

**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DELLA TUSCIA
VITERBO**

**Facoltà di Agraria
CORSO DI LAUREA IN SCIENZE FORESTALI**

Tesi di laurea

**"APPLICABILITÀ DI ALCUNE TECNICHE DI
INGEGNERIA NATURALISTICA NEL LAZIO"**

Relatore

Ing. Federico Preti

Laureando

Paolo
Matricola 1460

Prosperi

Controrelatore

Ing. Maurizio Carlini

Anno Accademico 1998-1999

INDICE

PREMESSA	7
INTRODUZIONE.....	9
CAPITOLO 1 : L'INGEGNERIA NATURALISTICA.....	12
1.1. COS'È L'INGEGNERIA NATURALISTICA (IN).....	12
1.2. LE RELAZIONI FRA LE TECNICHE D'IN E LE SISTEMAZIONI IDRAULICO-FORESTALI.....	19
1.3. ANALISI STORICA DELLO SVILUPPO DELL'IN IN ITALIA.....	23
1.4. LE TIPOLOGIE D'OPERA E GLI AMBITI APPLICATIVI.....	32
1.4.1. <i>I versanti</i>	32
1.4.2. <i>Le opere di versante</i>	36
1.4.2.1. <i>Inerbimenti</i>	36
1.4.2.1.1. La semina a spaglio.....	37
1.4.2.1.2. L'idrosemina (metodo BIANCO-VERDE).....	37
1.4.2.1.3. L'idrosemina con coltre protettiva di paglia e bitume (metodo NERO-VERDE o sistema SCHIECHTELN®).....	38
1.4.2.1.4. La semina con coltre protettiva di paglia (mulch).....	39
1.4.2.1.5. I tappeti erbosi.....	40
1.4.2.2. <i>Sistemi meccanici antierosivi</i>	41
1.4.2.2.1. Le reti.....	42
1.4.2.2.2. I feltri e le stuoie.....	43
1.4.2.3. <i>Opere intensive</i>	44
1.4.2.3.1. Le cordonate.....	44
1.4.2.3.2. Le gradonate.....	45
1.4.2.3.3. Le fascinate vive.....	47
1.4.2.3.4. Le fascinate drenanti.....	48
1.4.2.3.5. Le viminate.....	49
1.4.2.3.6. Le graticciate.....	52
1.4.2.3.7. Le palizzate.....	53
1.4.2.3.8. Le palificate vive in legname ad una parete.....	54
1.4.2.3.9. Le palificate vive in legname a parete doppia.....	56
1.4.2.3.10. Le grate vive (in legname con talee).....	59
1.4.2.3.11. Le terre armate (rinforzate).....	62
1.4.3. <i>I fiumi e i torrenti</i>	66
1.4.4. <i>Le opere di sistemazione idraulica</i>	69
1.4.4.1. <i>Opere in pietrame</i>	69
1.4.4.1.1. Le gabbionate e i materassi.....	69
1.4.4.1.2. Le scogliere.....	71
1.4.4.1.3. I pennelli.....	73
1.4.4.2. <i>Opere in legname e miste</i>	74
1.4.4.2.1. Le briglie in legname o legname e pietrame.....	75
1.4.4.2.2. Palificate vive in legname a parete doppia.....	77
1.4.4.3. <i>Opere di copertura diffusa</i>	78
1.4.5. <i>Le cave e le discariche</i>	79
1.4.6. <i>Le opere di rinaturalizzazione di cave e discariche</i>	80
CAPITOLO 2 : L'INGEGNERIA NATURALISTICA NEL LAZIO.....	83
2.1. CARATTERISTICHE PECULIARI DEL TERRITORIO REGIONALE.....	83
2.2. I MATERIALI DISPONIBILI.....	89
2.3. ALCUNI PRECEDENTI NEL LAZIO.....	92
2.4. LA NORMATIVA REGIONALE.....	94
CAPITOLO 3 : IL MONITORAGGIO DELLE OPERE.....	106
3.1. LO SCOPO DEL MONITORAGGIO.....	106
3.2. IL MONITORAGGIO COME INSIEME DI CRITERI DI VALUTAZIONE.....	107
3.3. I CRITERI APPLICABILI ALLE VARIE TIPOLOGIE DI CANTIERE.....	118

