

PUBBLICAZIONE MENSILE
(Nuova serie)
ANNO 9
N. 6 / GIUGNO 2002

La **TP** Tecnica Professionale

RIVISTA EDITA DAL COLLEGIO INGEGNERI FERROVIARI ITALIANI



MATERIALE DI TRAZIONE OSE
TECNICHE DI INGEGNERIA NATURALISTICA
STATISTICHE FERROVIARIE MONDIALI
METRONAPOLI NEL "CONFRONTO GLOBALE"

PROGETTAZIONE ED INTERVENTI CON TECNICHE DI INGEGNERIA NATURALISTICA IN AMBITO FERROVIARIO

di **Alessandro BUONANNO**

RFI - Direzione Investimenti

e di **Paolo CORNELINI**

Presidente Sez. Lazio AIPIN

SOMMARIO

Esiste ormai da molti anni anche in Italia una domanda sociale di pianificazione a compatibilità ambientale, da cui deriva la necessità di adeguare sempre più la progettazione di nuove opere o quella relativa ad interventi di ripristino con azioni a minimo impatto ambientale. Tale esigenza vale ancor più quando gli interventi interessano porzioni di territorio con particolari valenze ambientali, ove l'utilizzo di tecniche alternative a quelle tradizionali si impone per motivi naturalistici e paesaggistici.

Le tecniche di ingegneria naturalistica rispondono a questa esigenza e costituiscono, nell'ampia gamma dei casi possibili, uno strumento ormai indispensabile per la progettazione ambientale, nella coscienza dei limiti operativi e della necessità di un efficace utilizzo solo all'interno di un corretto iter di progettazione ambientale.

INTRODUZIONE

Gli interventi di ripristino e di inserimento paesaggistico ambientale a seguito della costruzione di infrastrutture come, ad esempio, quella ferroviaria devono rappresentare l'ultima fase di una progettazione che, nella sua realizzazione ottimale, parte dallo studio della compatibilità ambientale (per individuare il corretto posizionamento del tracciato) e giunge, tramite lo studio di impatto (che valuta le interazioni opera-ambiente), alla scelta delle tipologie costruttive più idonee (ved. fig. 1).

In assenza di tali studi preliminari la realizzazione degli interventi di mitigazione ambientale corrono il rischio di risultare un'operazione di semplice *maquillage*, di carattere puramente estetico, che potrebbe comportare o giustificare onerose operazioni sul territorio.

Una volta deciso il tracciato e la tipologia delle opere (rilevato, trincea, viadotto, ponte, galleria) di mi-

nimo impatto ambientale, gli interventi di inserimento paesaggistico-ambientale, come il rinverdimento dei rilevati, la stabilizzazione delle scarpate, la sistemazione degli imbocchi delle gallerie, le interferenze con il reticolo idrografico, etc. possono essere realizzati con le tecniche di ingegneria naturalistica, con il duplice obiettivo della realizzazione di nuove unità ecosistemiche e dell'aumento della biodiversità, compatibilmente con il territorio interessato dal tracciato stesso.

LE TECNICHE DI INGEGNERIA NATURALISTICA

L'ingegneria naturalistica è una disciplina tecnica che utilizza:

- *tecniche di rinaturazione finalizzate alla realizzazione di ambienti idonei a specie o comunità vegetali e/o animali;*
- *materiali da costruzione come piante vive o parti di queste, da sole o in abbinamento con altri materiali quali il legno, il pietrame, le reti zincate, le biostuoie, i geosintetici, etc.;*



Fig. 1 - Gli interventi di ingegneria naturalistica rappresentano l'ultima fase di un corretto iter di progettazione ambientale e non devono essere utilizzati per giustificare carenze progettuali



Fig. 2 - Impiego di traverse ferroviarie come opere di sostegno. Potenziale uso per opere di ingegneria naturalistica. Agosto 2001

- *materiali diversi, anche inerti, volti comunque a fornire condizioni favorevoli alla vita di specie animali e vegetali.*

Le finalità degli interventi di ingegneria naturalistica sono principalmente quattro:

- **tecnico-funzionali**, per esempio antierosive e/o di consolidamento di una scarpata in terra naturale o artificiale;
- **naturalistiche**, non di semplice copertura a verde, ma di ricostruzione o innesco di ecosistemi;
- **paesaggistiche**, di "ricucitura" al paesaggio naturale circostante;
- **economiche**, in quanto strutture competitive e, talvolta, alternative ad opere tradizionali (ad esempio muri di sottoscarpa sostituiti da terre rinforzate verdi).

