60	45,43	27,26
4	Compressore con pistola	ora	0,30	20,46	6,14
5	Autocarro ribaltabile da 40-120 q	ora	0,10	34,10	3,41
6	Generatore con trapano	ora	0,06	4,73	0,28
7	Motosega a catena	ora	0,30	3,52	1,06
MATERIALI IN OPERA					
8	Legname di larice o castagno in tondame scortecciato ($\phi=10+25$ cm)	m ³	0,40	126,06	50,42
9	Chiodi in acciaio zincati (spezzoni)	cad	2,00	0,88	1,76
10	Barre filettate in acciaio	cad	4,00	4,40	17,60
11	Rete in acciaio a doppia torsione plastificata	m ²	1,00	4,40	4,40
12	Talee di salice o tamerice	cad.	15,00	0,88	13,20
13	Piantine radicate di arbusti	cad.	1,00	7,15	7,15
Importo totale		€/m ²			164,04
Prezzo di applicazione al m²		€			164,0

N.B. Il prezzo è riferito al 2006 su una media nazionale e comprende le spese generali (10%) e l'utile d'impresa (16,5%).