CAPITOLO 4 : I CASI DI STUDIO.....128

4.1. I CRITERI DI SCELTA DEI CASI DI STUDIO.....	128
4.2. LE AREE DI STUDIO.....	134
4.2.1. <i>Rio Fontanelle</i>	135
4.2.1.1. Caratteristiche generali.....	135
4.2.1.2. Analisi delle precedenti sistemazioni idrauliche.....	136
4.2.1.3. Lo stato e i rischi della situazione ante-operam.....	138
4.2.1.3.1. Caratteristiche idrauliche.....	138
4.2.1.3.2. Caratteristiche socio-ambientali.....	139
4.2.1.3.3. I problemi ricorrenti e i rischi potenziali.....	139
4.2.1.4. L'esecuzione degli interventi (lo stato in-opera).....	140
4.2.1.5. Il risultato finale (lo stato post-operam).....	144
4.2.2. <i>Rio Inferno</i>	145
4.2.2.1. Caratteristiche generali.....	145
4.2.2.2. Analisi delle precedenti sistemazioni idrauliche.....	145
4.2.2.3. Lo stato e i rischi della situazione ante-operam.....	148
4.2.2.3.1. Caratteristiche idrauliche.....	148
4.2.2.3.2. Caratteristiche socio-ambientali.....	149
4.2.2.3.3. I problemi ricorrenti e i rischi potenziali.....	150
4.2.2.4. L'esecuzione degli interventi (lo stato in-opera).....	151
4.2.2.5. Il risultato finale (lo stato post-operam).....	154
4.2.3. <i>Rio Mandrinello</i>	154
4.2.3.1. Caratteristiche generali.....	154
4.2.3.2. Analisi delle precedenti sistemazioni idrauliche.....	155
4.2.3.3. Lo stato e i rischi della situazione ante-operam.....	156
4.2.3.3.1. Caratteristiche idrauliche.....	156
4.2.3.3.2. Caratteristiche socio-ambientali.....	157
4.2.3.3.3. I problemi ricorrenti e i rischi potenziali.....	157
4.2.3.4. L'esecuzione degli interventi (lo stato in-opera).....	158
4.2.3.5. Il risultato finale.....	159
4.2.4. <i>Rio Saetta</i>	161
4.2.4.1. Caratteristiche generali.....	161
4.2.4.2. Analisi delle precedenti sistemazioni idrauliche.....	161
4.2.4.3. Lo stato e i rischi della situazione ante-operam.....	163
4.2.4.3.1. Caratteristiche idrauliche.....	163
4.2.4.3.2. Caratteristiche socio-ambientali.....	164
4.2.4.3.3. I problemi ricorrenti e i rischi potenziali.....	165
4.2.4.4. L'esecuzione degli interventi (lo stato in-opera).....	166
4.2.4.5. Il risultato finale (lo stato post-operam).....	171
4.2.5. <i>Rio Valleluce</i>	174
4.2.5.1. Caratteristiche generali.....	174
4.2.5.2. Analisi delle precedenti sistemazioni idrauliche.....	175
4.2.5.3. Lo stato e i rischi della situazione ante-operam.....	176
4.2.5.3.1. Caratteristiche idrauliche.....	176
4.2.5.3.2. Caratteristiche socio-ambientali.....	177
4.2.5.3.3. I problemi ricorrenti e i rischi potenziali.....	177
4.2.5.4. L'esecuzione degli interventi (lo stato in-opera).....	179
4.2.5.5. Il risultato finale (lo stato post-operam).....	182

CAPITOLO 5 ANALISI DEI PROGETTI.....184

5.1. INTRODUZIONE.....	184
5.2. I PROGETTI PRELIMINARI.....	185
5.2.1. <i>Rio Inferno</i>	185
5.2.2. <i>Rio Saetta</i>	186
5.2.3. <i>Rio Valleluce</i>	187
5.3. I PROGETTI ESECUTIVI.....	190
5.3.1. <i>Rio Fontanelle</i>	193

