



ASSOCIAZIONE
ITALIANA
PER LA
INGEGNERIA
NATURALISTICA



E
F
I
B

INGEGNERIA NATURALISTICA in ambito FERROVIARIO

4 luglio 2008 - APAT Roma

Esperienze nella manutenzione della
linea lenta SV-TO e nella realizzazione
della linea veloce RM-NA

Federico Boccalaro ingegnere ambientale
AIPIN socio esperto difesa suolo

Ingegneria Naturalistica in Ferrovia

Che cos'è l'Ingegneria Naturalistica

La lunghezza della rete viaria ammonta in Italia a circa 930.000 km, di cui 19.815 km è ferroviaria (Conto Nazionale Trasporti 2005) e 175.430 km è stradale non comunale, con una **occupazione di superficie** (10 m lineare) per l'infrastruttura di circa il 3% (9.038 kmq) del territorio nazionale (301.277 kmq).

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 dannosi per l'ambiente, nonché negli interventi di **manutenzione** lungo le linee.

Ingegneria Naturalistica in Ferrovia

Che cos'è l'Ingegneria Naturalistica

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;
- stabilizzazione di rilevati e trincee;
- 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.

Ingegneria Naturalistica in Ferrovia

Che cos'è l'Ingegneria Naturalistica

Uno dei primi interventi di Ingegneria Naturalistica 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 hanno frequentato un corso teorico-pratico di Ingegneria Naturalistica, per apprendere tecniche quali la grata viva, la fascinata viva, la cordonata viva, lo steccato vivo, il rivestimento vegetativo in rete e biofiltro preseminato (Boccalaro e al., 1994).

Ingegneria Naturalistica sulla linea lenta SV-TO

L'occasione

Il 22 Settembre 1992 piogge intense e durature si sono riversate nel territorio della provincia di Savona, a ridosso della linea spartiacque compresa tra il Colle di Cadibona e il Passo dei Giovi, provocando **frane diffuse** di terreni superficiali (prevalenti *soil slip*, con concentrazioni areali dei fenomeni sino a 46 per km²) e la fuoruscita dagli alvei di vari corsi d'acqua (vedi **figura**).

Nell'alto bacino del Lavanestro si sono avute interruzioni lungo la linea ferroviaria Savona-Torino (via Altare) a causa di numerose frane.

In particolare uno **smottamento** si è verificato a monte della ferrovia tra le progressive chilometriche 13+575 - 13+650, presso la vecchia stazione di **Cadibona** (293 s.l.m.). E' qui che si è deciso di intervenire con il duplice scopo di risanare una situazione instabile e di organizzare un cantiere didattico.

Figura - Carta di raffronto tra la distribuzione areale della densità di dissesto, intesa come numero di frane per km² (n), secondo i vari simboli, e l'andamento delle isoiete relative all'evento del 22 settembre (da CNR, 1993)

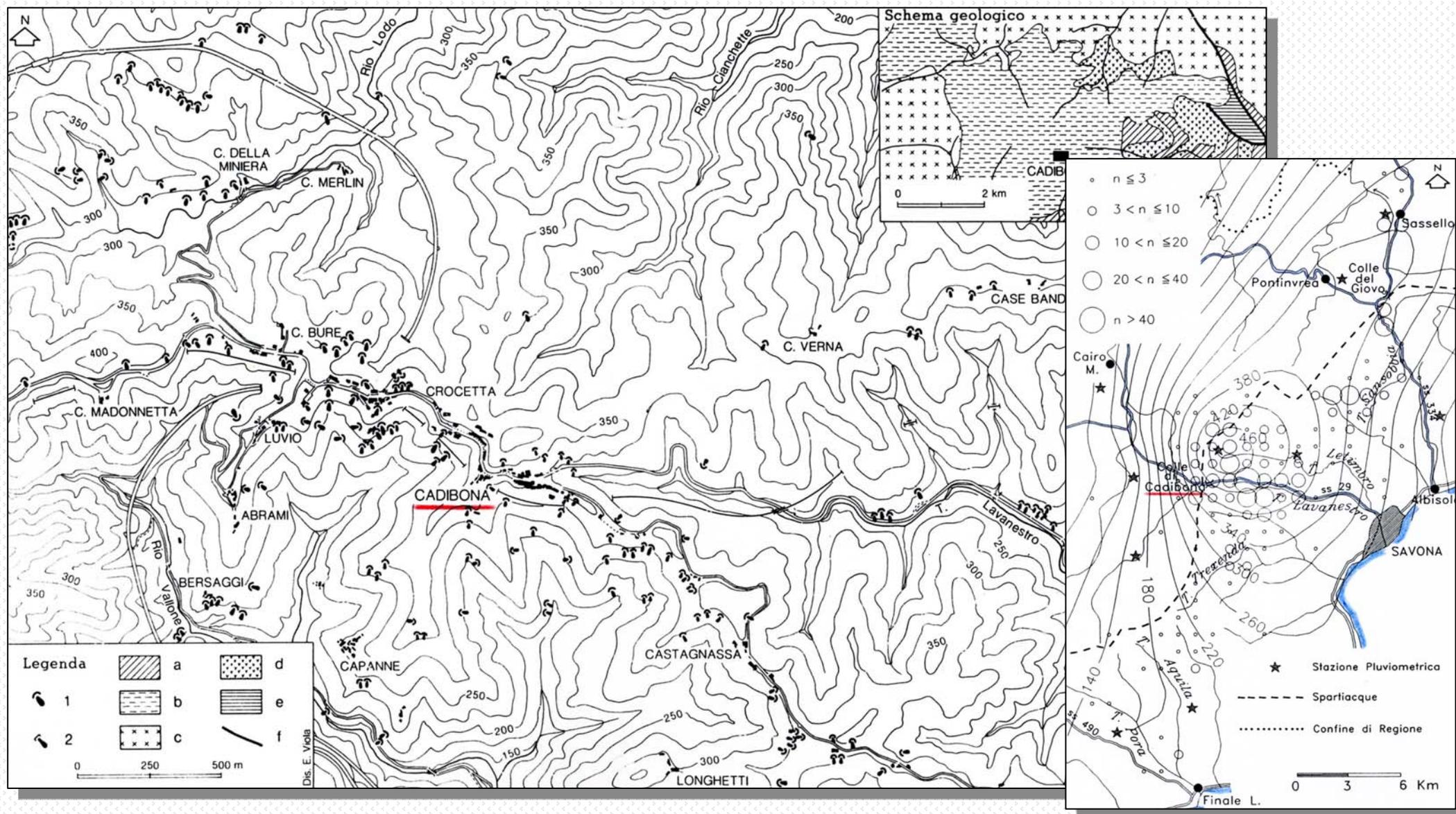


Figura - *Scivolamento di una casa rurale nel bacino del Lavanestro presso il Colle di Cadibona (da Boccalaro, 1994)*



Ingegneria Naturalistica sulla linea lenta SV-TO

Aspetti geologici e geomorfologici

Il versante destro del rio Lavanestro in prossimità di Cadibona è costituito da una coltre detritica di natura argilloso-sabbiosa, di spessore variabile tra 2 e 5 m. Il substrato è costituito da un **conglomerato poligenico** cementato, con scheletro grossolano e cemento calcareo o argilloso.

La frana è di tipo **superficiale di colata**, indotta da un'elevata fluidificazione dei suoli ad opera delle acque selvagge (*soil slip*). Il dissesto ha interessato una superficie di circa 1100 m² ed uno spessore inferiore al metro, ed ha mobilizzato un volume di terreno di qualche centinaio di metri cubi.

La superficie di scivolamento in corrispondenza della nicchia di distacco presenta un'**inclinazione** compresa tra i 30° e i 45°, di poco superiore a quella del pendio originario. Il ciglio della frana è a una quota di circa 14 m dal piano del ferro.

Figura - *Visione d'insieme della frana* (da F. Boccalaro, 1994)



Ingegneria Naturalistica sulla linea lenta SV-TO

Aspetti climatologici e stazionali

L'area giace su un pendio esposto a Nord in un **clima mediterraneo**, con insolazione limitata ai periodi estivi, altitudine di 293 m s.l.m., con precipitazioni medie annue di 1341 mm e con le maggiori precipitazioni nei mesi autunnali. Venti prevalenti da NE con velocità media annua di 3,8 m/s. Temperatura media annua di 15,2 °C. Umidità relativa media annua del 69 %. Giorni con pioggia all'anno 120, precipitazioni spesso intense ma di breve durata. Giorni con neve all'anno 4, numero di ore di sole annue 2218 (dati climatici relativi alla stazione di Savona).

Le condizioni climatiche sono favorevoli (indice di stima = 2).

Il suolo da consolidare ha un'elevata componente argilloso-sabbiosa, poco permeabile, con venute d'acqua localizzate.

Le condizioni del terreno sono cattive (indice di stima = 4).

L'area ha una pendenza media di 40 gradi. Substrato inclinato a franapoggio, con percolazioni d'acqua.

Ingegneria Naturalistica sulla linea lenta SV-TO

Aspetti climatologici e stazionali

Il **pericolo di erosione** è elevato (indice di stima = 4.)

Il numero **indice** per la valutazione della stazione è quindi: 2.4.4 = favorevole/cattivo/elevato.

Ingegneria Naturalistica sulla linea lenta SV-TO

Aspetti organizzativi

Il corso di Ingegneria Naturalistica è stato organizzato e diretto dall'ing. **Boccalaro** e finanziato dal Servizio Produzione di Genova e dall'Ufficio Produzione di Savona. Hanno collaborato l'ing. **Cornellini** ed altri professionisti quali **Sauli, Palmeri, Piroli, Grifoglio** (soci **AIPIN**), nei ruoli di docente, di direttore e di supervisore dei lavori, e i **Reparti Esercizio** di Savona e S. Giuseppe di Cairo (SV) nell'acquisto e lavorazione dei materiali, nella fornitura di mezzi, attrezzature e macchinari.

Il corso è stato articolato in **lezioni** teoriche, che si sono tenute a Savona dal 2 al 4 Novembre '94, e in un **cantiere didattico** che si è svolto a Cadibona (SV) dal 21 Novembre al 2 Dicembre '94. Hanno partecipato una ventina di operai più alcuni capitecnici provenienti dai tronchi del territorio ligure e piemontese.

Ingegneria Naturalistica sulla linea lenta SV-TO

Aspetti organizzativi

Il programma del **corso teorico** ha contemplato argomenti come la botanica applicata (attitudine biotecnica delle piante), la geomorfologia applicata (azione degli eventi atmosferici, della gravità, delle acque correnti e marine) ed i metodi dell'Ingegneria Naturalistica (opere di modellamento, di regimazione idraulica, di sostegno, di rinverdimento). L'esposizione è stata integrata da lucidi, diapositive, audiovisivi e da un manuale tecnico elaborato e distribuito dalle Regioni Emilia Romagna e Veneto.

Il **corso pratico** ha comportato la realizzazione di alcuni interventi tipo di Ingegneria Naturalistica adattati alle caratteristiche del luogo e mirati a consolidare il pendio franoso sopra descritto; hanno operato due squadre, ciascuna composta mediamente da quattro operai.

Ingegneria Naturalistica sulla linea lenta SV-TO

Aspetti organizzativi

Ecco elencate le **tipologie di intervento**:

- grata semplice in legname con talee (sec. *Schiecht*);
- rivestimento in rete e biofeltro;
- steccato in legname con talee (sec. *Florineth*);
- fascinata viva (sec. *Kraebel*);
- cordonata viva (sec. *Praxl*);
- messa a dimora di specie arbustive e arboree;
- inerbimento con semina a spaglio.

I lavori sono stati preceduti da un **progetto esecutivo** a cura F.S.-A.I.P.I.N. costituito da rilievo topografico, disegni, computo metrico-estimativo, analisi di redditività (vedi **figure** e **tavole**) che ha facilitato la promozione, l'approvvigionamento dei materiali e la realizzazione dell'iniziativa nei modi e tempi previsti.

Ingegneria Naturalistica sulla linea lenta SV-TO

Aspetti organizzativi

Le 600 **piantine forestali** arbustive e arboree utilizzate sono state fornite gratuitamente dal vivaio forestale "Pian dei Corsi", loc. Melogno, Comune di Rialto, della Comunità Montana Pollupice di Finale Ligure (SV).

E' stata anche organizzata preventivamente, in collaborazione con la Provincia Autonoma di Bolzano, una **trasferta in Val Pusteria (BZ)** di due capitecnici ferroviari per osservare le modalità di esecuzione di alcuni interventi di Ingegneria Naturalistica in corso d'opera.

Figura - Corografia dell'intervento (da F. Boccalaro, 1994)

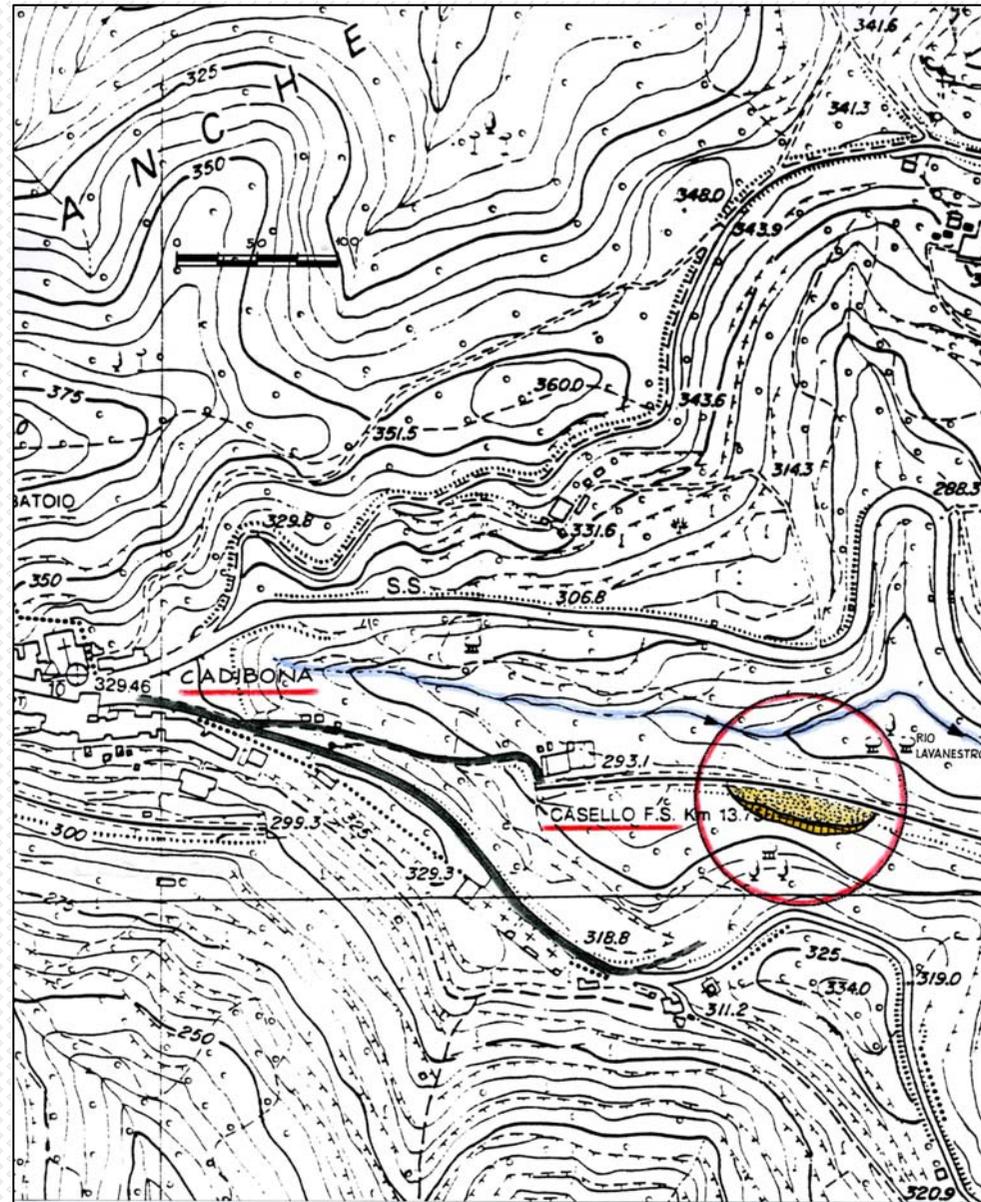


Figura - Pianta e sezioni dell'intervento (da F. Boccalaro, 1994)