L'ingegneria naturalistica è una disciplina trasversale che oltre ad avere lo scopo della ricostruzione di ecosistemi preesistenti e favorire l'aumento della biodiversità, affronta i problemi progettuali con una visione sistemica che, pur avendo le sue radici nelle classiche sistemazioni idraulico-forestali, ha sviluppato uno spazio scientifico-culturale autonomo che privilegia l'attenzione al particolare del piccolo intervento, piuttosto che alla grande opera.

I principali settori di analisi finalizzate alla progettazione di opere con tecniche di ingegneria naturalistica sono:

- geomorfologia;
- geotecnica;
- idraulica;
- flora, vegetazione e biotecnica delle specie vegetali.

Un progetto realizzato con le tecniche di ingegneria naturalistica, si propone quindi come progetto multidisciplinare, in cui l'ingegnere, il geologo e l'esperto di ingegneria naturalistica lavorano in comune accordo per individuare gli interventi idonei per le sistemazioni antierosive e di consolidamento, fermo restando l'obiettivo dell'aumento della biodiversità del territorio e del miglioramento della rete ecologica esistente.

Va sottolineato inoltre che, mentre un intervento realizzato con i metodi tradizionali dell'ingegneria civile viene concepito per durare un definito numero di anni, in quanto comunque sottoposto al degrado meccanico naturale da parte degli agenti esogeni, un intervento realizzato con le tecniche dell'ingegneria naturalistica, proprio in quanto utilizza "materiale vivo" non inerte, se ben progettato, ben eseguito e ben mantenuto, migliora nel tempo la propria efficacia, in quanto le radici crescendo hanno la capacità di consolidare il suolo migliorandone le caratteristiche meccaniche, mentre la parte aerea, sviluppandosi, lo protegge dall'erosione, dall'infiltrazione delle acque e, nel contempo contribuisce all'inserimento paesaggistico dell'opera stessa.

L'ingegneria naturalistica è nata in tempi remoti e si è sviluppata particolarmente nell'immediato dopoguerra nei paesi dell'arco alpino (Austria e Svizzera).

Le esperienze italiane, dapprima concentrate nelle regioni settentrionali (Alto-Adige, Trentino, Veneto, Friuli, Piemonte, Lombardia, Liguria) si sono poi estese con successo a quelle centro-meridionali.

L'interesse per l'ingegneria naturalistica e per le relative tecniche di intervento, è manifestato ed esplicito anche attraverso i manuali tecnici realizzati dalle regioni Emilia Romagna, Veneto, Piemonte, Lombardia, Liguria, mentre altri enti regionali, come la Regione Lazio, che ha appena completato (febbraio 2002) un manuale sulle sistemazioni idrauliche con tecniche di ingegneria naturalistica, si stanno sempre più avvicinando a queste tematiche.

Oltre alle varie iniziative regionali, va sottolineato che anche il Ministero dell'Ambiente, già a partire dagli inizi degli anni '90, ha posto la propria attenzione all'utilizzo di tecniche di ingegneria naturalistica per la realizzazione di opere nuove o interventi di ripristino ambientale. Tale attenzione si è concretizzata attraverso la pubblicazione di testi e nella strutturazione di organismi per il controllo degli interventi.



Fig. 3 - Realizzazione di boschetti per l'aumento della biodiversità nei rilevati ferroviari della direttissima Roma-Firenze. Maggio 2001, a 11 anni dalla piantagione, località Rigutino (AR)

IL MATERIALE DA COSTRUZIONE VIVO

In un progetto di ingegneria naturalistica la capacità antierosiva e di consolidamento viene affidata, in ultima analisi, alle piante vive che possono essere impiegate in varie forme quali semi, piante radicate, zolle, rizomi e talee.