5.3.2. <i>Rio Mandrinello</i>	200
5.3.3. <i>Rio Inferno</i>	205
5.3.4. <i>Rio Saetta</i>	207
5.3.5. <i>Rio Valleluce</i>	209
5.4. APPROFONDIMENTO DELL'ANALISI DEL PROGETTO DI UN CASO DI STUDIO.....	212
CAPITOLO 6 : CONCLUSIONI	222
6.1. L'APPLICABILITÀ DELLE TECNICHE DI IN NEL LAZIO SULLA BASE DEI RISULTATI.....	222
6.2. LE DIFFICOLTÀ DI PROGETTAZIONE E DI CANTIERE.....	227
BIBLIOGRAFIA	232

Introduzione

Negli ultimi anni, il progressivo aumento della consapevolezza dei danni che l'uomo provoca all'ambiente con le proprie attività ha indotto la comunità internazionale a moltiplicare gli sforzi verso la ricerca di possibili rimedi alle problematiche più varie e urgenti, dalla conservazione dei siti naturali, alla limitazione di ulteriori effetti negativi (come l'inquinamento, l'erosione dei suoli, ecc.), al ripristino di determinati ambienti; tema, quest'ultimo, estremamente complesso, perché tali sono le interazioni ed i processi che legano le varie componenti degli ecosistemi.

Un contributo molto significativo al perseguimento dell'obiettivo del recupero ambientale può venire dall'ingegneria naturalistica, un insieme di discipline tecniche indirizzate soprattutto agli interventi di tutela idrogeologica del territorio, che pone come proprio fondamento metodologico il rispetto, la ricostituzione e la rinaturalizzazione dell'ambiente tramite il larghissimo impiego di materiali naturali viventi (come le piante) e non viventi naturali (come il pietrame, il legname), ma anche di materiali artificiali di varia origine e degradabilità.

Il presente studio è stato realizzato col preciso obiettivo di contribuire all'analisi dell'applicabilità delle tecniche di ingegneria naturalistica al di fuori delle sue zone d'origine (centro Europa), nelle aree del nostro Paese che maggiormente presentano un clima mediterraneo e in particolare nel Lazio, regione nella quale sinora si è preferito di gran lunga intervenire con tecniche tradizionali a forte impatto e che ha visto uno sviluppo urbanistico tra i più dirompenti in Italia, oltre a detenere una delle prime posizioni nella classifica nazionale della densità abitativa.

Dall'applicabilità dell'ingegneria naturalistica nel Lazio potrebbe derivare un'indicazione sulla sua possibile ulteriore diffusione nel resto del territorio nazionale.

Materiali e metodi

L'obiettivo di voler stabilire un criterio di discernimento tra la trasferibilità o meno dell'ingegneria naturalistica nel centro Italia è stato perseguito innanzitutto facendo riferimento a precisi elementi riscontrabili in campo, con la raccolta di dati di alcuni cantieri in corso di realizzazione nell'arco di alcuni mesi, secondo una metodologia che verrà illustrata più avanti.

L'occasione per un simile lavoro è stata fornita dall'attività della Regione Lazio che negli ultimi anni, grazie anche al finanziamento derivante da Leggi regionali e nazionali emanate a seguito di alcuni gravi eventi atmosferici, ha appaltato una cinquantina d'opere di ripristino del territorio.

Un così gran numero di cantieri ha indotto gli amministratori regionali a promuovere e finanziare anche un'attività di studio ("monitoraggio") sull'efficacia degli interventi di ingegneria naturalistica nel Lazio, in previsione della stesura di un manuale tecnico da utilizzare in futuro per la realizzazione di ulteriori opere.

Questo studio è stato affidato all'Università della Tuscia e ad una società privata (Naturstudio) per mezzo di una apposita convenzione firmata da tutte le parti.

Dunque, la realizzazione del presente lavoro è stata resa possibile anche grazie ai dati e all'elaborazione di essi proveniente dall'azione di monitoraggio.

Giacché numerosi progetti approvati dalla Regione Lazio per mezzo di un'apposita commissione regionale non prevedevano un utilizzo effettivo e pieno delle tecniche di ingegneria naturalistica, la prima operazione che si è resa necessaria per l'inizio del monitoraggio è stata quella di effettuare una selezione dei progetti. Come prima fase si è dovuto quindi procedere alla eliminazione dei progetti meno interessanti tra tutti quelli appaltati.