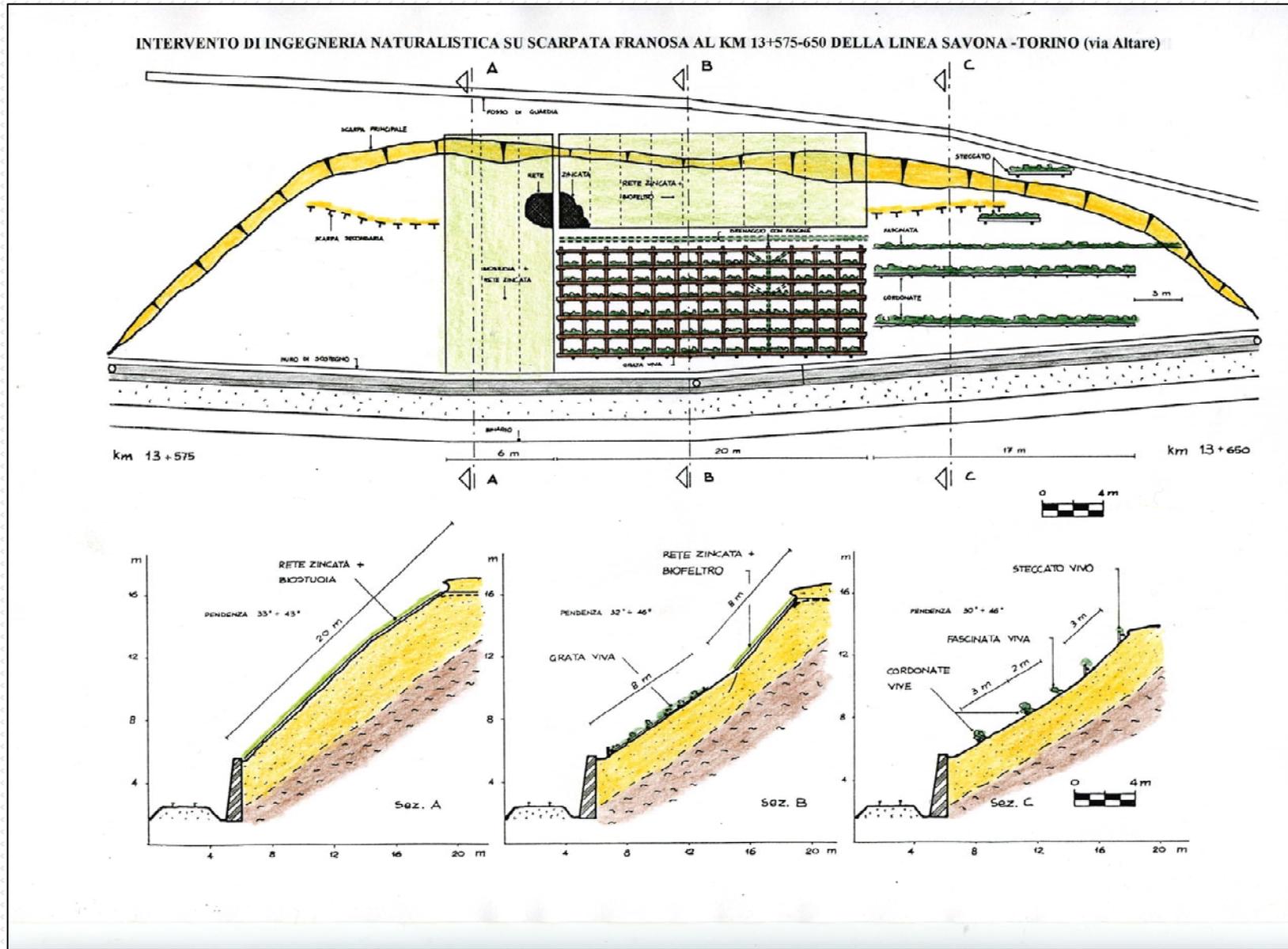


Figura - *Visione d'insieme dell'intervento* (da F. Boccalaro, 1994)



Figura - *Visione d'insieme dell'intervento* (da F. Boccalaro, 1995)



**Tavola - Specie arboree e arbustive previste nel progetto
esecutivo (da F. Boccalaro, 1994)**

Piantine forestali concesse per il cantiere di Cadibona (annata
silvana 1994-95)

Specie (scientifico)	Specie (comune)	Numero
<i>Fraxinus ornus</i>	Orniello	200
<i>Acer campestre</i>	Acero campestre	100
<i>Crataegus monogyna</i>	Biancospino	30
<i>Quercus petraea</i>	Rovere	100
<i>Acer pseudoplatanus</i>	Acero di Monte	50
<i>Cornus sanguinea</i>	Sanguinello	120
<i>Cytisus scoparius</i>	Ginestra dei carbonai	150

Ingegneria Naturalistica sulla linea lenta SV-TO

Aspetti tecnici

Si premette che il piede della scarpata è già sostenuto da un preesistente **muro di sostegno** in calcestruzzo e pietrame che garantisce la stabilità globale del pendio.

Analizziamo ora brevemente i diversi metodi impiegati.

Ingegneria Naturalistica sulla linea lenta SV-TO

Aspetti tecnici

La **grata in legname con talee** (vedi **figura**) viene utilizzata per la sistemazione di versanti ripidi che non possono essere modellati.

E' stata costruita con tondame in corteccia di castagno del diametro da 20 a 30 cm e di lunghezza variabile da 3 a 4 m.

Su tronchi appoggiati orizzontalmente e puntellati saldamente al terreno con spezzoni di rotaie sono stati fissati con grappe tronchi verticali, ancorandoli con picchetti e filo di acciaio zincato al versante. I tronchi verticali sono stati interrati ad una distanza di 1,5 m uno dall'altro.

Su questi sono stati fissati con chiodi in acciaio zincato tronchi orizzontali a formare delle **maglie** rettangolari di 1 m di lato e successivamente le maglie sono state consolidate con gradonate di talee di salice (raccolte lungo le sponde del fiume Bormida) e riempite con terreno di scoronamento.

Ingegneria Naturalistica sulla linea lenta SV-TO

Aspetti tecnici

A monte degli elementi orizzontali si sono messe a dimora **piantine** radicate in fitocella di specie arbustive e arboree (fornite gratuitamente dal vivaio del Corpo Forestale) per favorire una rapida colonizzazione e stabilizzazione del versante e si è infine inerbita a spaglio l'intera superficie con una miscela preconfezionata di sementi foraggere e si è concimata la stessa con materiale organico a base di alghe.

L'**estensione** dell'opera è di circa 160 mq; l'altezza dell'opera è di 8 m, inferiore alla massima consentita (10-20 m) per garantire la stabilità futura del versante.

Si tratta di un intervento **laborioso** e relativamente costoso da impiegare su superfici di estensione limitata, ma molto efficace nel contenere e **stabilizzare** il versante e di effetto immediato.

Figura - *Grata in legname con talee* (da F. Boccalaro, 1994)

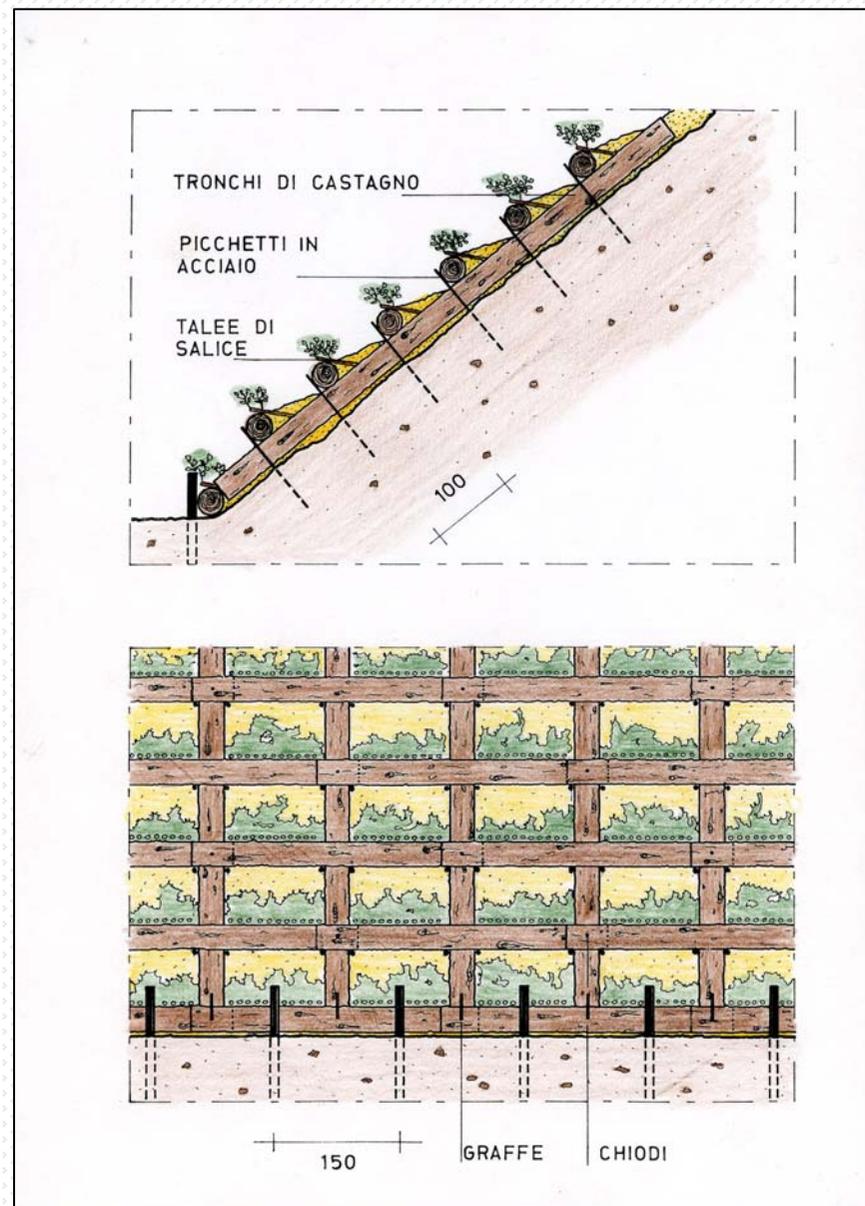


Figura - *Grata in legname con talee* (da F. Boccalaro, 1994)



Figura - *Grata in legname con talee* (da F. Boccalaro, 1994)



Figura - *Grata in legname con talee* (da F. Boccalaro, 1994)



Figura - *Grata in legname con talee* (da F. Boccalaro, 1995)



Figura - *Grata in legname con talee* (da F. Boccalaro, 2007)



Ingegneria Naturalistica sulla linea lenta SV-TO

Aspetti tecnici

Il **rivestimento vegetativo in rete e biofeltro** (vedi **figura**) si utilizza per rinverdire pendii che non consentono la colonizzazione della vegetazione per motivi quali eccessiva pendenza, aridità fisiografica, ristagno idrico, altitudine, assenza di substrato di germinazione, pascolamento eccessivo, ecc.

E' stato realizzato con **rete metallica** a doppia torsione di filo di acciaio zincato, con **biofeltro** in fibre miste preseminato e preconcimato e con **biostuoia** in trucioli di legno.

Sul terreno modellato e ripulito da pietrame e ramaglia si è scavato un solco di 20-30 cm a monte della superficie da proteggere e si è **seminato a spaglio** un miscuglio bilanciato di sementi foraggere con relativo concime.

Ingegneria Naturalistica sulla linea lenta SV-TO

Aspetti tecnici

Inserite nel solco la stuoia in fibre miste e la rete metallica zincata ripiegate in doppio strato e fissate al terreno con picchetti, tiranti e filo di acciaio zincato, si è stesa la stuoia e la rete lungo la massima pendenza con una leggera sovrapposizione laterale tra i diversi rotoli impiegati; stuoia e rete sono state fissate al terreno con **picchetti** ad "U" e filo di acciaio zincato disposti a distanza di 1 m lungo le sovrapposizioni laterali e trasversali, ed anche al centro in funzione della pendenza del terreno (1-3 chiodi ogni metro quadrato).

Si è poi proceduto all'infissione diffusa di robuste **talee** di salice, alla semina a spaglio ed alla concimazione. Infine, sono state tagliate in più punti le maglie della rete per poter mettere a dimora **piantine di specie arbustive ed arboree** in fitocella di altezza intorno ai 20 cm.

L'**estensione** complessiva dell'opera è di circa 280 mq, suddivisa in due strisce di pari superficie, ad andamento orizzontale e verticale.

Ingegneria Naturalistica sulla linea lenta SV-TO

Aspetti tecnici

Si tratta di un intervento più o meno costoso a seconda del materiale utilizzato, che garantisce l'instaurarsi di una vegetazione stabile ed una **protezione** alla erosione superficiale.

Figura - *Rivestimento vegetativo in rete e biofeltro* (da F. Boccalaro, 1994)

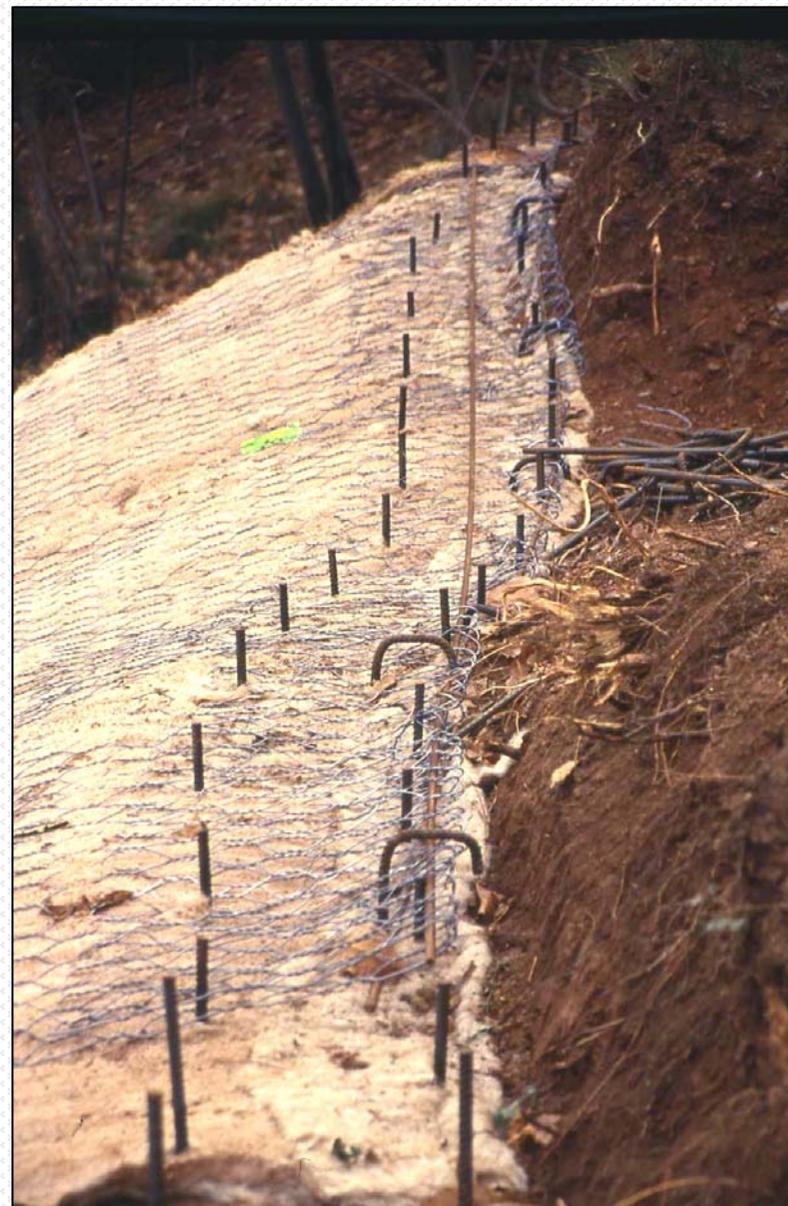
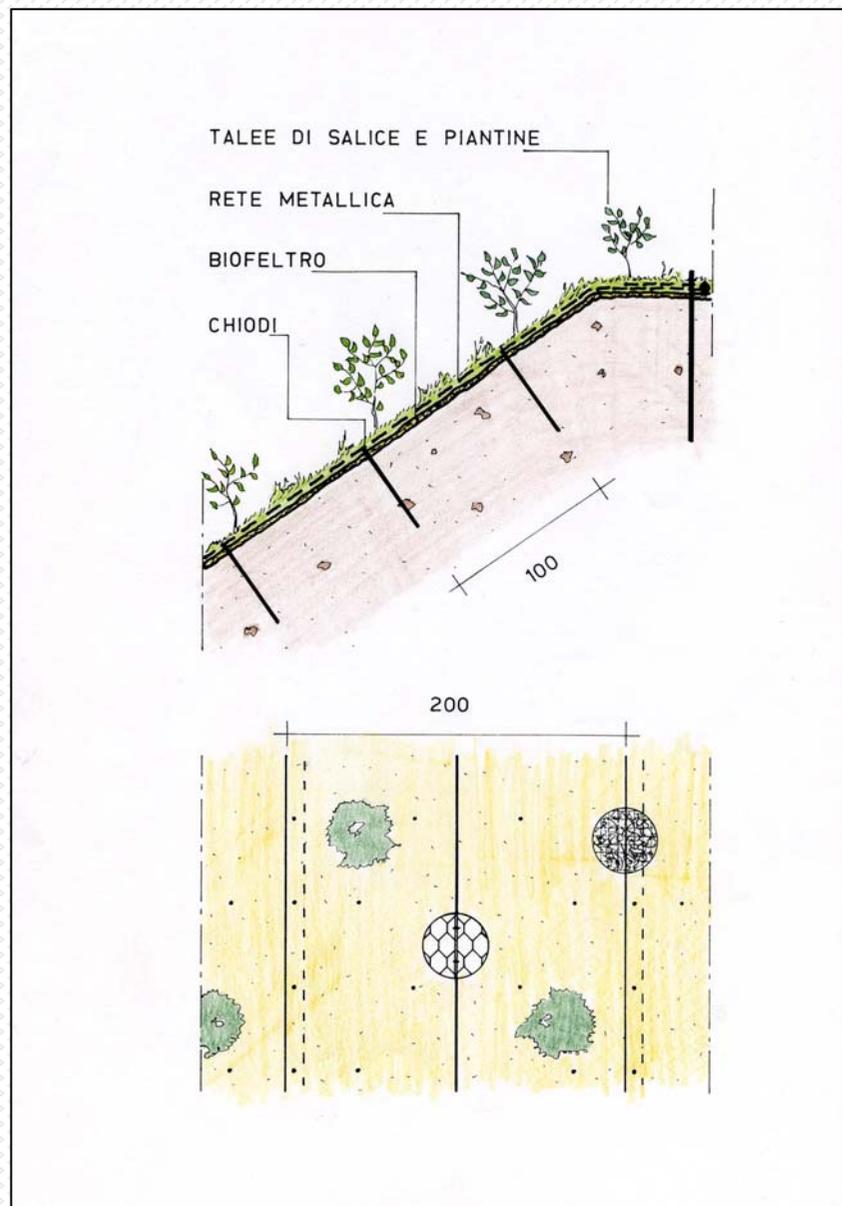


Figura - Rivestimento vegetativo in rete e biofeltro (da F. Boccalaro, 1994)



Figura - *Rivestimento vegetativo in rete e biofeltro* (da F. Boccalaro, 1995)



Figura - *Rivestimento vegetativo in rete e biofeltro* (da F. Boccalaro, 2007)



Ingegneria Naturalistica sulla linea lenta SV-TO

Aspetti tecnici

Lo **steccato in legname con talee** (vedi **figura**) viene utilizzato per realizzare gradoni fuori terra su versanti molto ripidi ed accidentati.