Nella scelta delle specie da utilizzare, tra quelle autoctone appartenenti alla serie della vegetazione potenziale regionale, coerenti dal punto di vista ecologico con l'ambiente circostante, in generale vanno individuate quelle che presentano le migliori caratteristiche biotecniche, cioè con un apparato radicale profondo ed esteso, che crescono più velocemente e garantiscono nel tempo la protezione ed il consolidamento del suolo.

Le specie legnose (le sole idonee per gli interventi di stabilizzazione o consolidamento) più adatte a operare in situazioni con caratteristiche ecologiche difficili, sono gli arbusti pionieri autoctoni che possiedono apparati radicali estesi e ramificati tali da consolidare fino ad uno spessore medio di circa 1,5-2 metri di substrato. Comunque va ricordato che all'azione puntuale o lineare di consolidamento, realizzata attraverso la specie legnosa, va sempre abbinata un'azione di protezione antierosiva areale del pendio tramite l'inerbimento.

Le maggiori esperienze di utilizzo delle tecniche di ingegneria naturalistica sono state fatte nelle regioni dell'arco alpino caratterizzate da un clima più mesofilo (più fresco, più umido e con estati senza grossi stress idrici) di quello mediterraneo e quindi in situazioni ecologiche più favorevoli all'attecchimento delle piante.

Fra le problematiche legate all'utilizzo delle piante vive in ambito mediterraneo, possiamo ricordare:

- la presenza di un periodo arido estivo con stress idrico, che ha determinato nelle piante mediterranee una serie di adattamenti biologici (sclerofillia, tomentosità, spinosità, etc.);
- la presenza di una stagione di riposo vegetativo più corta di quella delle regioni alpine, con conseguente periodo più breve per l'utilizzo di specie con capacità di riproduzione vegetativa, quali, ad esempio, i salici o le tamerici, le cui talee si raccolgono tipicamente in tale stagione;
- la difficile reperibilità delle talee e del materiale vivaistico autoctono, sia dal punto di vista qualitativo che quantitativo.

Da tali problematiche ne deriva la necessità di maggiori accorgimenti nella scelta delle specie vegetali per gli interventi di ingegneria naturalistica, che comunque possono essere superate attraverso una attenta analisi floristica e vegetazionale in quanto le specie autoctone di comune impiego e maggiormente reperibili nei vivai non sempre garantiscono l'attecchimento nelle condizioni ecologiche difficili dell'ambiente mediterraneo.

L'utilizzo massiccio dei salici, anche se generalmente compatibile con l'ambiente umido mediterraneo (come zone di montagna o di pianure con presenza di sorgenti e rete idrico-fluviale) deve essere ben valutato nelle altre situazioni ambientali ove spesso tali specie non sono proponibili per coerenza floristica e, soprattutto, per limiti ecologici e climatici.

Emerge quindi la necessità della disponibilità di specie



Fig. 4 - Barriera visiva vegetale tra la DD Roma-Firenze e tratto autostradale. Maggio 1995, a 4 anni dalla piantagione, zona del Valdarno

mediterranee erbacee, arbustive ed arboree resistenti all'aridità, che non sempre il mercato vivaistico pubblico o privato è in grado di soddisfare.

Tale esigenza vale ancor più per le aree protette ove va garantita, per il pericolo dell'inquinamento genetico, la provenienza delle specie impiegate tramite la raccolta delle specie dalla vegetazione spontanea in sito e la riproduzione delle specie in idonei vivai distribuiti sul territorio per fasce altitudinali.

Un sistema per disporre dei grandi quantitativi di piante necessari per gli interventi di ripristino ed inserimento ambientale delle opere ferroviarie, può essere quello di richiedere al mercato vivaistico le specie autoctone non al momento dell'impiego, ma in una fase precedente dando il tempo (2 anni almeno) per la riproduzione delle specie autoctone con le caratteristiche richieste.

L'osservazione del comportamento in natura di alcuni arbusti radicati che, alla messa a dimora suborizzontale e conseguente interrimento, hanno reagito con lo sviluppo di una radicazione estesa a tutto fusto, ha permesso il progredire di un filone di ricerca sull'utilizzo delle piante radicate mediterranee sfruttando tale capacità naturale per gli interventi di ingegneria naturalistica.