Per poter effettuare una selezione su base univoca, è stato pertanto necessario caratterizzare ciascun progetto con parametri ben definiti. Si sono a tal proposito scelti i seguenti:

località; bacino; sottobacino; zona fitoclimatica; ambito (area urbana, rurale, protetta); importo complessivo dei lavori; importo dei lavori di ingegneria

naturalistica; tempi di apertura dei cantieri; tipologie di interventi; tipologie di opere di ingegneria naturalistica; interesse al monitoraggio; tempi di attuazione.

Si sono potuti così scartare tutti quegli elaborati che presentavano una percentuale minima o nulla di opere di ingegneria naturalistica sul totale delle opere previste (anche in rapporto alla spesa complessiva stabilita per ciascun intervento), quelli i cui tempi di realizzazione rimanevano indefiniti (la convenzione è soggetta a scadenza) e infine quelli scarsamente interessanti perché ripetitivi di tipologie d'opera già incluse in altri progetti. Per poter pervenire il più semplicemente possibile ad un giudizio equilibrato, si è approntato anche un quadro sinottico dei cantieri, così da poter avere una visione istantanea e precisa delle caratteristiche di ciascun cantiere.

I cantieri dai quali effettivamente si sono tratte le informazioni necessarie per la stesura di quanto qui riportato sono stati cinque, tutti situati nelle zone immediatamente adiacenti alla città di Cassino (FR) e tutti riguardanti interventi di consolidamento, recupero e rinaturalizzazione di ambiti fluviali e torrentizi.

Gli altri dodici progetti selezionati, sebbene anch'essi sottoposti a monitoraggio, non rientrano nei risultati dello studio di cui qui si discute.

Per entrare nel dettaglio dei singoli progetti, si possono riassumere le tipologie d'opera previste come segue:

- Rio Fontanelle: costruzione di due palificate vive doppie; rinaturalizzazione delle sponde con inserimento di talee semplici; meandrificazione della savanella, previa demolizione della preesistente in cemento
- Rio Inferno: meandrificazione della nuova savanella, da scavare; rivestimento del fondo con pietrame e delle sponde con fascine; protezione del piede delle scarpate con pietrame e talee; creazione di filari arborei sulla sommità delle sponde; creazione di tre palificate vive doppie
- Rio Mandrinello: costruzione di una scogliera viva su ciascuna delle sponde; costruzione di una gabbionata viva e di una soglia di fondo in gabbioni

- Rio Saetta: costruzione di gabbionate, palificate doppie e scogliere vive a protezione delle sponde dall'erosione; realizzazione di rampe di risalita in pietrame in corrispondenza di vecchie soglie e briglie
- Rio Valleluce: realizzazione di protezioni spondali in gabbioni rinverditi; posa di materassi rinverditi e non per la protezione delle sponde e del fondo.

La buona riuscita di un intervento di ingegneria naturalistica dipende da moltissimi fattori e tra gli altri: la correttezza nella scelta delle tipologie d'opera, delle specie vegetali, del periodo di impianto, dei materiali inerti, la cura nella messa in opera delle piante e della loro manutenzione nel tempo, e così via.

Tutti questi elementi contribuiscono in maniera sostanziale al successo di un cantiere naturalistico, ma possono anche portare a falsare il risultato finale di un giudizio di trasferibilità dell'ingegneria naturalistica se di essi non si tiene in giusta considerazione l'importanza.

Per questo motivo, e vista la sostanziale novità dell'ingegneria naturalistica nel nostro Paese (escluse alcune regioni), ancor prima di iniziare l'opera vera e propria di verifica in campo dei lavori, è stato necessario analizzare nel dettaglio le caratteristiche tecniche delle singole tipologie d'opera secondo quanto riportato nella letteratura esistente.

Si è perciò fatto riferimento ai manuali tecnici già editi dalle Regioni Liguria, Emilia-Romagna e Veneto e ad altri testi meno specifici, come quelli riguardanti più in generale le sistemazioni idraulico-forestali.