Per la costruzione è stato utilizzato tondame in corteccia di castagno del diametro da 20 a 30 cm e di lunghezza variabile da 3 a 4 m.

Sono stati infissi nel terreno **spezzoni di rotaie** alla distanza di 2 m, per una profondità di 1,5 m e una sporgenza di 50 cm. A monte di questi è stato fissato con filo di ferro zincato il **tondame** trasversale e sul gradone così costituito sono state messe a dimora **talee di salice e piantine radicate**. L'estensione dell'opera è di 7 m, pari a due file disposte in modo irregolare.

Si tratta di un intervento di **costo modesto** che permette un certo **consolidamento** del pendio dovuto alle strutture di ancoraggio ed alla successiva azione delle piante introdotte. Determina inoltre un'apprezzabile riduzione della pendenza locale.

Figura - *Steccato in legname con talee* (da F. Boccalaro, 1994)

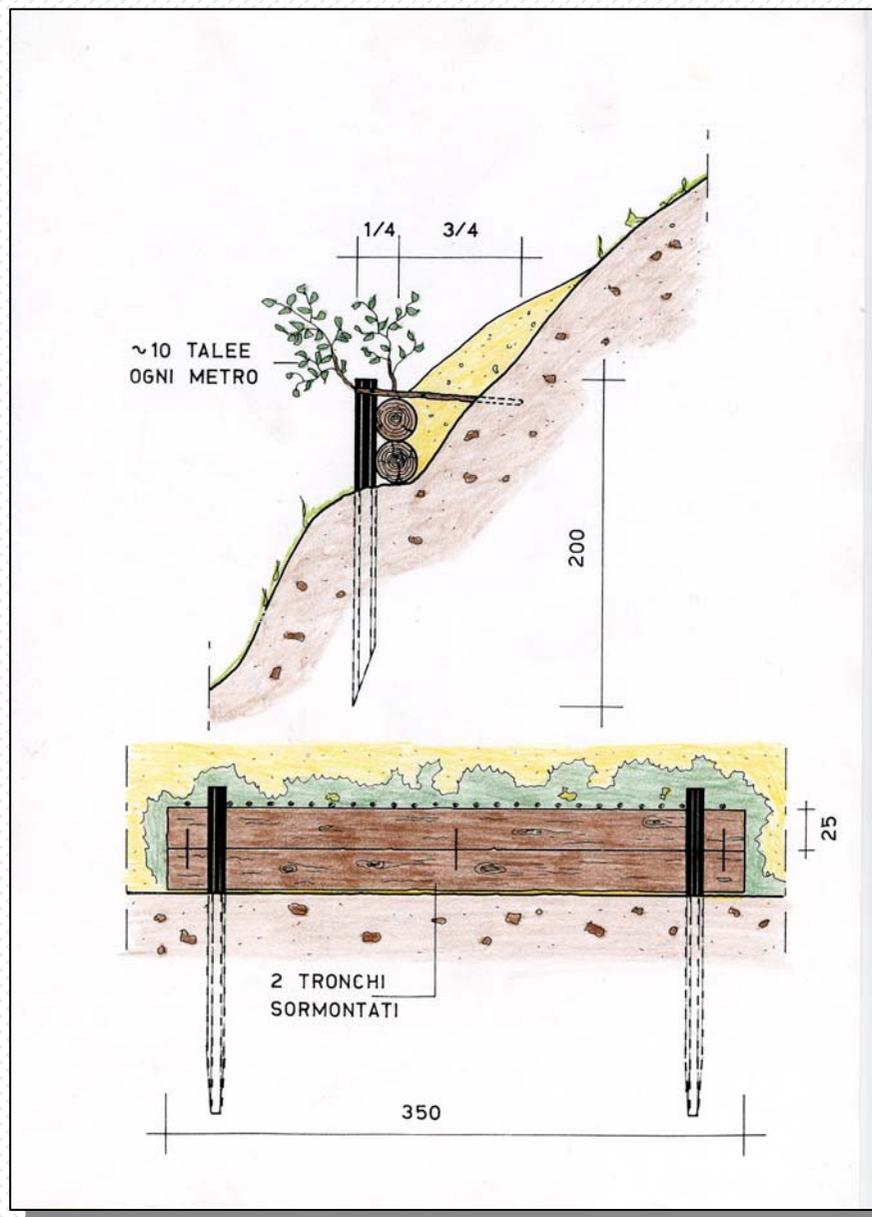


Figura - *Steccato in legname con talee* (da F. Boccalaro, 1994)



Figura - *Steccato in legname con talee* (da F. Boccalaro, 1995)



Figura - *Steccato in legname con talee* (da F. Boccalaro, 2007)



Ingegneria Naturalistica sulla linea lenta SV-TO

Aspetti tecnici

La **fascinata viva** (vedi **figura**) è utilizzata dove non vi siano pendenze elevate per stabilizzare il suolo a radicazione avvenuta, per trattenere l'umidità e drenare il terreno nella disposizione inclinata.

E' stata realizzata con **fascine** costituite da ramaglia di salice, composte in media da 5 rami e legate ogni 70 cm.

Dopo aver scavato un **fosso** profondo 30-50 cm e largo altrettanto lungo due linee (una inclinata rispetto all'orizzontale e l'altra verticale come fosso drenante per captare le emergenze idriche), sono state posate al loro interno le fascine disposte con la parte più grossa rivolta a monte, e fissate al terreno con **picchetti** di acciaio zincato infilati in mezzo ai rami.

Successivamente si sono riempite le banchine con il materiale proveniente dallo scavo del fosso e si sono messe a dimora le **piantine radicate** a monte delle fascine.

Ingegneria Naturalistica sulla linea lenta SV-TO

Aspetti tecnici

La fascinata inclinata si estende per 20 m; quella **drenante** lungo la linea di massima pendenza si sviluppa per 8 m con 4 rami a "spina di pesce" di circa 1,5 m ciascuno.

Si tratta di un intervento poco costoso che consente una **stabilizzazione** del terreno molto rapida e di facile attuazione; i movimenti del terreno sono modesti e i materiali impiegati sono a buon mercato.

Figura - Fascinata viva (da F. Boccalaro, 1994)

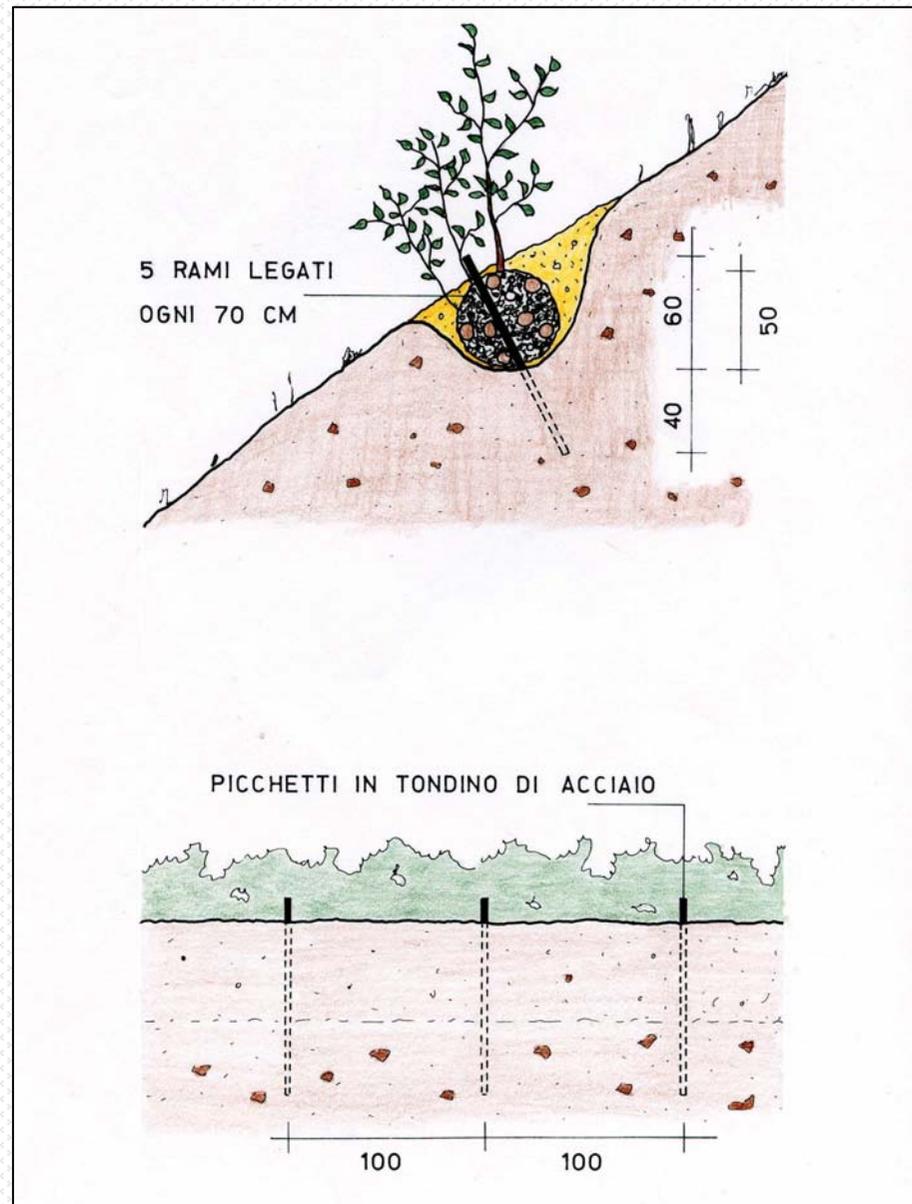


Figura - *Fascinata viva* (da F. Boccalaro, 1994)



Figura - *Fascinata viva* (da F. Boccalaro, 1995)

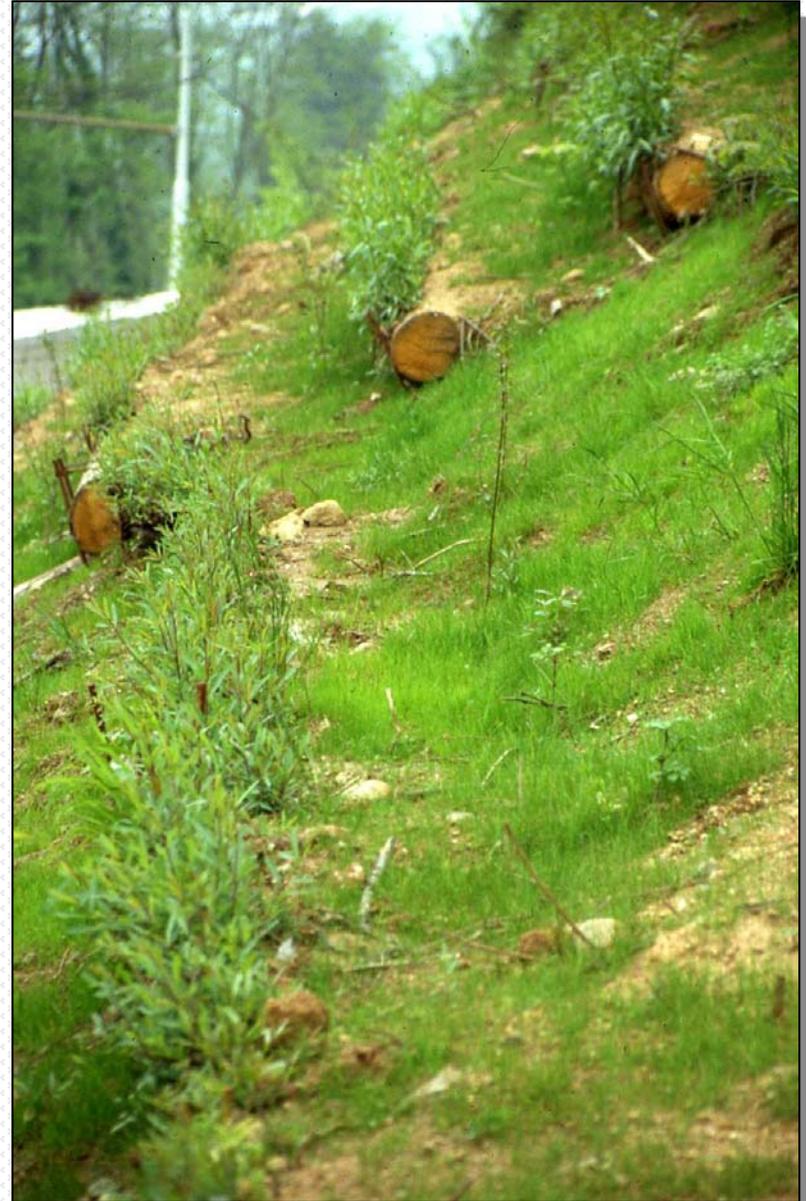


Figura - *Fascinata viva* (da F. Boccalaro, 2007)



Ingegneria Naturalistica sulla linea lenta SV-TO

Aspetti tecnici

La cordonata viva (vedi **figura**) si utilizza per la stabilizzazione dei versanti umidi su terreni argillosi, limosi, marnosi.

E' stata costruita con **stanghe di castagno** con corteccia del diametro di 6-12 cm e di lunghezza > di 2 m.

Dopo aver scavato le **banchine** secondo le curve di livello per una larghezza minima di 35-50 cm e ad una distanza tra i gradoni di 2 m, si sono posate sul piano dello scavo delle stanghe di legno e uno strato abbastanza fitto di **ramaglia di castagno**, realizzando così uno scheletro di sostegno del terreno. Ricoperto il "letto" di ramaglia con del terreno, sono state messe a dimora **talee di salice** disposte a "pettine" e **piantine radicate**, per poi ricoprire il tutto con il materiale di scavo della banchina superiore.

Sono state realizzate due file di cordonate di 17 m ciascuna.

Ingegneria Naturalistica sulla linea lenta SV-TO

Aspetti tecnici

È un metodo un po' meno economico del precedente e richiede grandi quantità di ramaglia. L'intervento è molto efficace su terreni con elevata tendenza allo smottamento: in questi casi lo strato di ramaglia e le stanghe costituiscono un'armatura del terreno, si ha cioè la formazione di una vera e propria "terra rinforzata".