POTENZIALITÀ DELL'IMPIEGO DELLE TECNICHE DI INGEGNERIA NATURALISTICA PER INTERVENTI IN AMBITO FERROVIARIO

In ambito ferroviario gli interventi di ingegneria naturalistica contribuiscono al controllo del dissesto idrogeologico, al consolidamento dei versanti, alle sistemazioni idrauliche, al recupero delle aree degradate, alle opere di minimazione dell'impatto ambientale e di rinaturazione in genere (ved. fig. 2). In particolare le tecniche di intervento possono riguardare:

- sistemazioni di versante (tecniche antierosive, stabilizzanti e consolidanti);
- sistemazioni idrauliche;
- mitigazione di impatto ambientale delle infrastrutture lineari con tecniche di rivegetazione delle scarpate, dei rilevati, delle aree residuali, etc.;
- mitigazione dell'inquinamento acustico (realizzazione di fasce vegetate o barriere antirumore verdi);
- rivegetazione di versanti rocciosi (cave, scarpate ferroviarie, imbocchi di gallerie, etc.) e delle ex discariche;
- realizzazione di opere di mitigazione per la fauna (sovrappassi e sottopassi, zone di tutela, etc.).

TIPOLOGIE DI OPERE DI INGEGNERIA NATURALISTICA

Il Servizio Valutazione impatto Ambientale del Ministero dell'Ambiente ha pubblicato nel 1997 le "Linee guida per capitolati speciali per interventi di ingegneria naturalistica e lavori di opere a verde" riguardante le opere antierosive e di rinaturazione. Il documento prende in considerazione essenzialmente tre tipologie di intervento:

A) Interventi antierosivi di rivestimento

Consistono essenzialmente nella protezione superficiale del suolo dall'azione erosiva degli agenti atmosferici in abbinamento all'azione della gravità, con particolare riferimento alle acque dilavanti e di corrivazione.

Su una scarpata in pendenza o su terreni erodibili è da sempre riconosciuta l'azione antierosiva delle specie erbacee che, pur non scendendo molto in profondità con il proprio apparato radicale, realizzano tuttavia le condizioni per lo smorzamento dell'energia cinetica dell'acqua, per l'abbattimento delle infil-

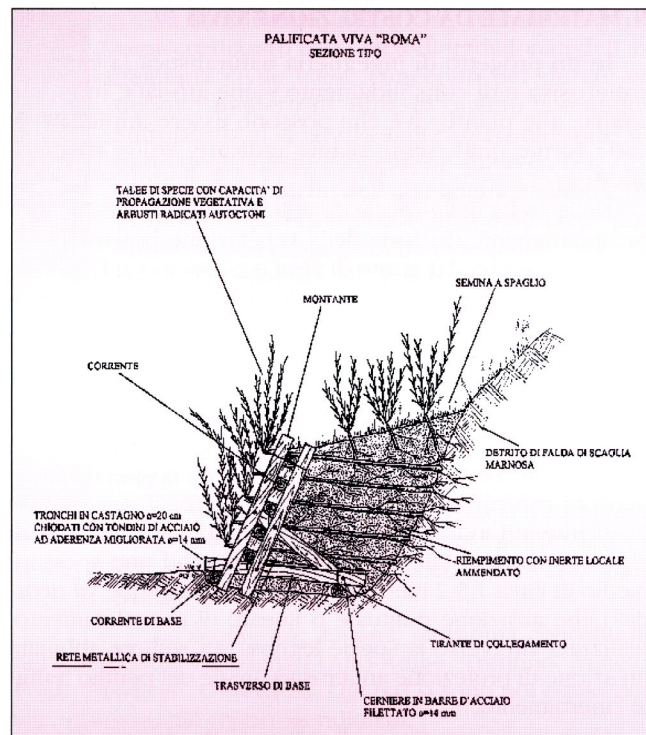
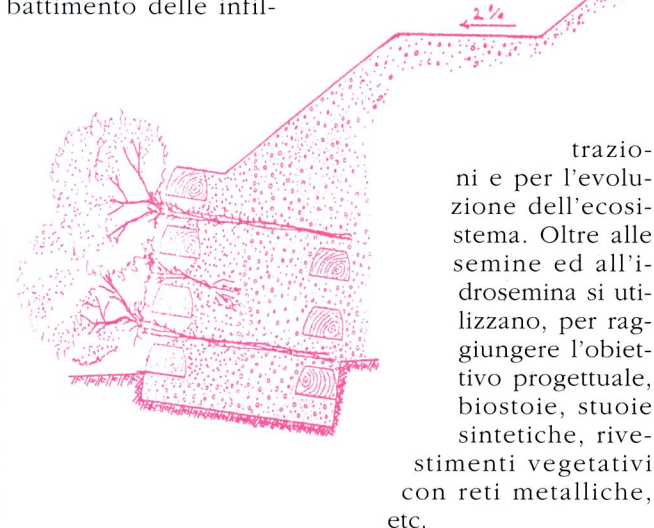