Naturalmente, si è anche tenuto conto dei risultati di precedenti esperienze italiane di altre regioni, soprattutto del nord, nelle quali si è potuta sperimentare nel tempo (anche decenni) l'efficacia dell'ingegneria naturalistica. Alcuni dei dati così raccolti hanno permesso un confronto, di cui si dirà, tra le caratteristiche strutturali ed ambientali delle opere eseguite nel Lazio e quelle realizzate nelle suddette regioni.

Un punto di fondamentale importanza è stato inoltre lo studio approfondito dei progetti (inclusi gli elaborati grafici) in via di realizzazione nei cantieri regionali.

Oltre a notizie riguardanti lo stato antecedente l'inizio dei lavori, infatti, si sono potute reperire informazioni tecniche sulle caratteristiche idrauliche delle acque dei torrenti oggetto degli interventi e su quelle idrologiche delle zone di cantiere.

Un'indagine più approfondita dei testi, alcuni dei quali risalenti anche all'inizio del '900, ha inoltre permesso la stesura di un interessante paragrafo sullo sviluppo storico dell'ingegneria naturalistica in Italia. L'analisi di quanto raccolto durante la ricerca ha permesso di giungere alla conclusione di come l'ingegneria naturalistica, seppure in embrione, fosse abbondantemente praticata come insieme di tecniche per la manutenzione del territorio già dai monaci benedettini, che nel '700 coltivavano estesamente la Valle Latina e ne regolavano le abbondanti acque.

Dunque, più che di trasferibilità o applicabilità, dovrebbe parlarsi di una riscoperta dell'ingegneria naturalistica nel Lazio.

Lo scopo di questo monitoraggio è di poter ottenere una quantità di informazioni sulle tecniche di realizzazione delle opere di ingegneria naturalistica tale da consentire una successiva valutazione sull'applicabilità di tali tecniche nell'ambito del territorio regionale del Lazio. Ciò si rende necessario per la carenza di dati relativi ad opere di ingegneria naturalistica realizzate al di fuori delle zone di origine e sviluppo dell'ingegneria naturalistica stessa e per la sostanziale novità delle tecniche nel centro e sud Italia.

L'attuale fase di ripresa dell'attività delle sistemazioni idrauliche in tutto il Paese e il grande impulso, testimoniato se non altro dall'alto numero di cantieri, che sta avendo proprio l'ingegneria naturalistica, consentono una scelta piuttosto ampia sulle tipologie di opere da monitorare.

Il monitoraggio è stato realizzato nel suo complesso da un gruppo di lavoro costituito da studenti dell'Università della Tuscia di Viterbo, coinvolti a vario titolo, e da esperti dell'ingegneria naturalistica per lo più provenienti dall'AIPIN, l'associazione italiana per l'ingegneria naturalistica.

E' ora opportuno chiarire cosa si intenda per monitoraggio: l'UNESCO lo definisce come "un'attività standardizzata di misura ed osservazione dell'ambiente".

Dalla formulazione generale si è poi partiti per la definizione di quale metodo di monitoraggio adottare nel caso in oggetto.

Nonostante fosse già nota una precedente esperienza (Regione Toscana) proprio in materia di ingegneria naturalistica [2], per la diversa finalità del lavoro e delle stesse premesse, si è optato per la creazione di una metodologia di monitoraggio del tutto originale, la cui efficacia ha richiesto anche una attenta sperimentazione in campo.

Un monitoraggio, di qualsiasi tipo esso sia, deve prendere in considerazione dei parametri ben precisi e possibilmente quantificabili, in modo tale da eliminare quella aleatorietà che può derivare da giudizi personali del monitoratore.

I parametri stessi sono inoltre stabiliti sulla base di criteri fondamentali, come ad esempio la finalità ultima del monitoraggio, che determinano in modo inequivoco quale aspetto considerare. Ebbene, per il monitoraggio dei cantieri qui presentati, tenuta presente la finalità del lavoro di raccolta dei dati e cioè la realizzazione di un manuale tecnico, si sono affrontate le tre fasi dei lavori (*ante-operam* laddove possibile, *in-opera* e *post-operam*, quest'ultima ancora da considerare) e numerosi parametri per ciascuna fase.