Figura - *Cordonata viva* (da F. Boccalaro, 1994)

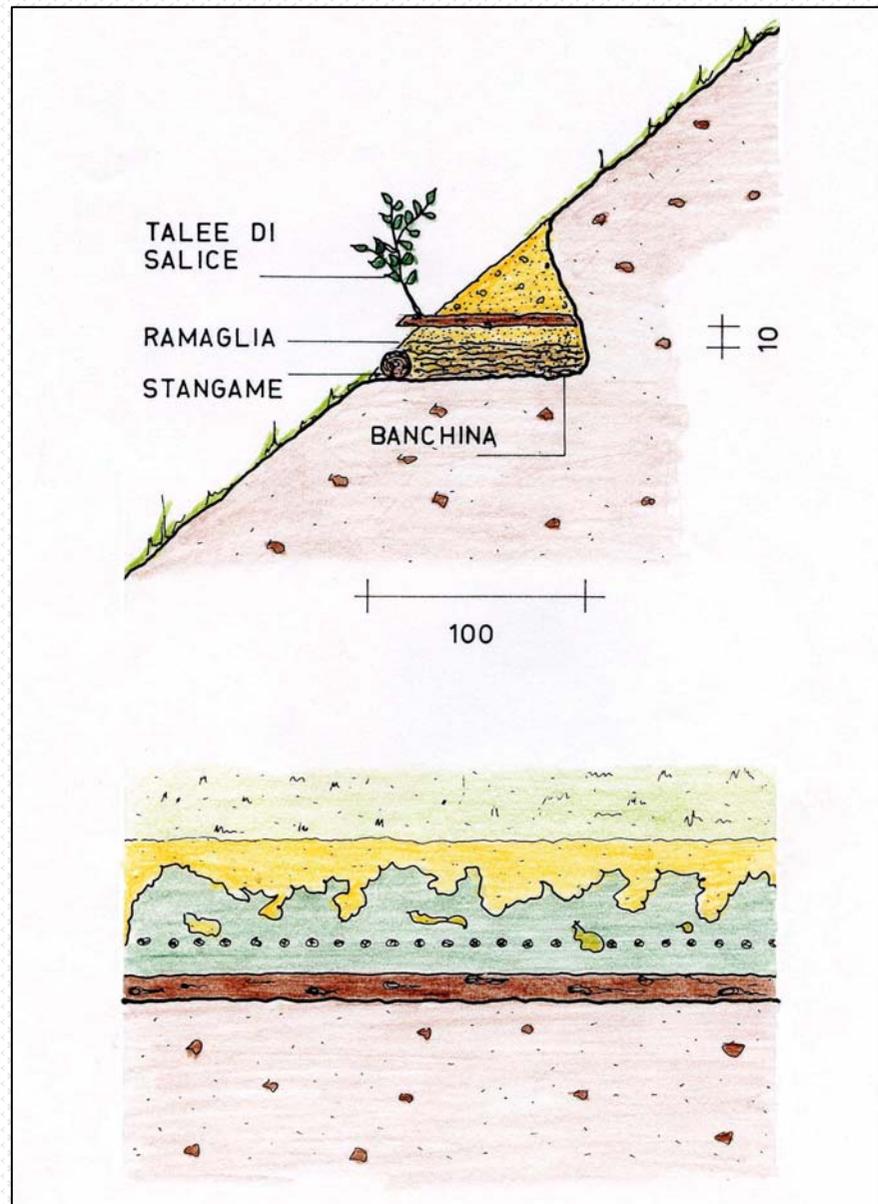


Figura - *Cordonata viva* (da F. Boccalaro, 1994)



Figura - *Cordonata viva* (da F. Boccalaro, 1995)



Figura - *Cordonata viva* (da F. Boccalaro, 2007)



Ingegneria Naturalistica sulla linea lenta SV-TO

Aspetti tecnici

Considerazioni generali

Tutti gli interventi con materiale vegetale vivo devono essere effettuati in periodo di **riposo vegetativo**: l'inizio del riposo invernale è in genere ancor più favorevole (autunno) rispetto alla fine del riposo invernale (primavera).

La scelta delle specie erbacee, arbustive ed arboree adottate per questo intervento di Ingegneria Naturalistica è stata fatta considerando l'**attitudine** delle piante ad associarsi, climatizzarsi, propagarsi, resistere alle sollecitazioni meccaniche, migliorare il terreno, accrescersi, abbellire il paesaggio.

La scelta dei metodi adottati per questo intervento è stata fatta considerando l'**efficacia** antierosiva e di consolidamento, la praticità di esecuzione, lo scopo didattico.

Ingegneria Naturalistica sulla linea lenta SV-TO

Aspetti tecnici

Gli interventi di Ingegneria Naturalistica hanno influenza sul consolidamento del terreno per una profondità massima di 2 m; per superfici di scivolamento più approfondite essi vanno abbinati ad interventi strutturali tipo muri di sostegno o barriere antifrana.

La **manutenzione** degli interventi di Ingegneria Naturalistica è finalizzata in prima fase a promuovere la crescita delle piante e in seconda fase a impedire il loro eccessivo sviluppo; può durare per due o tre stagioni vegetative.

Nel caso particolare dell'intervento a Cadibona sarà necessario periodicamente potare e/o diradare le piante (per contenere l'altezza, ricavare materiale per altri consolidamenti, eliminare le specie infestanti e favorire quelle definitive), sfalciare il manto erboso, lavorare il terreno, proteggere le piantine (pacciamatura), riparare e rinverdire eventuali danni (**risarcimento**).

Ingegneria Naturalistica sulla linea lenta SV-TO

Aspetti tecnici

Alcuni lavori andranno effettuati durante il riposo vegetativo (potature, risarcimenti, ecc.), altri durante il periodo vegetativo (sfalci, ecc.).

Ingegneria Naturalistica sulla linea lenta SV-TO

Aspetti economici

E' stata compilata a consuntivo un'analisi dettagliata dei costi imputabili ai vari metodi di I.N. utilizzati, distinti per manodopera, mezzi, attrezzature, macchinari e materiali (vedi tavola).

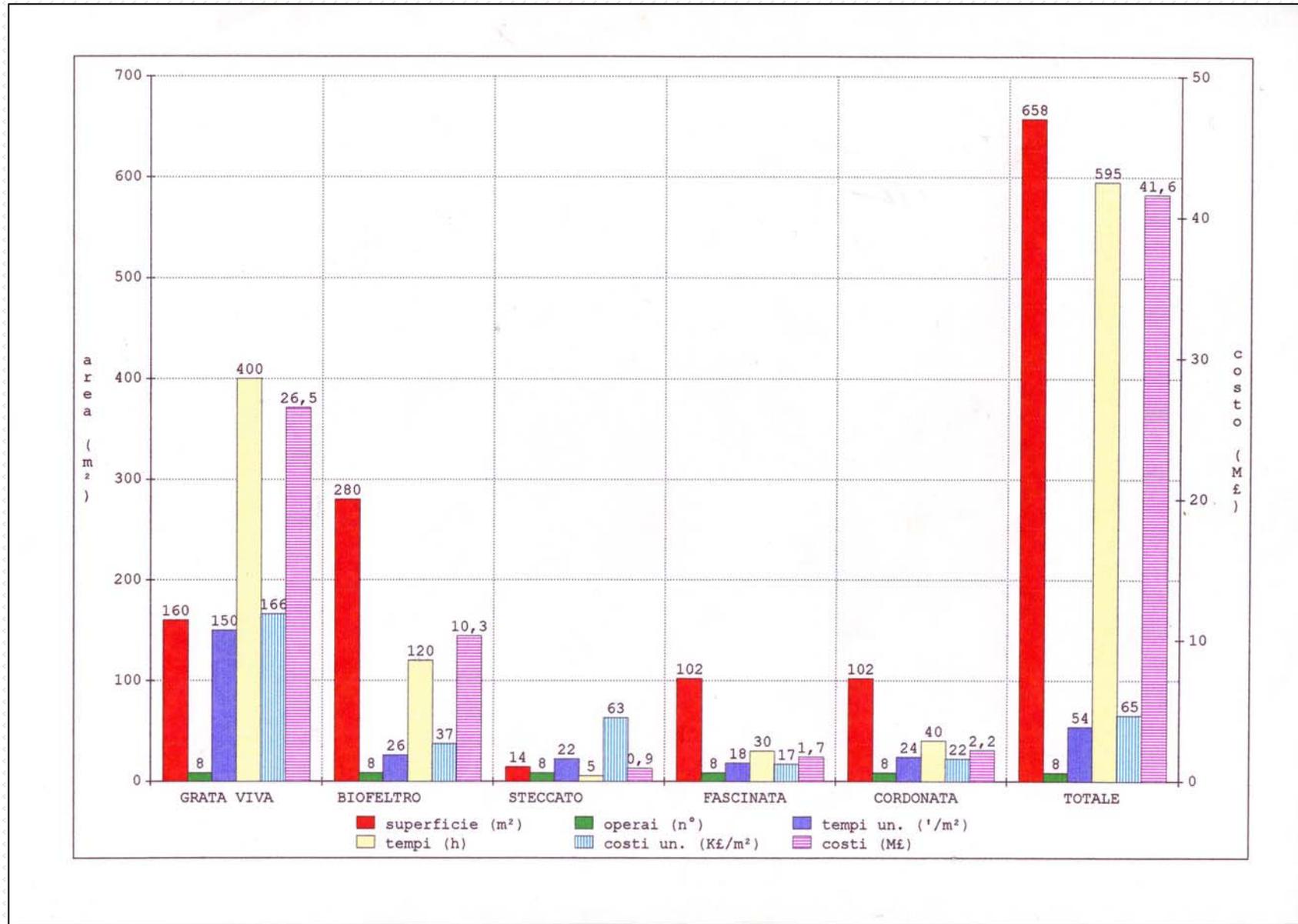
Se ne deduce che l'incidenza della **manodopera** sul costo totale è pari ad una quota variabile dal 61 % al 94 %, a seconda delle caratteristiche più o meno tecnologiche dell'intervento. Tutti i materiali "vivi" sono risultati gratuiti.

Per facilitare il confronto tra i vari metodi di I.N., è stata scelta per tutti l'**estensione in mq**, considerando per quegli interventi di tipo lineare un interasse lungo il pendio di 2 o 3 m (vedi tavola). Una conseguenza di quanto detto prima è che i costi sono sempre proporzionali ai relativi tempi di esecuzione.

Tavola - Riepilogo dei tempi e costi degli interventi (da F. Boccalaro, 1994)

tipologia	sup. (m²)	operai (n°)	tempi u. ('/m²)	tempi (h)	costi u. (K£/m²)	costi (M£)
GRATA VIVA CON TALEE	160	8	150	400	166	26,5
BIOFILTRO E RETE	280	8	26	120	37	10,3
STECCATO (i=2m)	14	8	22	5	63	0,9
FASCINATA VIVA (i=3m)	102	8	18	30	17	1,7
CORDONATA VIVA (i=3m)	102	8	24	40	22	2,2
TOT.	658	8	54	595	63	41,6

Figura - Riepilogo dei tempi e costi degli interventi (da F. Boccalaro, 1994)



Ingegneria Naturalistica sulla linea lenta SV-TO

Conclusioni

L'esperienza fatta ha messo in luce le grandi **potenzialità** delle tecniche di ingegneria naturalistica per la difesa del suolo e la regolazione dei corsi d'acqua a protezione delle sede ferroviaria e per la mitigazione dell'impatto ambientale.

Si è inoltre evidenziata l'ottima **predisposizione** degli operatori ferroviari ad apprendere ed applicare questi metodi che talvolta hanno riscontro nella cultura agro-forestale delle regioni di appartenenza, aggiornandola alle conoscenze moderne.

Esistono peraltro ad oggi nel settore civile della Produzione Ferroviaria alcuni **limiti** alla disponibilità di mezzi, materiali e mano d'opera a causa di un'autonomia di spesa non sufficientemente adeguata, un esiguo gettito finanziario e una politica del personale non abbastanza orientata al lavoro autonomo (vedi a confronto il caso della Provincia di Bolzano).

Ingegneria Naturalistica sulla linea lenta SV-TO

Conclusioni

L'importanza in termini economici e di sicurezza che riveste il dissesto idrogeologico per la circolazione e la sede ferroviaria in molti tratti di linea giustificherebbe a livello di zona l'istituzione di una o più **squadre specializzate** in interventi di Ingegneria Naturalistica, dotate di adeguati strumenti finanziari e operativi (ad es. un "ragno meccanico" per il modellamento del terreno su pendii ripidi).

L'intervento descritto ha mostrato la sua piena efficacia a cominciare dalla primavera 1995 con il primo **sviluppo della vegetazione** (vedi **figure**). È stato quindi oggetto di una visita di collaudo e di una relazione tecnica descrittiva finale.

A distanza di 12 anni è stato fatto un sopralluogo che ha rivelato un ottimo sviluppo della vegetazione, anche se la specie predominante è risultata *Robinia pseudoacacia*, introdottasi autonomamente da una preesistente popolazione sul versante sottostante.

Figura - *Intervento dopo 6 mesi* (da F. Boccalaro, 1995)



Figura - *Intervento dopo 9 mesi* (da F. Boccalaro, 1995)



Figura - *Intervento dopo 12 mesi* (da F. Boccalaro, 1995)



Figura - *Intervento dopo 12 anni* (da F. Boccalaro, 2007)



Ingegneria Naturalistica sulla linea lenta SV-TO

Bibliografia

[1] C. Cestelli Guidi: "Geotecnica e tecnica delle fondazioni" - Hoepli, 1981

[2] CNR: "Gli eventi alluvionali del 22 e 27 Settembre 1992 in Liguria: studio idrologico e geomorfologico" - GEAM, 1993

[3] Boccalaro F.: "L'Ingegneria Naturalistica ovvero come difendere il suolo e recuperare l'ambiente con l'uso delle piante". INGEGNERIA FERROVIARIA. Roma (3/1996).

Ingegneria Naturalistica sulla linea lenta SV-TO

Ringraziamenti

Si ringraziano le Regioni Emilia Romagna e Veneto e le Provincie Autonome di Trento e Bolzano per la disponibilità data nel divulgare le tecniche di Ingegneria Naturalistica, il Servizio Produzione di Genova e Savona per la collaborazione finanziaria, l'AIPIN per l'assistenza tecnica e tutti gli operai e tecnici ferroviari per le opere in cantiere.

Ingegneria Naturalistica sulla linea veloce RM-NA

Soluzioni tecnico-ambientali contenute nel progetto esecutivo

Al fine di **adattare** il più possibile il **tracciato** alla **morfologia dei luoghi**, pur mantenendo l'efficienza funzionale, in deroga alla specifiche tecniche del progetto AV, in alcuni tratti sono state adottate pendenze della livelletta fino al 21 per mille.

Per ottenere il massimo della **permeabilità virtuale** dei **viadotti**, il progetto prevede campate spinte al limite dell'estremo superiore della fascia di convenienza tecnico-economica, e quindi campate di 34 m anziché 25.

Solo per i **fiumi** più importanti si sono adottate luci fino a 55 m, che comportano costi e problemi costruttivi eccezionali.

Per quanto attiene agli **imbocchi delle gallerie** sono previste soluzioni di minimo impatto paesaggistico con sezione a becco di flauto, riconfigurazione morfologica della zona, idrosemina e messa a dimora di specie arbustive autoctone.

Figura - *Inserimento di viadotto nel paesaggio* (da F. Boccalaro, 2004)



Figura - *Sistemazione di imbocco galleria naturale con biostuoia in paglia (da F. Boccalaro, 2000)*



Figura - *Sistemazione di imbocco galleria naturale con biostuoia in paglia (da F. Boccalaro, 2000)*



Figura - *Sistemazione di imbocco galleria naturale con biostuoia in paglia* (da F. Boccalaro, 2008)



Ingegneria Naturalistica sulla linea veloce RM-NA

Soluzioni tecnico-ambientali contenute nel progetto esecutivo

Nel caso di **zone boscate** si è previsto il ripristino naturalistico con la ricostruzione della vegetazione tramite la messa a dimora di specie arbustive ed arboree.

Le opere di sistemazione dei **corpi idrici** interessati dal passaggio della linea sono state eseguite con l'utilizzo di **gabbioni e materassi** che garantiscono la ricopertura vegetale.

In casi particolari, dove le caratteristiche ambientali esigono maggiore attenzione progettuale, è stato considerato l'utilizzo di **tecniche di ingegneria naturalistica**, che prevedono la realizzazione di opere di consolidamento, la creazione di quinte e barriere, la rinaturalizzazione di ambienti compromessi, effettuata con l'ausilio di idonee specie vegetali.

La **trazione elettrica** è realizzata con pali e tralicci semplici, meglio integrabili nel paesaggio dei più ingombranti portali. Anche la colorazione degli stessi sarà di basso profilo (grigio-celeste).