Fig. 5 - Palificata viva "Roma" con legname, terra e piante per realizzare un "muro vivo" che nel tempo migliorerà le caratteristiche di resistenza

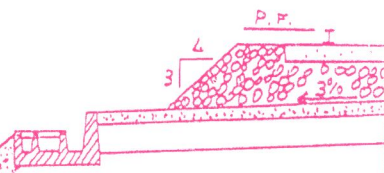


Fig. 6 - Impiego di traverse ferroviarie in legno per palificate vive di sostegno

B) Interventi stabilizzanti

Le tecniche stabilizzanti trovano applicazione, spesso in abbinamento con quelle antierosive, nei casi in cui è richiesto un ancoraggio degli strati superficiali del terreno al substrato stabile.

Le piante impiegate devono avere quindi apparati radicali più profondi ed estesi delle specie erbacee che possono interessare uno strato di terreno di 1,5-2 m. di profondità.

In questi casi si prevede l'impiego di fascinate, cordonate, gradonate verdi, etc. che utilizzano molto le talee delle specie a riproduzione vegetativa come le tamerici o i salici, ma anche le piante radicate pioniere con le necessarie caratteristiche biotecniche.

C) Interventi combinati di consolidamento

Costituiscono in molti casi un'alternativa alle opere di sostegno tradizionali ed impiegano, oltre alle piante, materiali naturali non viventi che devono assicurare la resistenza meccanica della struttura in attesa della crescita degli apparati radicali delle specie legnose. Si va dall'uso dei tronchi in legno, come nel caso della palificata viva (ved. figg. 5 e 6), alle terre rinforzate con geosintetici, alle armature metalliche ed ai massi in roccia con impianto di talee nelle fessure, come spesso si usa per la difesa spondale dei corsi d'acqua montani.

Tab. 1 - Interventi di ingegneria naturalistica utilizzabili nelle sistemazioni idrauliche e di versante lungo le linee ferroviarie (Estratto dalle Linee guida del Ministero dell'Ambiente, 1997)

A - INTERVENTI IN AMBITO IDRAULICO	B - INTERVENTI IN AMBITO TERRESTRE
1. SEMINE, IDROSEMINI, SEMINE A SPESSORE 2. BIOSTUOIE, BIOFELTRI 3. GEOSTUOIE TRIDIMENSIONALI SINTETICHE 4. GEOCOMPOSITO IN RETE METALLICA E GEOSTUOIA TRIDIMENSIONALE 5. MESSA A DIMORA DI TALEE LEGNOSE 6. PIANTAGIONE DI ARBUSTI 7. TRAPIANTO DI CESPI E RIZOMI 8. COPERTURA DIFFUSA CON RAMAGLIA VIVA 9. VIMINATA VIVA SPONDALE 10. FASCINATA VIVA SPONDALE 11. GRADONATA VIVA 12. RIBALTA VIVA (FASCINATE + GRADONATE) SPONDALE 13. GRATA VIVA SPONDALE 14. PALIFICATA VIVA SPONDALE 15. PENNELLO VIVO 16. TRAVERSA VIVA 17. RULLI SPONDALI IN RETI SINTETICHE, METALLICHE, IN COCCO 18. GABBIONATA SPONDALE RINVERDITA 19. MATERASSO RINVERDITO 20. TERRE RINFORZATE VERDI IN GEOTESSILI, RETI METALLICHE, ECC. 21. MURO A SECCO RINVERDITO 22. MURO CELLULARE RINVERDITO SPONDALE 23. RAMPA A BLOCCHI 24. BLOCCHI INCATENATI 25. SCOGLIERA RINVERDITA 26. BRIGLIA VIVA IN LEGNAME E PIETrame	27. SEMINE, SEMINE POTENZIATE 28. BIOSTUOIE, BIOFELTRI 29. GEOSTUOIE TRIDIMENSIONALI SINTETICHE 30. STUOIE SU VERSANTE 31. GEOCELLE A NIDO D'APE 32. RIVESTIMENTI IN RETE METALLICA E STUOIE 33. MESSA A DIMORA DI TALEE 34. MESSA A DIMORA DI ARBUSTI 35. VIMINATA 36. FASCINATA 37. GRADONATA 38. CORDONATA 39. PALIZZATA 40. CUNEO FILTRANTE 41. GRATA VIVA SU SCARPATA 42. PALIFICATA VIVA DI VERSANTE 43. GABBIONATA DI VERSANTE 44. MATERASSO VERDE DI VERSANTE 45. TERRE RINFORZATE VERDI IN GEOTESSILI, RETI METALLICHE, ECC. 46. MURO CELLULARE RINVERDITO DI VERSANTE 47. BARRIERA VEGETATIVA ANTIRUMORE IN TERRAPIENO COMPRESSO

LE ESPERIENZE IN AMBITO FERROVIARIO

Per quanto noto, le più antiche esperienze di sistemazioni e stabilizzazioni di versanti con tecniche che hanno visto l'impiego di materiali naturali, risalgono probabilmente allo scorso secolo con sistemazioni antierosive sulle scarpate argillose della linea lenta Roma-Firenze, presso Orvieto, con reti e stuoie inerbite. Più recentemente, alla fine degli anni '80 e inizio anni '90 vanno ricordate le esperienze dell'Istituto Sperimentale sulle sistemazioni antierosive delle scarpate della DD Roma-Firenze, tratto Arezzo-Figline Valdarno (ved. figg. 3, 4 e 5), e sulla rinaturazione di biotopi mediterranei a seguito di lavori ferroviari sulla Roma-Pisa, in località Macchia Grande nelle vicinanze di Roma, nonché le ricerche condotte sull'inerbimento delle scarpate ferroviarie, che hanno portato alla formulazione delle attuali voci di tariffa adottate da RFI.

Di notevole interesse è stata poi la sistemazione della frana sulla linea Savona-Torino, presso Cadibona. Tale intervento, che risale al 1994, è stato realizzato esclusivamente con personale FS che è stato introdotto alle tecniche di ingegneria naturalistica attraverso un apposito corso tecnico-pratico di formazione. Il lavoro, che ha consentito il conso-



Fig. 7 - Stabilizzazione delle scarpate della DD Roma-Firenze con rivestimenti vegetativi (paglia, reti zincate, idrosemina e messa a dimora di talee) presso l'interconnessione di Arezzo Nord. Maggio 2001, a 11 anni dalla realizzazione



Fig. 8 - Sistemazione della frana sulla scarpata ferroviaria della linea Savona-Torino, località Cadibona (SV). Novembre 1994



Fig. 9 - Grata viva a 6 mesi dalla realizzazione

lidamento della parte corticale instabile di una scarpata prospiciente la linea ferroviaria, è consistito nella realizzazione di grate vive, cordonate, fascinate vive drenanti, palizzate vive, protezioni antierosive con stuoie ed inerbimento (ved. figg. 8 e 9).

Tra le esperienze di maggiore importanza degli ultimi anni si possono senza dubbio citare quelle relative alla

realizzazione delle opere di riqualificazione ambientale sul tracciato della nuova linea ferroviaria Pontebbana, tali opere rappresentano il maggiore investimento mai realizzato in Italia con interventi di ingegneria naturalistica (ved. tabb. 2 e 3, da Marchiol, 2001) con un importo complessivo dei lavori, pari a circa 20 miliardi di lire (ved. figg. 10 e 11).