Figura - *Sistemazione di sponde del fiume Sacco al cavalcavia IV01 di Sgurgola con gabbioni e biostuoie (da F. Boccalaro, 2006)*



Figura - *Sistemazione di sponde del fiume Sacco al cavalcavia IV01 di Sgurgola con gabbioni e biostuoie (da F. Boccalaro, 2006)*



Figura - *Sistemazione di sponde del fiume Sacco al cavalcavia IV01 di Sgurgola con gabbioni e biostuoie (da F. Boccalaro, 2008)*



Figura - *Sistemazione di sponde del fiume Sacco al cavalcavia IV01 di Sgurgola con gabbioni e biostuoie (da F. Boccalaro, 2006)*



Figura - *Sistemazione di sponde del fiume Sacco al cavalcavia IV01 di Sgurgola con gabbioni e biostuoie (da F. Boccalaro, 2006)*



Figura - *Sistemazione di sponde del fiume Sacco al cavalcavia IV01 di Sgurgola con gabbioni e biostuoie (da F. Boccalaro, 2008)*



Figura - *Sistemazione di sponde del fiume Sacco al cavalcavia IV01 di Sgurgola con gabbioni e biostuoie (da F. Boccalaro, 2006)*



Figura - *Sistemazione di sponde del fiume Sacco al cavalcavia IV01 di Sgurgola con gabbioni e biostuoie (da F. Boccalaro, 2008)*



Figura - *Sistemazione di sponde del fiume Sacco al cavalcavia IV01 di Sgurgola con gabbioni e biostuoie (da F. Boccalaro, 2006)*



Ingegneria Naturalistica sulla linea veloce RM-NA

Soluzioni tecnico-ambientali contenute nel progetto esecutivo

Il **terreno vegetale** asportato in corrispondenza dei lavori di costruzione è stato accantonato e opportunamente conservato per il successivo riutilizzo.

Per quanto riguarda i materiali necessari alla formazione del **rilevato**, al fine di utilizzare il maggior volume possibile di materiali provenienti dagli scavi, si sono utilizzati anche materiali con valori di modulo fino a 250 kg/cmq, mentre le specifiche di progettazione non permettevano di scendere sotto il valore di 400. Ciò vale solo per gli strati bassi del rilevato e per rilevati comunque di altezza superiore a 3 m. In tal modo si è realizzato un notevole **risparmio sui volumi di materiali** da approvvigionare da cava e un beneficio di carattere ambientale per minori volumi da depositare sul territorio.

Per quanto riguarda l'**ubicazione dei cantieri**, essa è stata effettuata in aree già degradate o aree che non presentano elevate caratteristiche ambientali.

Figura - *Inerbimento scarpate* (da Cornelini, 2000)



Ingegneria Naturalistica sulla linea veloce RM-NA

Soluzioni tecnico-ambientali contenute nel progetto esecutivo

Particolare attenzione è rivolta all'**inquinamento acustico**, principale elemento di preoccupazione da parte delle comunità locali interessate.

Per questo aspetto, infatti, le Ferrovie hanno attivato da tempo iniziative di **ricerca** sia sui rotabili che sull'infrastruttura. Nel primo caso si sono già ottenuti risultati incoraggianti, soprattutto nel caso del **rumore di rotolamento** che si origina nella zona di contatto ruota-rotaia e che rappresenta la principale sorgente sonora per velocità comprese tra i 70 e i 300 km/h. I risultati di tali ricerche riguardano quattro aspetti tecnici. La sostituzione dei **freni** a ceppi in ghisa con freni a disco determina una riduzione del rumore emesso di circa 8-10 decibel. L'applicazione di **schermi acustici** al telaio del carrello è in grado di ridurre di 4-5 decibel il rumore di rotolamento. L'adozione di **carenature** sulla cassa dei veicoli, in corrispondenza dei carrelli, comporta una riduzione di 2-3 decibel.

Ingegneria Naturalistica sulla linea veloce RM-NA

Soluzioni tecnico-ambientali contenute nel progetto esecutivo

Infine l'impiego di **assorbitori acustici** e **smorzatori viscoelastici** delle vibrazioni applicati sulla vela delle ruote determina riduzioni rispettivamente di oltre 6 e 3 decibel. Per quanto riguarda gli interventi sull'infrastruttura, essi riguardano essenzialmente l'impiego di **barriere antirumore**.

Le performance delle soluzioni tecnologiche, tradizionali o innovative, che saranno via via adottate, saranno oggetto di **monitoraggio** in fase di esercizio, per verificare l'effettivo abbattimento del disturbo acustico.

Figura - *Barriere con montanti in legno lamellare e pannello in PMMA (da F. Boccalaro, 2000)*

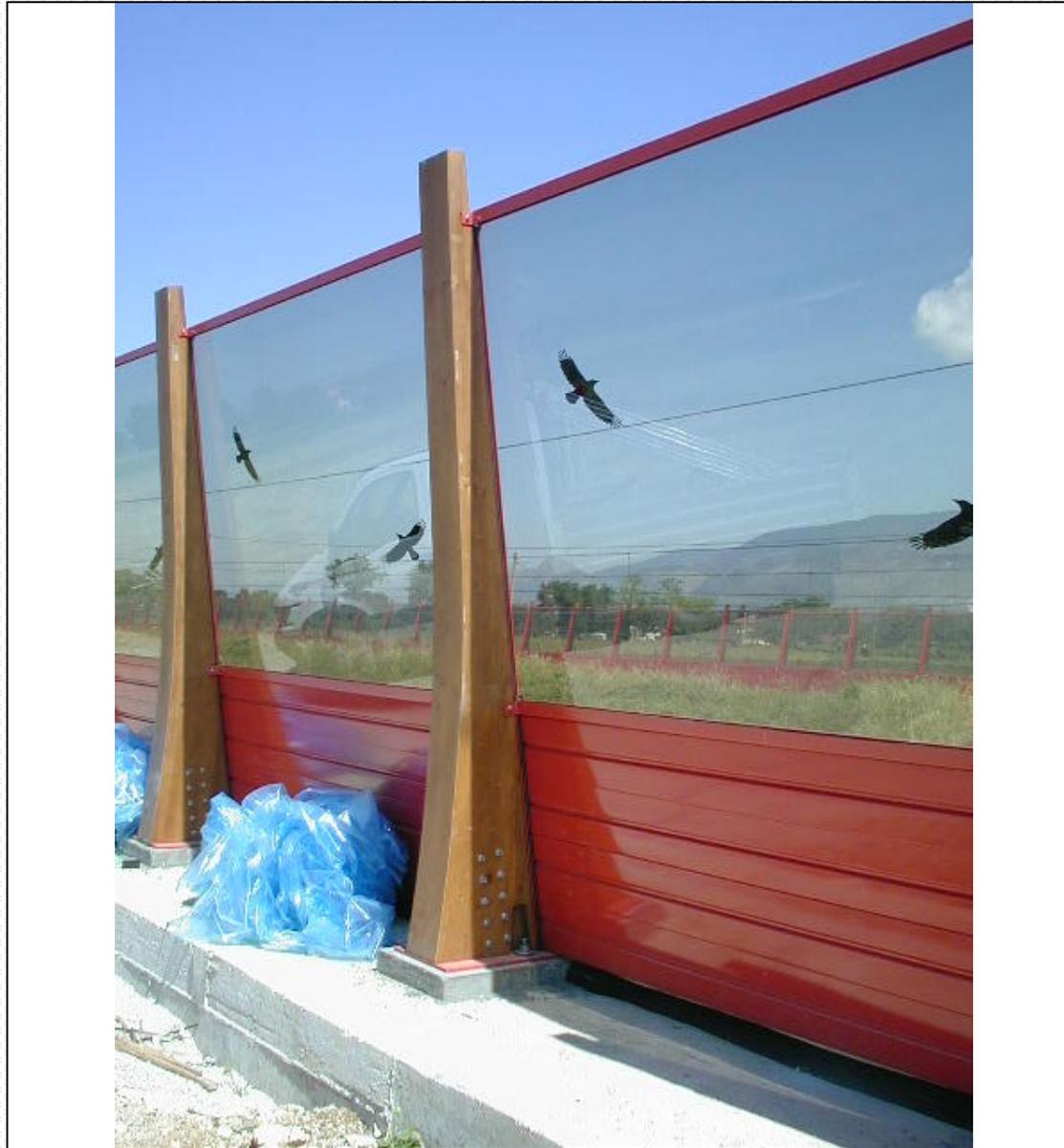


Figura - *Barriere in legno* (da F. Boccalaro, 2000)



Figura - *Barriere in metallo e pmma* (da F. Boccalaro, 2006)



Figura - *Barriere in muro cellulare rinverdito* (da F. Boccalaro, 2006)



Ingegneria Naturalistica sulla linea veloce RM-NA

Soluzioni tecnico-ambientali contenute nel progetto esecutivo

Per quanto riguarda la protezione della fauna, è stato effettuato un attento studio sui prevedibili corridoi di spostamento degli animali. È stato verificato che laddove la nuova linea interessa contesti a valenza naturalistica, in cui è verosimile supporre la frequentazione di specie mobili di grossa taglia, il tracciato ferroviario presenta sempre tipologie "permeabili", quali viadotti e gallerie.

Di contro, in prossimità dell'area boscata di "Sterparelle" è stato previsto uno specifico **sottopasso** per la fauna.

Figura - Sottopasso faunistico RIF6 ad Aquino (da F. Boccalaro, 2000)

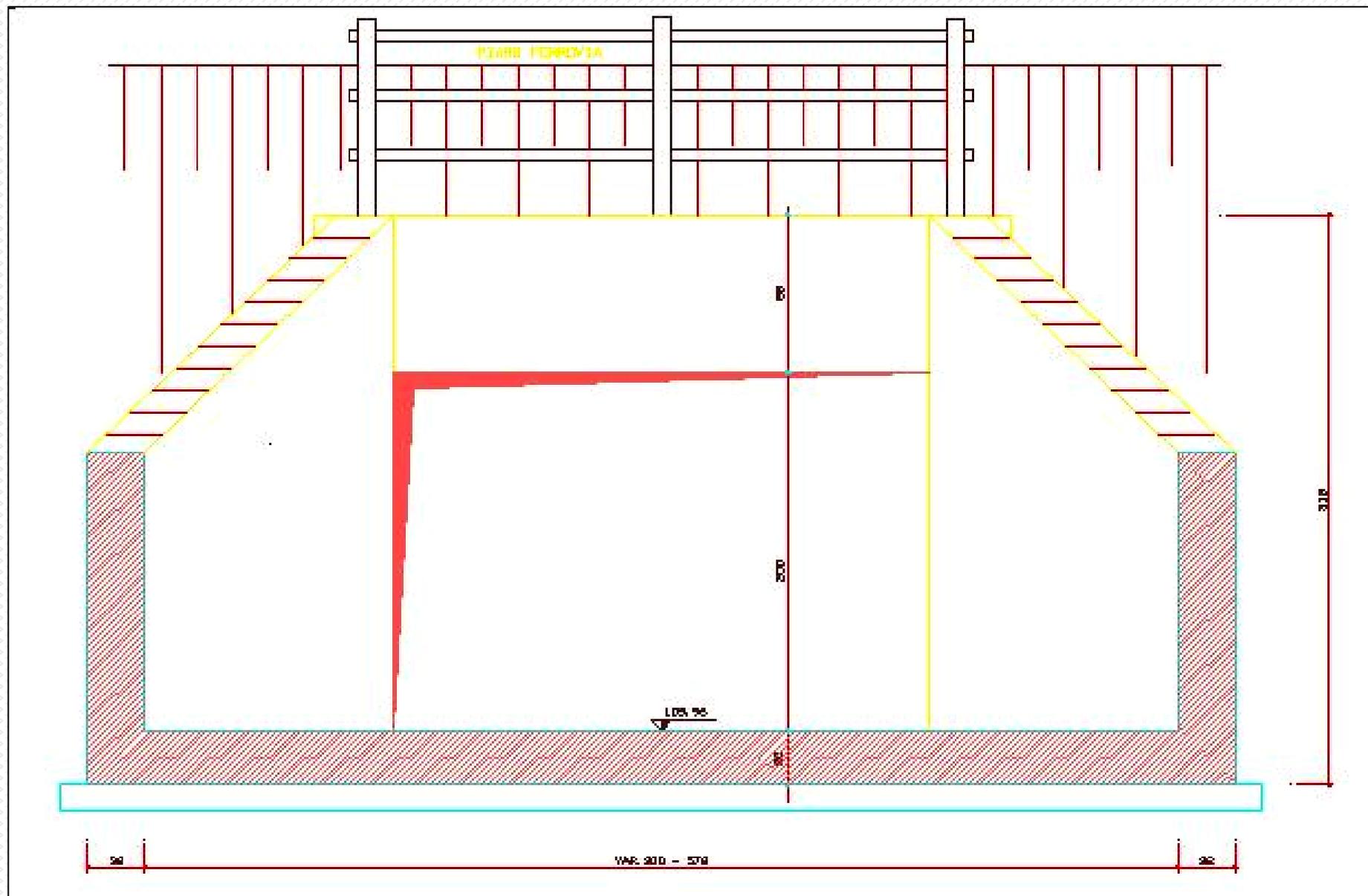


Figura - *Sottopasso faunistico RIF6 ad Aquino* (da Italferr, 2000)



Ingegneria Naturalistica sulla linea veloce RM-NA

Soluzioni tecnico-ambientali contenute nel progetto esecutivo

Per quanto attiene la **vegetazione** il progetto prevede la realizzazione di **opere a verde** distribuite su tutta la linea, sia in aree interne alla recinzione ferroviaria, sia in aree esterne ed in contesti territoriali particolari. Gli interventi previsti hanno anche l'obiettivo di consolidare ed innescare processi di ricostruzione di ecosistemi naturali o paranaturali.

Sono state effettuate **indagini preliminari** riguardanti la base conoscitiva floristica e fitosociologica, le caratteristiche topoclimatiche e microclimatiche, il substrato pedologico, le tecnologie tradizionali e quelle di concezione innovativa (georeti, geotessuti, biostuoie), la selezione delle specie vegetali da utilizzare con particolare riferimento a miscele di sementi di specie erbacee, arbustive ed arboree da vivaio.

Ingegneria Naturalistica sulla linea veloce RM-NA

Soluzioni tecnico-ambientali contenute nel progetto esecutivo

Per effettuare la scelta delle specie da impiantare negli interventi di **ingegneria naturalistica** si è fatto riferimento alla vegetazione potenziale ed effettiva. Quest'ultima è caratterizzata dalla presenza di formazioni caducifoglie a carattere mesofilo, sostituite, sui versanti più esposti, da associazioni di vegetazione sempreverde.

Procedendo verso sud , si assiste alla progressiva riduzione del primo aspetto in favore del secondo, ed il paesaggio naturale , dominato dal **bosco misto a *Quercus cerris* (Cerro)**, viene gradualmente arricchito di elementi termofili, chiaramente adattati a vivere in condizioni di clima caldo e poco piovoso. Nelle aree più influenzate dall'azione dell'uomo, la vegetazione arborea ed arbustiva declina in favore delle formazioni erbacee; fra queste ultime prevalgono le **praterie**, le associazioni infestanti delle culture e le comunità ruderali e legate ai centri abitati.

Ingegneria Naturalistica sulla linea veloce RM-NA

Soluzioni tecnico-ambientali contenute nel progetto esecutivo

Il paesaggio della **vegetazione riparia** a pioppi, salici ed ontani, a causa sia della manomissione diretta delle rive che dell'immissione di inquinanti, è piuttosto degradato e sostituito da fitocenosi nitrofile e ad avventizie esotiche che si consolidano in ambienti in cui il substrato è arricchito artificialmente da composti azotati. La **vegetazione igrofila** è rappresentata da residui di boscaglia alveale nelle aree meno degradate o da individui isolati di pioppo e salice. Una vera fascia di vegetazione erbacea igrofila si sviluppa solo nelle situazioni non disturbate ed è caratterizzata, fra le altre specie, da *Phragmites australis*, *Thypha sp.* e *Alisma plantagoaquatica*.

Per i nuovi impianti vegetazionali sono state definite numerose **tipologie vegetative**, ciascuna con una propria composizione di specie e percentuale di presenza per singola specie.

Ingegneria Naturalistica sulla linea veloce RM-NA

Soluzioni tecnico-ambientali contenute nel progetto esecutivo

La densità di impianto e il rapporto proporzionale tra specie arboree e specie arbustive è differente per l'impianto di **nuove aree boscate** (1.520 piante per ettaro di cui 25% alberi e 75% arbusti), per gli interventi di **raccordo vegetazionale** (1.000 piante per ettaro di cui 33% alberi e 67% arbusti) e per l'impianto di **arbusteti** (1.667 arbusti per ettaro). Per quanto riguarda i **filari alberati** inseriti nel paesaggio antropico si è prevista la messa a dimora di alberi in ragione di uno ogni 10 m lineari.

Le **altezze** dei vegetali è di m 1,5-2,0 per gli alberi con una circonferenza minima del tronco di 6/8 cm, mentre per gli arbusti l'altezza di impianto varia tra i 60 e gli 80 cm con un diametro della zolla di circa 18 cm.

I documenti progettuali prevedono inoltre numerose **tipologie** di interventi di ingegneria naturalistica quali grate vive, palizzate, terre rinforzate, viminate, biostuoie, biofeltri, fascinate, ecc. .