Tab. 2 - Tecniche di ingegneria naturalistica impiegate negli interventi di cui alla tabella 1

INTERVENTO														
	Copertura con terreno vegetale spessore 0,20 m	Idrosemina	Messa a dimora di arbusti	Messa a dimora di alberi	Viminata vive seminterate	Cordonate vive	Gradonate vive	Gabbionate verti con messa a dimora di talee	Scogliera	Messa a dimora di talee di salice su scogliera	Rivestimento vegetativo in rete zincata e biostuoia in cocco e paglia preseminata con talee e arbusti	Palificata viva a doppia parete (profondità 2 m)	Armatura con fune per massi di scogliera	Briglie in legname e pietrame
1	x	x	x	x	x			x	x	x	x			
2	x	x	x	x	x		x		x	x	x	x		
3	x	x	x	x	x									x
4	x	x	x	x	x		x		x	x		x	x	
5	x	x	x	x		x			x	x			x	
6	x	x	x	x			x		x	x	x	x	x	
7	x	x	x	x							x	x		x
8	x	x	x	x	x			x	x	x			x	x
9	x	x	x	x	x				x	x			x	
10	x	x	x	x	x	x			x	x	x			
11	x	x	x	x	x	x			x	x	x	x	x	
12	x	x	x	x		x						x		x
13	x	x	x	x									x	x
14	x	x	x	x		x	x					x		

Tab. 3 - Costi medi delle principali lavorazioni di ingegneria naturalistica utilizzate

Descrizione	Unità di misura	Costo unitario (euro)
Copertura con terreno vegetale spessore 0,20 m	m ²	5,20
Idrosemina	m ²	1,05
Messa a dimora di arbusti	n.	8,30
Messa a dimora di alberi	n.	13,40
Viminate vive seminterrate	m	16,60
Cordonate vive	m	29,40
Gradonate vive	m	20,10
Gabbionate verdi con messa a dimora di talee	m ³	108,00
Scogliera	m ³	60,00
Messa a dimora di talee di salice su scogliera	n.	2,10
Rivestimento vegetativo in rete zincata e biostuoia in cocco e paglia preseminata con talee e arbusti	m ²	52,00
Palificata viva a doppia parete (profondità 2 m)	m ²	127,00
Armatura con fune per massi di scogliera	m	40,00
Briglie in legname e pietrame	m ³	217,00
Terre rinforzate con talee di salice	m ²	191,00
Grata viva su scarpata	m ²	80,00
Battuto di fondo in pietrame per convogliamento acque meteoriche incluso sottofondo in magrone e rete elettrosaldata	m ²	74,00
Palificata viva spondale a parete doppia con massi legati al piede	m ²	141,00
Copertura diffusa con salici	m	140,00
Canaletta in georete bitumata e inerbita	m	36,00
Traversa viva di ramaglia a strati	m	165,00
Materassi verdi	m ²	40,00
Rampa a blocchi	m ²	65,00

CONCLUSIONI

Si può oggi affermare che l'ingegneria naturalistica ha ormai superato anche in Italia la fase pionieristica accreditandosi presso le pubbliche amministrazioni ed i professionisti come uno strumento fondamentale per la salvaguardia del territorio e la riqualificazione dell'ambiente.

Le esperienze ad oggi maturate, le applicazioni eseguite in situazioni diversificate di ripristino o adeguamento di nuove opere, hanno messo in luce la grande potenzialità degli interventi eseguiti con le tecniche di ingegneria naturalistica sia per la difesa del suolo (scarpate artificiali e naturali, aree a forte acclività e potenzialmente instabili o soggette ad erosione accelerata, ecc.), sia per la protezione spondale di corsi d'acqua, sia per la minimizzazione dell'impatto ambientale di nuove opere o di quelle esistenti.

Rimangono aperte alcune problematiche quali la trasposizione in realtà mediterranee di tecniche nate in ambiente alpino o montano, il reperimento di specie autoctone, nonché alcune difficoltà di interventi manutentivi sistematici da eseguire nel corso degli anni sulle opere realizzate.

In ambito ferroviario gli interventi di ingegneria naturalistica già realizzati hanno mostrato la loro validità ed importanza come per la nuova linea Pontebbana e, si ritiene, che per il futuro queste tecniche che legano l'efficacia dell'intervento all'inserimento delle opere infrastrutturali nel territorio, che consentono la minimizzazione dell'impatto ambientale, saranno certamente sempre più utilizzate.