Tavola - Specie arboree e arbustive previste nel progetto esecutivo (da M. Guidarelli, 1998)

SPECIE ARBOREE E ARBUSTIVE PREVISTE NEL PROGETTO ESECUTIVO

ALBERI

Specie autoctone		Zone	N°
<i>Acer campestre</i>	Acero campestre	QUERCETI	277
<i>Acer monspessulanum</i>	Acero minore	QUERCETI SEMPREVERDI	370
<i>Acer obtusatum</i>			396
<i>Carpinus orientalis</i>			2272
<i>Castanea sativa</i>	Castagno	QUERCETI	1781
<i>Celtis australis</i>	Bagolaro	QUERCETI	1625
<i>Cercis siliquastrum</i>	Siliquastro	PENDII SOLEGGIATI	266
<i>Fraxinus ornus</i>	Orniello	QUERCETI	347
<i>Fraxinus onycarpa</i>			2476
<i>Junglans regia</i>			2889
<i>Malus sylvestris</i>	Melo selvatico	QUERCETI	356
<i>Morus sp.</i>			94
<i>Ostrya carpinifolia</i>	Carpinella	QUERCETI	100
<i>Pinus pinea</i>	Pino domestico	PINETE LITORANEE	616
<i>Populus alba</i>	Pioppo bianco	QUERCETI	190
<i>Populus nigra</i>	Pioppo nero	QUERCETI	3559
<i>Prunus avium</i>	Ciliegio selvatico	QUERCETI E BOSCAGLIA PREALPINA	2867
<i>Pinus pinaster</i>	Pino marittimo	PINETE LITORANEE	114
<i>Quercus cerris</i>	Cerro	QUERCETI	20
<i>Quercus ilex</i>	Leccio	QUERCETI	5283
<i>Quercus farnetto</i>	Farnetto	QUERCETI	3308
<i>Quercus petraea</i>	Rovere	QUERCETI E BOSCAGLIA PREALPINA	259
<i>Quercus pubescens</i>	Roverella	QUERCETI	5610
<i>Quercus robur</i>	Farnia	QUERCETI E BOSCAGLIA PREALPINA	7020
<i>Salix alba</i>	Salice bianco	BOSCHI PERIALVEALI	4577
<i>Sorbus domestica</i>	Sorbo domestico	QUERCETI	585
<i>Tilia cordata</i>	Tiglio cordato	QUERCETI	281
Totale			50.038

SPECIE ARBOREE E ARBUSTIVE PREVISTE NEL PROGETTO ESECUTIVO

ARBUSTI

Specie autoctone		Zone	N°
<i>Adenocarpus complicatus</i>			455
<i>Arbutus unedo</i>	Corbezzolo	QUERCETI SEMPREVERDI	203
<i>Cistus incanus</i>			412
<i>Cornus mas</i>	Corniolo	QUERCETI	2294
<i>Cornus sanguinea</i>	Sanguinello	QUERCETI	27753
<i>Coronilla emerus</i>	Emero o Dondolino	QUERCETI E BOSCAGLIA PREALPINA	6268
<i>Corylus avellana</i>	Nocciolo	QUERCETI	10673
<i>Crataegus monogyna</i>	Biancospino	QUERCETI E BOSCAGLIA PREALPINA	18146
<i>Cytisus scoparius</i>	Ginestra dei carbonai	QUERCETI E BOSCAGLIA PREALPINA	7974
<i>Cytisus sessilifolius</i>			1324
<i>Evonymus europaeus</i>	Berretta da prete	QUERCETI	2932
<i>Frangula alnus</i>	Frangola	QUERCETI	2880
<i>Laurus nobilis</i>	Alloro	MACCHIA	338
<i>Ligustrum vulgare</i>	Ligustro	QUERCETI E BOSCAGLIA PREALPINA	8632
<i>Mespilus germanica</i>	Nespolo	QUERCETI	815
<i>Paliurus spina-christi</i>			825
<i>Phillyrea latifolia</i>			410
<i>Pistacia terebinthus</i>	Terebinto	MACCHIA	138
<i>Prunus spinosa</i>	Pruno	QUERCETI	10316
<i>Pyrus amigdaliformis</i>	Pero	QUERCETI	2539
<i>Rhamnus alaternus</i>	Alaterno	QUERCETI SEMPREVERDI	135
<i>Rosa canina</i>	Rosa di macchia	QUERCETI	9316
<i>Rosa sempervirens</i>	Rosa sempreverde	QUERCETI SEMPREVERDI	138
<i>Salix caprea</i>	Salicone	GRETI	883
<i>Salix eleagnos</i>	Salice ripaiolo	GRETI	204
<i>Salix purpurea</i>	Salice rosso	GRETI	16966
<i>Sambucus nigra</i>	Sambuco nero	SALICETI	12008
<i>Sorbus torminalis</i>	Ciavardello	QUERCETI	12053
<i>Spartium junceum</i>	Ginestra odorosa	PENDII SOLEGGIATI	4307
<i>Viburnum opulus</i>	Pallon di Maggio	SALICETI	122
<i>Viburnum tinus</i>	Tino	QUERCETI SEMPREVERDI	
Totale			162.141

Ingegneria Naturalistica sulla linea veloce RM-NA

Impatti specifici sul territorio e principali interventi di mitigazione previsti dal progetto esecutivo

L'area di Pantano

Il progetto di questo tratto (dal km 15 al km 36) interessa un ambito costituito principalmente da **aree a seminativo**, delimitate da zone di espansione urbana con consistente densità abitativa.

Per ridurre la possibilità di inquinamento acustico delle aree abitate, si è modificato il tracciato di progetto: la nuova soluzione, che si sviluppa per circa 1.500 m, presenta tipologie costruttive in trincea ed in rilevato, che garantiscono una **riduzione del livello sonoro** rispetto alla precedente soluzione interamente in viadotto.

Il tracciato prosegue poi fiancheggiando un'area edificata e quindi un'area a colture arboree per poi ricongiungersi al tracciato di progetto. In tale opera sono previsti circa 28 ettari di **interventi a verde** tra cui filari alberati, interventi di raccordo con la vegetazione esistente ed interventi di compensazione.

Ingegneria Naturalistica sulla linea veloce RM-NA

Impatti specifici sul territorio e principali interventi di mitigazione previsti dal progetto esecutivo

L'area di Pantano

Le specie utilizzate tengono conto della **vegetazione autoctona** e pertanto è previsto l'impianto di boscaglia igrofila con presenza di Farnia e Frassino meridionale per gli **interventi di raccordo**, mentre per gli **interventi di compensazione** si prevede l'impianto di un bosco misto a prevalenza di Cerro e Castagno.

Nell'area in questione si è provveduto inoltre alla **sistemazione naturalistica del fosso Passerano**, mediante quattro file sovrapposte di gabbionate consolidate e rinverdite, nonché la stabilizzazione del fondo mediante piccole briglie e salti di fondo sempre in gabbioni. Le sponde sulle quali verranno addossati i **gabbioni** saranno rivestite con un **geotessile** non tessuto multifunzionale con capacità filtrante che proteggerà la sponda stessa dal dilavamento dovuto all'azione della corrente.

Ingegneria Naturalistica sulla linea veloce RM-NA

Impatti specifici sul territorio e principali interventi di mitigazione previsti dal progetto esecutivo

L'area di Pantano

I gabbioni verranno riempiti con ciottoli a matrice fine in modo da permettere alle radici della vegetazione di insediarsi nel **terreno di riempimento**; la sommità dei gabbioni verrà colmata con terra vegetale. Ogni singolo gabbione, prima del riempimento, verrà foderato con un **biofiltro** con la duplice funzione di evitare il dilavamento del materiale e di favorire l'attecchimento della vegetazione. Tra le file di gabbioni verranno poste in opera **talee** di *Salix alba* con funzioni di consolidamento delle gabbionate e di mantenimento di un microclima fresco e umido favorevole alla diffusione di specie erbacee.

Figura - *Sistemazione delle sponde del fosso Passerano (da F. Boccalaro, 2005)*



Figura - *Sistemazione delle sponde del fosso Passerano* (da F. Boccalaro, 2005)



Figura - *Sistemazione delle sponde del fosso Passerano (da F. Boccalaro, 2005)*



Ingegneria Naturalistica sulla linea veloce RM-NA

Impatti specifici sul territorio e principali interventi di mitigazione previsti dal progetto esecutivo

La Valle del Sacco

L'area della valle interessata dal tracciato si estende per oltre 10 chilometri (dal km 60 al km 72). Emergenze morfologiche minori, piccoli rilievi e crinali secondari connotano un **paesaggio agricolo** continuo ed omogeneo che si estende fino ai margini del corridoio di fondovalle dove riprende importanza la copertura boschiva. L'area è caratterizzata dalla presenza di colture prevalentemente intensive con struttura insediativa diffusa e qualche insediamento produttivo. Nell'area interessata dal progetto è prevista la **riqualificazione vegetazionale** di circa 55 ettari di terreno. Le principali tipologie d'intervento utilizzate allo scopo sono volte alla riqualificazione ambientale delle **fasce spondali** del fiume e delle aree circostanti.

Ingegneria Naturalistica sulla linea veloce RM-NA

Impatti specifici sul territorio e principali interventi di mitigazione previsti dal progetto esecutivo

La Valle del Sacco

Si prevede inoltre la costituzione di **aree boscate** per un'estensione complessiva di circa 5 ettari, di cui parte nel comune di Gavignano con impianto prevalente di Cerri e Farnetti, parte nel comune di Anagni con impianto prevalente di boscaglia igrofila alveale e parte nel comune di Sgurgola con l'impianto di boscaglia igrofila, con Farnie e Frassini mediterranei.

Figura - *Sistemazione dell'area golenale del fiume Sacco (da F. Boccalaro, 2005)*



Figura - *Veduta dell'alveo e della valle del fiume Sacco (da F. Boccalaro, 2008)*



Figura - *Forme di accumulo nell'alveo del fiume Sacco (da A. Rondinara, 1997)*



Figura - *Forme di erosione delle sponde del fiume Sacco* (da A. Rondinara, 1997)



Ingegneria Naturalistica sulla linea veloce RM-NA

Impatti specifici sul territorio e principali interventi di mitigazione previsti dal progetto esecutivo

Il lago di S. Giovanni Incarico

Dal km 108 al km 110 circa, il nuovo tratto di linea veloce si avvicina al lago di S. Giovanni Incarico, nel comune omonimo. In tale tratto, la linea si trova anche in affiancamento con l'attuale linea Roma-Napoli via Cassino.

Il lago di San Giovanni Incarico, fin dai primi studi di fattibilità ambientale realizzati nel 1987, è stato identificato come **biotopo** di particolare interesse naturalistico per la presenza di fauna di pregio.

Il Ministero dell'Ambiente, vista l'occasione contingente, ha richiesto esplicitamente come condizione per l'approvazione del Progetto Esecutivo presentato in Conferenza dei Servizi, un intervento di compensazione ambientale riguardante l'intero comprensorio territoriale del lago.

Ingegneria Naturalistica sulla linea veloce RM-NA

Impatti specifici sul territorio e principali interventi di mitigazione previsti dal progetto esecutivo

Il lago di S. Giovanni Incarico

Tale tipo di intervento prevede la necessità di **ricreare il valore naturalistico** presente nella zona e in qualche modo danneggiato dalle opere inerenti la realizzazione della linea ferroviaria, ed è finalizzato anche a migliorare il bilancio d'impatto ambientale dell'opera nella sua visione complessiva.

Il progetto di compensazione ambientale prevede la sistemazione di un'area di notevole estensione (27 ettari), con impianto di un'area boscata di 10.000 nuovi alberi a prevalenza di Farnetti, Cerri, Roverelle, Aceri e Frassini, e oltre 30.000 arbusti tra cui Biancospini, Prugnoli e Ciavardelli (*Sorbus torminalis*). Tali scelte di vegetazione sono state effettuate facendo riferimento alla vegetazione potenziale ed esistente nell'area, caratterizzata dalla presenza di formazioni caducifoglie a carattere mesofilo, nonché sulla base delle condizioni morfologiche e delle caratteristiche del substrato.

Ingegneria Naturalistica sulla linea veloce RM-NA

Impatti specifici sul territorio e principali interventi di mitigazione previsti dal progetto esecutivo

Il lago di S. Giovanni Incarico

Inoltre è stata prevista la **deviazione di tracciato** della linea attuale via Cassino onde realizzare un affiancamento parallelo con la linea veloce, con conseguente allontanamento della stessa di circa 200 m dal lago.

Sono state infine previste delle modifiche di tipologia di progetto, inserendo una **galleria artificiale** di circa 200 m in luogo di una trincea, onde consentire la continuità territoriale dell'area di compensazione, e l'adozione di **muri di contenimento**, onde ridurre lo spazio di ingombro delle trincee.

Figura - *Lago S. Giovanni Incarico* (da F. Boccalaro, 2000)



Figura - *Intervento Ambientale IA8E a S. Giovanni Incarico (da F. Boccalaro, 2000)*



Figura - *Intervento Ambientale IA8E a S. Giovanni Incarico (da F. Boccalaro, 2000)*



Figura - *Intervento Ambientale IA8E a S. Giovanni Incarico (da F. Boccalaro, 2000)*



Figura - *Intervento Ambientale IA8E a S. Giovanni Incarico (da F. Boccalaro, 2000)*



Ingegneria Naturalistica sulla linea veloce RM-NA

Impatti specifici sul territorio e principali interventi di mitigazione previsti dal progetto esecutivo

Il bosco di Sterparelle

Il tracciato (dal km 117 al km 120) attraversa marginalmente l'area boscata e nella sezione di massimo restringimento. L'intervento ambientale prevede un raccordo con la vegetazione esistente e la ricostituzione di parte dell'area boscata in un'area interclusa dovuta alla realizzazione di un'infrastruttura necessaria al ripristino della viabilità. **Gli impianti di vegetazione** riguardano Cerri e Farnetti che determinano una ricucitura con la macchia esistente e una quinta verde sul prospetto del cavalcaferrovia.

Nella zona è stato individuato un importante **passaggio della fauna** e un conseguente corridoio di spostamento degli animali, per cui si è reso necessario realizzare un sottopasso per lo spostamento della fauna lungo il rilevato RIF6 (al km 116).

Figura - *Intervento Ambientale IA8E a Castrocielo (macchia di Sterparelle)* (da M. Grotta, 2004)



Figura - *Intervento Ambientale IA8E a Castrocielo (macchia di Sterparelle)* (da M. Grotta, 2004)



Ingegneria Naturalistica sulla linea veloce RM-NA

Definizione degli interventi sulle opere d'arte

Sulla base dei criteri e dei punti di attenzione segnalati dalle **Linee Guida** emesse dall'Osservatorio Ambientale, è stata effettuata una rilettura globale del progetto di tutte le opere d'arte, arrivando alla evidenziazione dei casi dove si rendeva necessario intervenire, ove questi non fossero stati esplicitamente richiamati nell'Accordo Procedimentale.

Si è passati alla redazione di **Progetti Esecutivi Ambientali** specifici per ognuna delle opere evidenziate, attraverso i quali e con il confronto continuo con l'Osservatorio, sono state messe a punto tutte le modifiche e le mitigazioni che rendessero più morbido l'inserimento delle strutture nell'ambiente attraversato.

Ingegneria Naturalistica sulla linea veloce RM-NA

Definizione degli interventi sulle opere d'arte

Tali interventi in generale prevedono:

- la riconfigurazione morfologica e la riambientalizzazione delle zone interessate dagli **imbocchi delle gallerie** naturali o dalle gallerie artificiali;
- la rimodulazione del passo delle **pile dei viadotti** da eseguirsi sulla base delle specificità locali al fine di garantire la minore interferenza con i corpi idrici;
- la modifica delle **spalle dei viadotti** e dove necessario la loro traslazione con relativo allungamento del viadotto;
- varianti tipologiche alle sezioni caratteristiche di **rilevati e trincee** dove si è chiesto di verificare la possibilità di adottare pendenze ridotte e comunque più compatibili con i territori contermini;
- adeguamento degli **attraversamenti in sottopasso** alle esigenze di passaggio della fauna.

Ingegneria Naturalistica sulla linea veloce RM-NA

Definizione degli interventi sulle opere d'arte

Tra gli interventi più significativi realizzati si segnala quello interessante i viadotti "Sacco 5" e "Sacco 6" (al km 65) dove, per garantire il libero deflusso delle acque nell'area di esondazione del fiume Sacco, e per minimizzare l'impatto paesaggistico del complesso di opere formato dai suddetti viadotti e dall'interposto rilevato, l'Osservatorio Ambientale ha scelto di eliminare quest'ultimo rendendo unica l'opera d'arte, e quello relativo al viadotto "Liri" (al km 106) al fine di eliminare le interferenze tra le spalle del viadotto e l'alveo fluviale del Liri.

Figura - *Viadotto "Sacco" a Anagni (da TAV, 2000)*



Figura - *Viadotto "Liri" a S. Giovanni Incarico (da F. Boccalaro, 2005)*



Ingegneria Naturalistica sulla linea veloce RM-NA

Definizione degli interventi di mitigazione ambientale

Le opere di **mitigazione ambientale**, corrispondenti alla fase D del programma delle attività, sono comprese nelle tipologie di seguito riportate.

- **Ripascimento scarpate** con palificate o steccati in legno, grate vive, terreno agrario, inerbimento e vegetazione arbustiva.
- **Schermatura pareti** verticali in c.a. con palificate in legno, terreno agrario, inerbimento e vegetazione arbustiva.
- **Consolidamento imbocchi** di gallerie con viminate vive e mantellate in cemento.
- **Schermatura impianti** di manutenzione e di sottostazione elettrica con barriere in legno riempite di terreno agrario, vegetazione arbustiva ed arborea.
- **Schermatura barriere** antirumore con barriere in legno riempite di terreno agrario, vegetazione arbustiva ed arborea.

Ingegneria Naturalistica sulla linea veloce RM-NA

Definizione degli interventi di mitigazione ambientale

- **Rinverdimento tracciato** con vegetazione arbustiva ed arborea.
- **Inerbimento materassi** di pietrame con terreno vegetale e idrosemina a spessore.

Figura - *Mitigazione Ambientale EM04 (schermature) ad Anagni (da F. Boccalaro, 2006)*



Figura - Mitigazione Ambientale EM04 (schermature) a Sgurgola
(da F. Boccalaro, 2007)



Figura - *Mitigazione Ambientale EM04 (schermature) a Morolo (da F. Boccalaro, 2006)*



Figura - *Mitigazione Ambientale EM04 (schermature) a Morolo (da F. Boccalaro, 2008)*



Figura - Mitigazione Ambientale EM01 (palificate) a Lunghezza (da F. Boccalaro, 2005)



Figura - *Mitigazione Ambientale EM01 (palificate) a Lunghezza (da F. Boccalaro, 2007)*



Figura - *Mitigazione Ambientale EM01 (palificate) a Lunghezza (da F. Boccalaro, 2008)*



Ingegneria Naturalistica sulla linea veloce RM-NA

Ripascimento scarpate per mitigazione ambientale

L'area di intervento è quella compresa tra l'imbocco sud della galleria GA19 "Sgurgola" e il rilevato RI74 (da km 68+624 a km 68+715). Il tratto è quasi interamente di pertinenza del comune di Sgurgola e di Ferentino.

L'opera prevede un sistema misto di **steccati**, ancorati e tirantati, disposti su due gradoni per il sostegno al piede, sormontati da delle **grate vive** intasate di terreno con biostuoie e talee di salice o da reti metalliche e **geostuoie** pacciamate ed inerbite con *mulch* e terriccio. È presente una schermatura dell'impianto mediante vegetazione arbustiva.

L'estensione dell'intervento è di 160 mq.

Ingegneria Naturalistica sulla linea veloce RM-NA

Ripascimento scarpate per la mitigazione ambientale

All'esterno della piattaforma ferroviaria sono presenti pareti pseudoverticali, probabile risulta di **fronti di scavo**, che ambientalmente possono essere recuperate mediante l'utilizzo dello steccato o della palificata, della grata viva, ovvero semplicemente di viminate ed idrosemina, a seconda degli spazi disponibili e della pendenza delle pareti da mitigare.

Alla **base di pendici molto scoscese** si utilizza la palificata o lo steccato, che può essere gradonata a seconda degli spazi disponibili; la palificata o lo steccato comporta opera di compattamento del terreno di riempimento posto alla base della successiva gradonata.

Per la sistemazione dei **siti pseudoverticali intermedi** è stata studiata una soluzione che prevede un sistema misto di palificata viva a quattro file o di steccato vivo per il sostegno al piede, sormontata da una grata viva, realizzata con montanti e correnti in tronchi di castagno, a realizzare una grata fissata alla parete da paletti in legno.

Ingegneria Naturalistica sulla linea veloce RM-NA

Ripascimento scarpate per la mitigazione ambientale

Per le **aree superiori**, normalmente caratterizzate da pendenze medie, si prevede l'utilizzo di viminate, disposte per linee parallele di uguale quota, mediamente a distanza di circa 2 - 2,5 metri, per un'altezza complessiva di circa 0,50 m. Un trattamento di idrosemina sulla superficie completa l'intervento mitigatorio.

Il semplice sistema di palificate o steccati alla base, il successivo riempimento di terreno e le relative piantumazioni arboree e arbustive, nonché i sistemi di mitigazione previsti per la zona superiore, sono utilizzati in funzione della **pendenza** della pendice.

La scelta delle specie da impiegare per la presente tipologia è stata effettuata in base ai seguenti parametri:

- coerenza con il **fitoclima** in esame;
- coerenza con i caratteri della **vegetazione autoctona** locale;
- caratteristiche **biotecniche** degli apparati radicali.

Ingegneria Naturalistica sulla linea veloce RM-NA

Ripascimento scarpate per la mitigazione ambientale

Quest'ultimo punto risulta di particolare importanza in quanto la tipologia prevista, prevedendo in misura prevalente impianti associati a piccole strutture di sostegno (steccati), necessita di **apparati radicali** non troppo voluminosi e ramificati che potrebbero danneggiare le strutture di contenimento.

Gli **alberi** sono inseriti in questo contesto ambientale sulle banche orizzontali che interrompono il pendio e si distribuiscono con le seguenti proporzioni:

Fraxinus ornus - Orniello (40%);

Carpinus betulus - Carpino (30%);

Ostrya carpinifolia - Carpinella (30%).

La necessità di un rapido consolidamento del terreno e di una ancora più sicura stabilità delle opere di ingegneria naturalistica, ad opera degli apparati radicali, portano a scegliere un **sesto d'impianto** abbastanza fitto: 2 x 3 (1 albero/6 mq).

Ingegneria Naturalistica sulla linea veloce RM-NA

Ripascimento scarpate per la mitigazione ambientale

La composizione vegetale vera e propria è costituita da arbusti di varie specie ed in varia proporzione.

Le specie arbustive impiegate sulle pendici sono:

Cytisus scoparius - Ginestra dei Carbonai (h 125/150 cm) per il 30%;

Crataegus monogyna - Biancospino (h 150/200 cm) per il 40%;

Corylus avellana - Nocciolo (h 150/175 cm) per il 30%.

La disposizione in gruppi costituiti da 3-4 arbusti permette una copertura superficiale compatta unitamente ad uno sviluppo radicale uniforme. Il **sesto d'impianto** è abbastanza stretto: 2x2 (1 arbusto/4 mq).

Gli impianti, nel rispetto dei sestetti di impianto sopra indicati, tenderanno alla costituzione di **formazioni paranaturali**, con disposizione casuale sia interspecifica che intraspecifica.

Figura - Mitigazione Ambientale EM04 a Sgurgola (da F. Boccalaro, 2006)

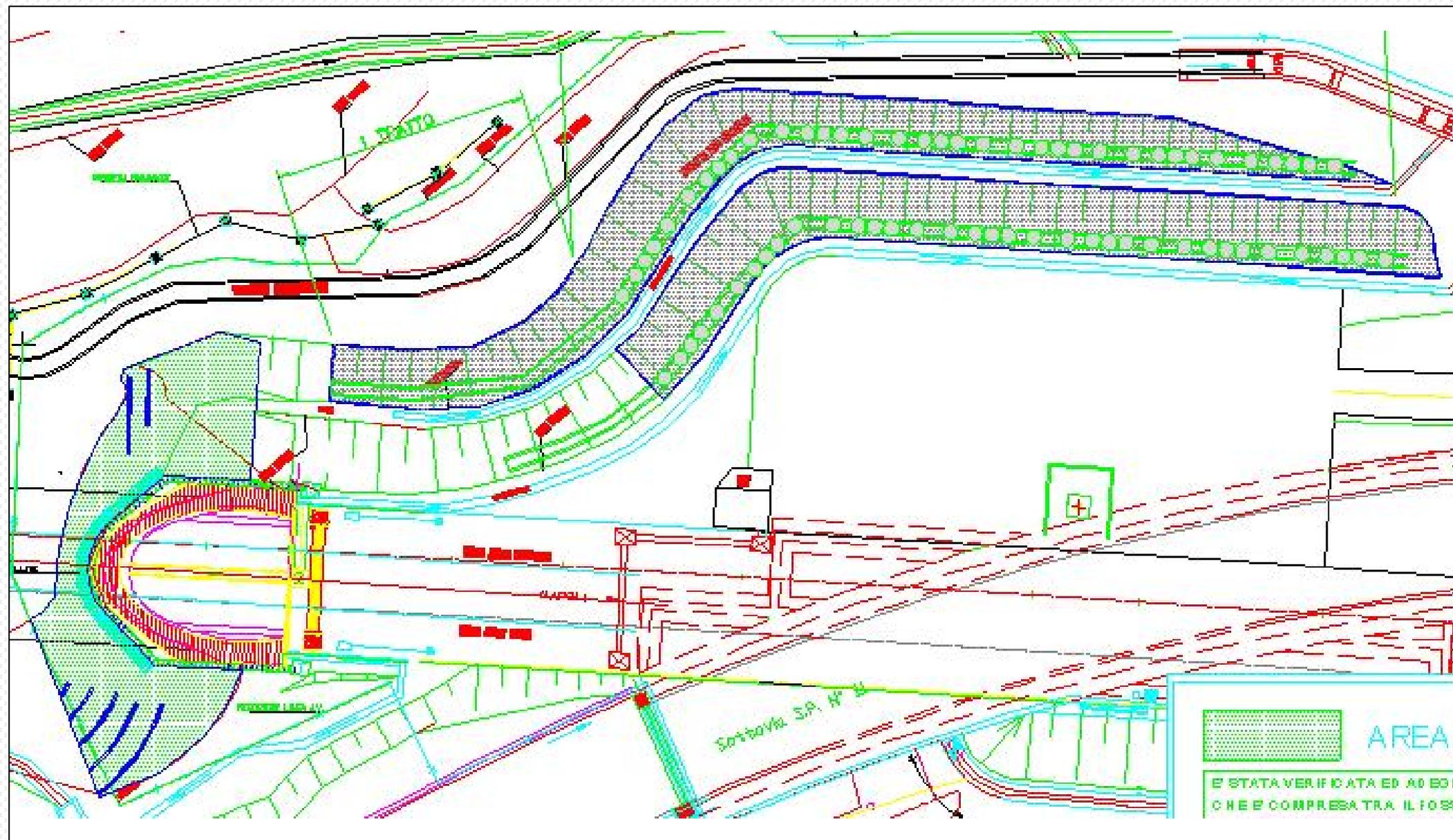


Figura - Mitigazione Ambientale EM04 a Sgurgola (da F. Boccalaro, 2006)

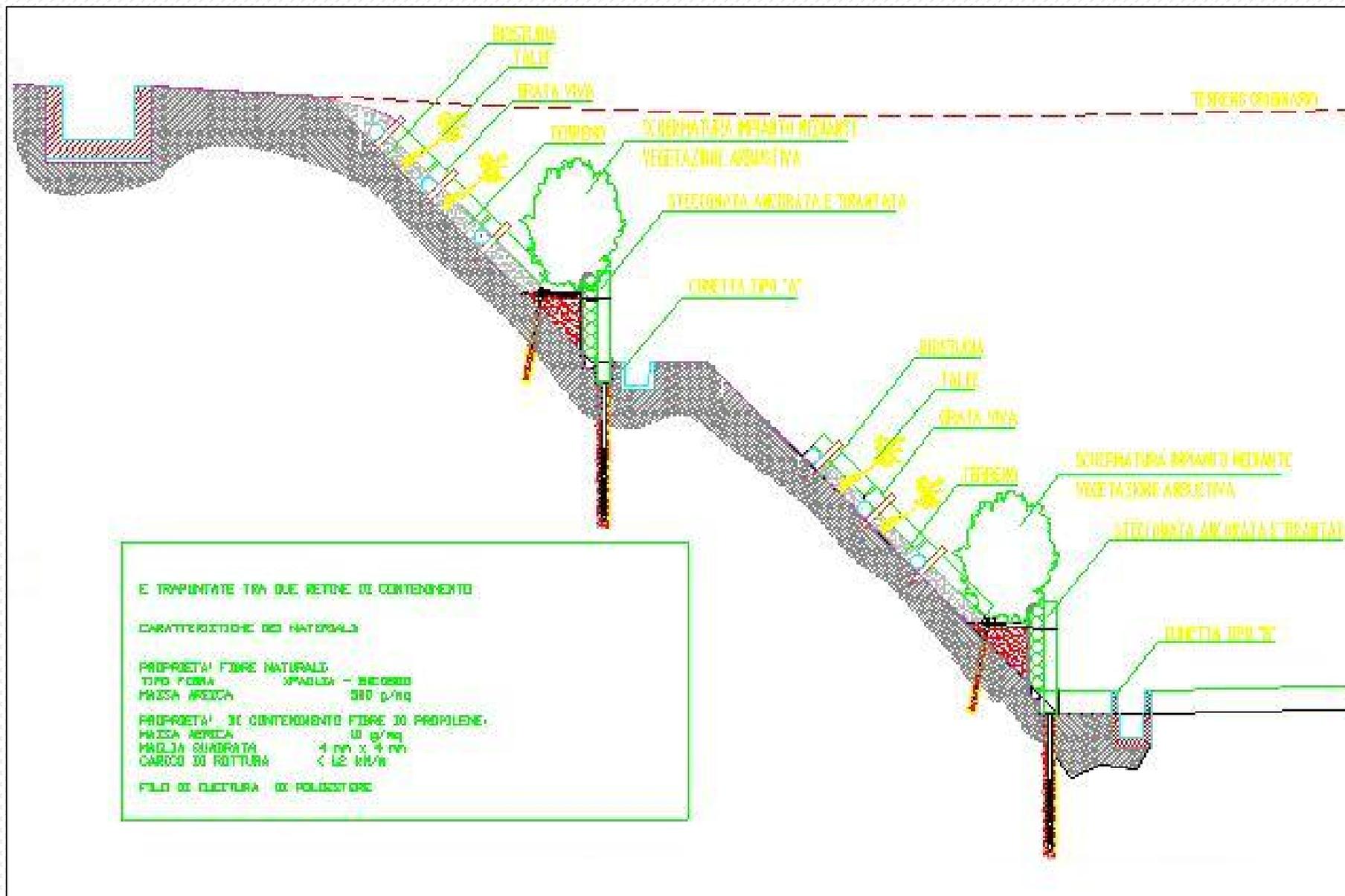


Figura - *Mitigazione Ambientale EM04 a Sgurgola* (da F. Boccalaro, 2006)

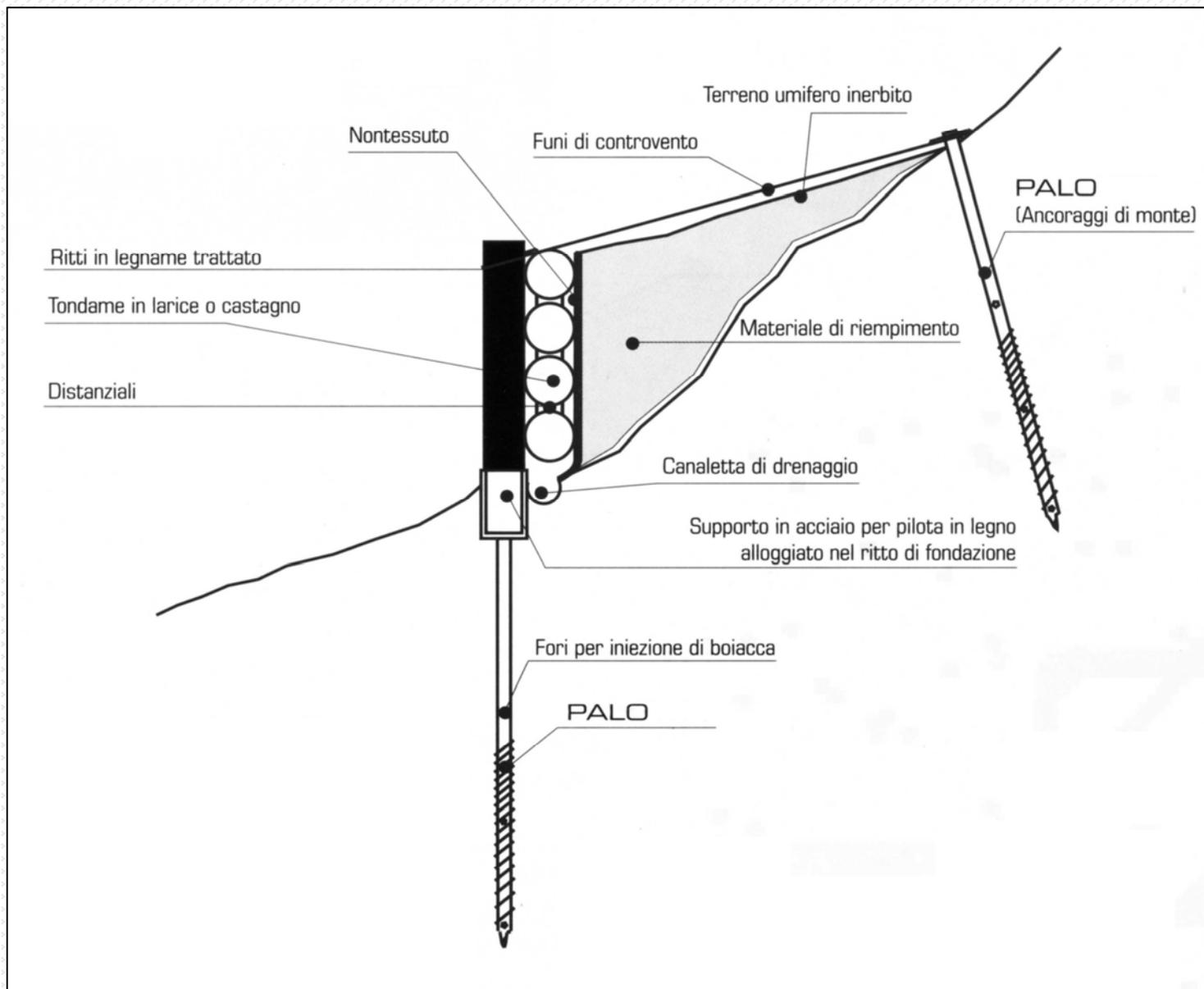


Figura - Mitigazione Ambientale EM04 a Sgurgola (da F. Boccalaro, 2005)