Fig. 10 - Palificate vive spondali per la sistemazione di corsi d'acqua lungo la nuova linea Pontebbana (Udine-Tarvisio).
Giugno 2001



Fig. 11 - Briglie filtranti e briglie in legname e pietrame per la sistemazione dei versanti lungo la nuova linea Pontebbana (Udine-Tarvisio).
Giugno 2001

BIBLIOGRAFIA

- AA:VV. 1990 - Tecniche di bioingegneria naturalistica negli interventi di recupero ambientale. Acer n. 6.
- Atti conv. EFIB AIPIN "Interventi di rivegetazione e ingegneria naturalistica per infrastrutture Lineari - Tarvisio 14-16 giugno 2001.
- Boccalaro, Cornellini, Palmeri, Piroli, Sauli, 1996 - L'ingegneria naturalistica ovvero come difendere il suolo e recuperare l'ambiente con l'uso delle piante. Ingegneria ferroviaria n. 3.
- Bocchini V., Cornellini P., 1992 - Metodologie di V.I.A. relative a infrastrutture lineari. Atti Convegno Internazionale "Valutazione di impatto ambientale - Situazione e prospettive in Europa" Genova 16-18 maggio: 185-194. Patron, Bologna.
- Caldini S., Cornellini P., Smedile M., 1991 - Alcuni progetti di inserimento ambientale lungo la linea DD Roma - Firenze. La Tecnica professionale n. 11/12.
- Cornellini P., 1987 - La fitosociologia nell'analisi del territorio. La Tecnica Professionale n. 10.
- Cornellini P., 1990 - Un esempio di ripristino della vegetazione a seguito di lavori ferroviari. La Tecnica Professionale n. 9.
- Cornellini P., 1990 - Evoluzione della vegetazione erbacea dei rilevati ferroviari. La Tecnica Professionale n. 10.
- Cornellini, P., 1992 - Problematiche ed esempi concreti relativi all'uso delle specie autoctone negli interventi di ripristino in ambito ferroviario. Verde Ambiente suppl. n. 6.
- Cornellini P., 1994 - Valore e potenzialità naturalistiche delle scarpate ferroviarie. Ingegneria Ferroviaria n. 3.
- Cornellini P., Smedile M., Pistocchi W., 1993 - Sistemazione ambientale di aree ferroviarie. La tecnica professionale n. 12: 51-53.

- Cornellini P., Zoccoli G., 1995 - Interventi di ingegneria naturalistica nei lavori ferroviaria in: "Tecniche di rinaturazione e di ingegneria naturalistica" a cura di Sauli e Siben Patron, Bologna: 227-236.
- Marchiol G., 2001 - Le opere di riqualificazione ambientale sul tracciato della nuova ferrovia Pontebbana.
- Ministero dell'Ambiente. Servizio VIA Commissione VIA, 1997 - Linee guide per capitolati speciali per interventi di ingegneria naturalistica e lavori di opere a verde.
- Regione Emilia Romagna e Regione Veneto, 1993 - Manuale tecnico di ingegneria naturalistica.
- Regione Liguria, 1997 - Opere e tecniche di ingegneria naturalistica e recupero ambientale.
- Regione Lazio, 2002 - Manuale tecnico di ingegneria naturalistica per le sistemazioni idrauliche.
- Sauli G., Siben (a cura di) 1992 - Tecniche di rinaturazione e di ingegneria naturalistica: esperienze europee Patron Edit, (BO).
- Schiechl H.M. Rist. 1992 - Bioingegneria forestale - Biotecnica naturalistica Ed. Castaldi. Feltre (BL).
- Schiechl H.M., Stern R. 1992 - Ingegneria naturalistica - Manuale delle opere in terra. Ed. Castaldi. Feltre (BL).
- Schiechl H.M., Stern R. 1996 - Ingegneria naturalistica - Manuale delle costruzioni idrauliche. Ed. Arca Gradolo (TN).
- Zeh H. et al. 1988 - Opere Di ingegneria naturalistica sulle sponde: tecniche costruttive ed esempi nel cantone di Berna (Trad. 1993). Ministero dell'Ambiente. Servizio VIA.
- Zeh H. 1996 - Tecniche di ingegneria naturalistica. Ed. Il Verde Editoriale, Milano.

Le fotografie e i disegni pubblicati nel presente articolo sono state messe a disposizione dall'ing. Paolo Cornellini.