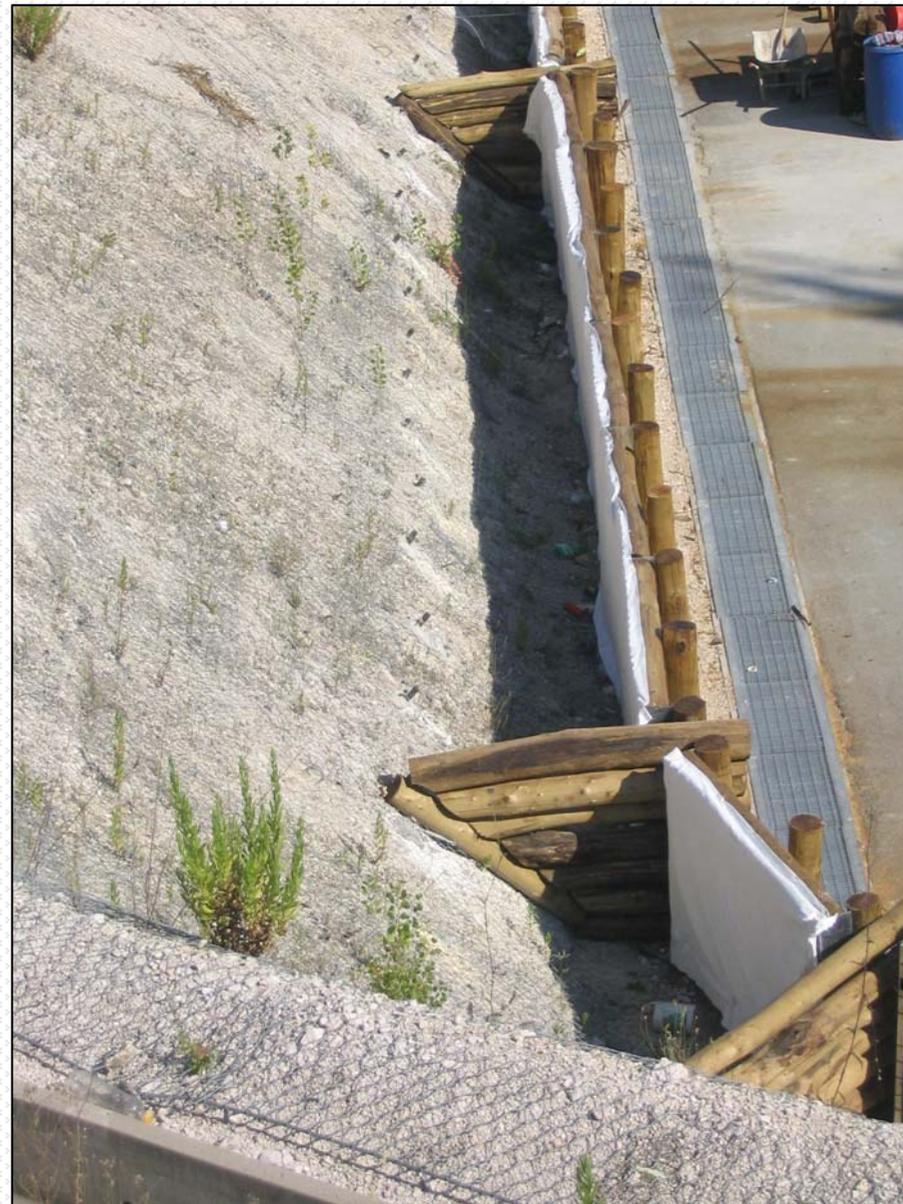


Figura - *Mitigazione Ambientale EM04 a Sgurgola (da F. Boccalaro, 2005)*



Figura - Mitigazione Ambientale EM04 a Sgurgola (da F. Boccalaro, 2005)



Figura - Mitigazione Ambientale EM04 a Sgurgola (da F. Boccalaro, 2006)



Figura - *Mitigazione Ambientale EM04 a Sgurgola (da F. Boccalaro, 2005)*



Figura - *Mitigazione Ambientale EM04 a Sgurgola (da F. Boccalaro, 2005)*



Figura - Mitigazione Ambientale EM04 a Sgurgola (da F. Boccalaro, 2005)

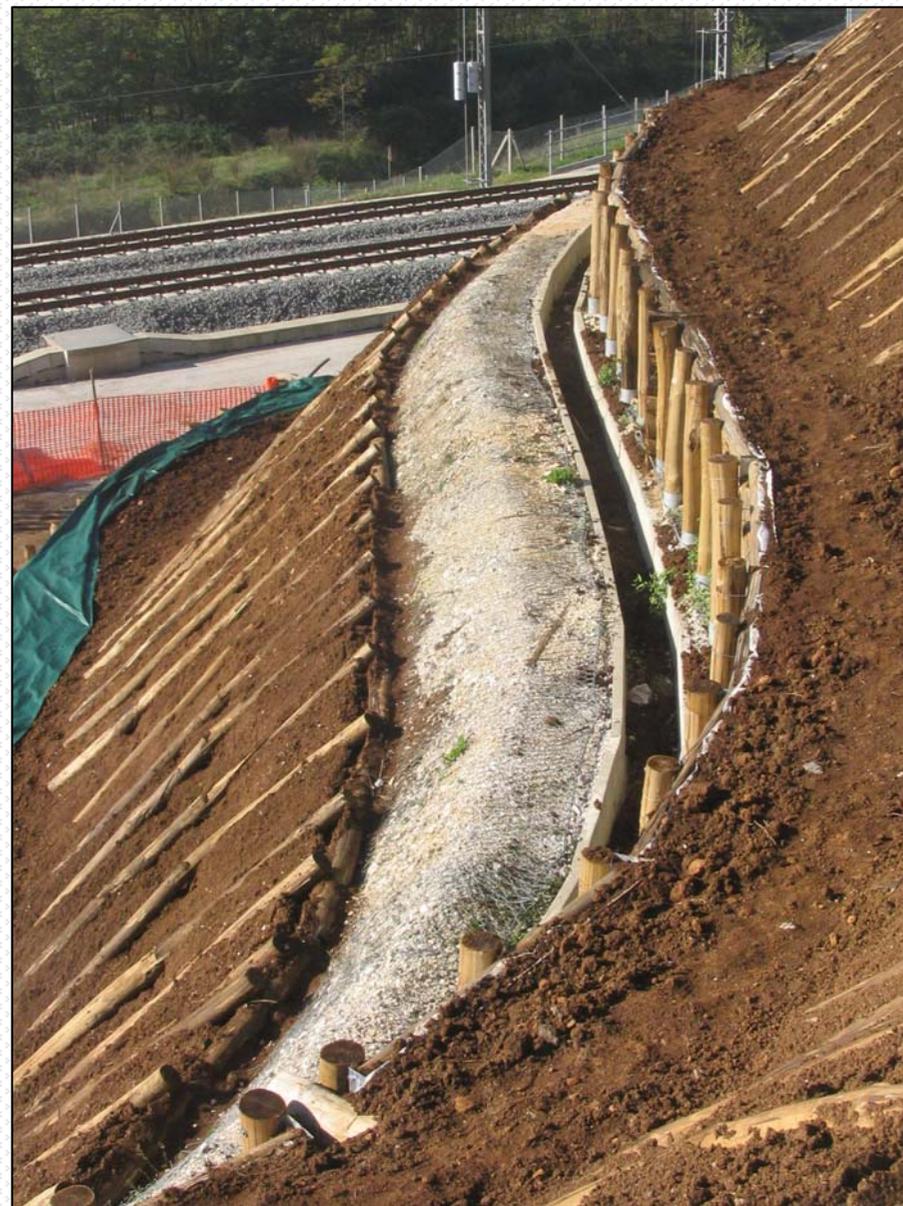


Figura - *Mitigazione Ambientale EM04 a Sgurgola (da F. Boccalaro, 2006)*



Figura - *Mitigazione Ambientale EM04 a Sgurgola (imbocco sud GA19) (da F. Boccalaro, 2006)*



Figura - *Mitigazione Ambientale EM04 a Sgurgola (da F. Boccalaro, 2006)*



Figura - *Mitigazione Ambientale EM04 a Sgurgola (da F. Boccalaro, 2006)*



Figura - *Mitigazione Ambientale EM04 a Sgurgola (da F. Boccalaro, 2008)*



Figura - *Mitigazione Ambientale EM04 a Sgurgola (da F. Boccalaro, 2008)*



Figura - *Mitigazione Ambientale EM04 a Sgurgola (da F. Boccalaro, 2008)*



Figura - *Mitigazione Ambientale EM04 a Sgurgola (da F. Boccalaro, 2008)*



Ingegneria Naturalistica sulla linea veloce RM-NA

Consolidamento di imbocchi gallerie per la mitigazione ambientale

Il trattamento dei versanti di approccio alla galleria è realizzato tramite l'inserimento di "viminate", mediamente alte non più di 0,50 m, posizionate per successivi orizzonti, in prima approssimazione ogni 2 - 2,5 metri di quota.

Tali viminate consentiranno il trattenimento del materiale proveniente da eventuali erosioni superficiali e faciliteranno il rinverdimento della trincea.

A ridosso dei pannelli di protezione antifolgorazione è previsto l'inserimento di **embrici** per la raccolta dell'acqua piovana di ruscellamento, che si prolungano sui fianchi dell'imbocco per il convogliamento dell'acqua al piede della galleria.

Ingegneria Naturalistica sulla linea veloce RM-NA

Consolidamento di imbocchi gallerie per la mitigazione ambientale

Sulla scarpata venutasi a creare per il posizionamento dell'embrice, è posta in opera una **mantellata**, costituita da un grigliato in elementi di cemento vibrato ad alta resistenza, disegnati in modo da mostrare spazi passanti in quantità non inferiore a $2/3$ della superficie complessiva dell'elemento, con bordi che presentano l'incastro reciproco degli elementi stessi..

Figura - Mitigazione Ambientale EM01 a Roma - galleria "Collatina" GN1A (da F. Boccalaro, 2006)

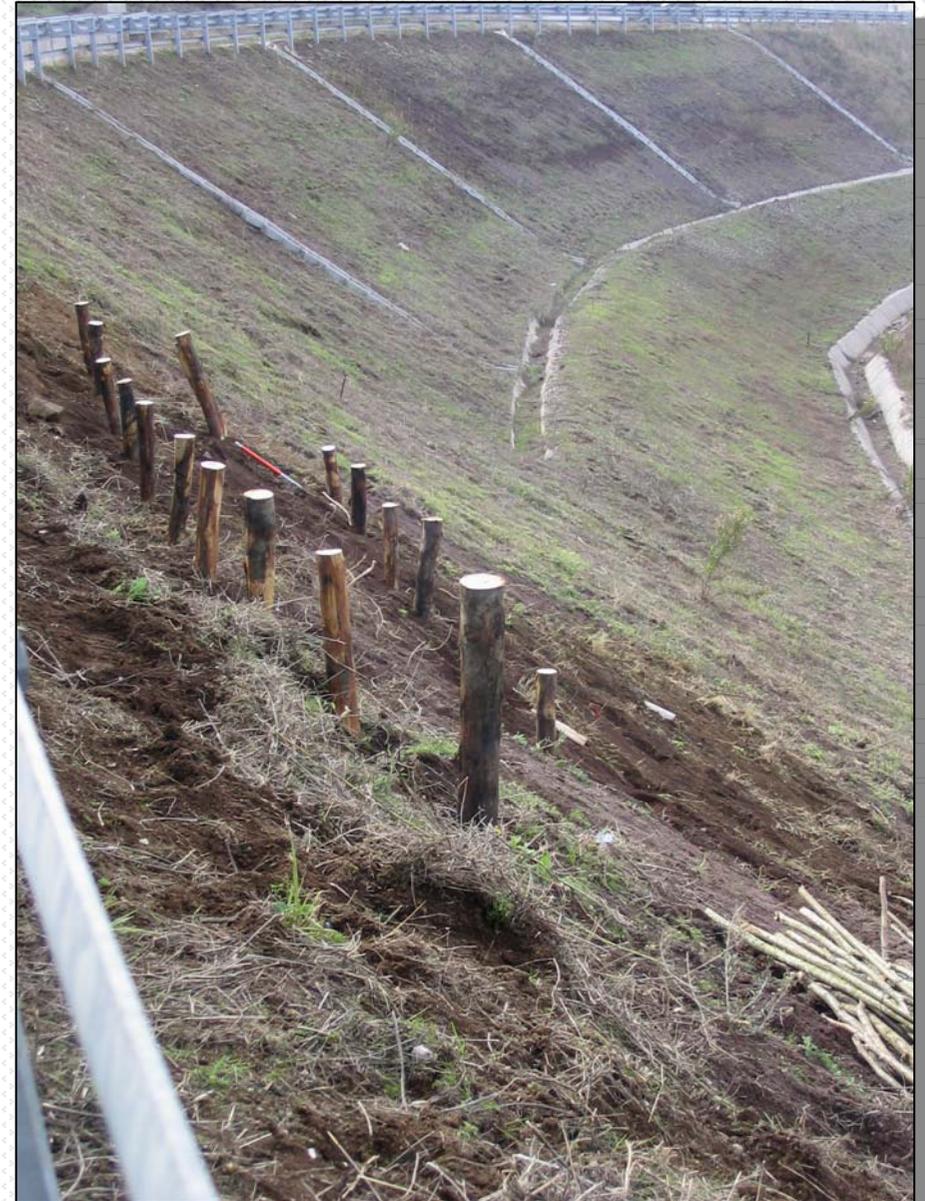


Figura - *Mitigazione Ambientale EM01 a Colonna - imbocco sud galleria "Massimo" GN02 (da F. Boccalaro, 2006)*



Figura - *Mitigazione Ambientale EM01 a S.Cesareo - imbocco nord galleria "Colli Albani" GN03 (da F. Boccalaro, 2006)*



Figura - *Mitigazione Ambientale EM06 a Caianello - imbocco nord galleria "Piccilli" GA50 (da F. Boccalaro, 2007)*



Figura - *Mitigazione Ambientale EM04 a Sgurgola - imbocco nord galleria "Sgurgola" GN10 (da F. Boccalaro, 2006)*



Figura - *Mitigazione Ambientale EM04 a Sgurgola - imbocco nord galleria "Sgurgola" GN10 (da F. Boccalaro, 2008)*



Ingegneria Naturalistica sulla linea veloce RM-NA

Bibliografia

- [1] Autori vari: "Accordo Procedimentale per la compatibilità ambientale della tratta AV Roma-Napoli" - MA, MT, TAV, FS, 1993
- [2] Autori vari: "Capitolato speciale per lavori di opere a verde e ripristini ambientali" - AIPIN, 1994
- [3] Bonifica: "Progetto costruttivo degli Interventi di Riambientazione e degli Interventi di Mitigazione Ambientale" - ITALFERR, 2004-2005.
- [4] Boccalaro F.: "Difesa del Territorio e Ingegneria Naturalistica" - FLACCOVIO, 2006.

Ingegneria Naturalistica sulla linea veloce RM-NA

Ringraziamenti

Si ringrazia l'arch. **Pietro Vicentini** (TAV) e l'arch. **Fabrizio Saltari** (ITALFERR) per la disponibilità data nel fornire informazioni gestionali, l'ing. **Paolo Cornelini** (AIPIN) per i suggerimenti progettuali di ingegneria naturalistica, la **Sorveglianza di Campo** di ITALFERR per l'assistenza in cantiere.

Ingegneria Naturalistica in Ferrovia

Recensione



GRAZIE PER L'ATTENZIONE

4 luglio 2008 - APAT Roma

**Ingegneria Naturalistica in ambito
Ferroviario**

Ingegnere Ambientale Federico Boccalaro
AIPIN socio esperto difesa suolo