Con l'attuale testo della convenzione, non si è ritenuto essenziale un monitoraggio dei costi di ciascuna tipologia d'opera, anche perché, nel caso del Lazio, la decisione di effettuare il monitoraggio e di utilizzarne i risultati per la realizzazione di un manuale tecnico d'ingegneria naturalistica è stata successiva alla assegnazione degli importi d'appalto e all'espletamento della relativa gara.

In secondo luogo, si è scelto un carattere temporale periodico nella raccolta dei dati stazionali e di cantiere. Questo ha comportato una presenza dei monitoratori in cantiere nelle tre fasi di avanzamento dei lavori e non già un presenziamento costante dei cantieri stessi. Questi ultimi, infatti, per la loro ampia distribuzione all'interno del territorio regionale, unita alla numerosità, hanno reso quasi obbligata questa scelta.

Inoltre, visto che tra gli obiettivi del monitoraggio c'è anche la verifica delle difficoltà e delle effettive problematiche connesse all'attecchimento del materiale vegetale, è apparso a tutti inutile un'attività di controllo e misura di tipo continuo.

Per rendere quanto più uniforme ed imparziale la raccolta dei dati da parte dei monitoratori, si è pensato alla stesura di due diversi tipi di schede per le prime due fasi di cantiere (*ante-operam* ed *in-opera*), mentre per la fase *post-operam*, visto il testo della convenzione regionale ed il tipo di opere ingegneristiche, si è preferito attendere e per essa non è pertanto attualmente disponibile una scheda.

Nonostante ciò, anche per l'avanzamento dei lavori ed il completamento di alcuni cantieri, si è comunque proceduto ad effettuare diversi sopralluoghi (con raccolta di una documentazione fotografica coerente con le visite precedenti).

Il tipo di lavoro, la sostanziale inesperienza dei monitoratori e la novità della metodologia hanno richiesto la verifica e l'aggiustamento (sperimentazione) delle schede in campo, sino alla versione definitiva, per adattarle alla realtà e specificità dei cantieri.

La scheda *ante-operam* è stata suddivisa in tre parti distinte: la prima analizza nel dettaglio i dati di progetto, la seconda le caratteristiche dell'impresa esecutrice dei lavori, la terza il vero e proprio stato *ante-operam* di ciascuna sezione di progetto scelta (sulla base della tipologia d'opera prevista), anche con dettagli di carattere idraulico.

Queste scelte di fondo si basano su concetti piuttosto semplici: la conoscenza dei dati di progetto consente una analisi della qualità complessiva dei progetti stessi ed una valutazione sull'attenzione posta alle problematiche connesse all'impiego dell'ingegneria naturalistica, come ad esempio la presenza o meno di paragrafi "dedicati" al trattamento del materiale vegetale vivente nel capitolato speciale d'appalto.

La compilazione di questa parte delle schede ha naturalmente richiesto il reperimento, peraltro non sempre facile, dei progetti definitivi e di quelli preliminari, ai quali i progettisti spesso rimandano per tutta una serie di dati.

La seconda parte, riguardante le caratteristiche dell'impresa esecutrice, consente invece di ottenere un'idea, seppure approssimata, delle dimensioni e della struttura delle imprese ovvero della loro capacità di fornire al committente un servizio completo, dalla progettazione, alla direzione lavori e così via.

La terza parte permette di valutare lo stato dei luoghi prima dell'apertura dei cantieri e quindi gli eventuali danni o miglioramenti che i lavori causeranno su di essi.

Queste informazioni sono di fondamentale importanza sia durante i lavori che dopo il loro completamento, perché autorizzano la Direzione Lavori ad apportare modifiche sostanziali al progetto (le cosiddette *varianti in corso d'opera*) — per esempio sostituendo una specie esotica con una locale — ed al committente di contestare eventuali modifiche peggiorative allo stato e alla sicurezza dei luoghi.

Controllare da vicino tutti questi aspetti ed indicare nel manuale tecnico la giusta strada consente, un domani, di evitare di ripetere gli stessi errori sia in fase di realizzazione, sia, cosa molto più importante, in fase di progettazione.

Le schede *ante-operam* sono state pensate per poter essere utilizzate tal quali in tutti i cantieri, indipendentemente dalle tipologie d'opera previste da progetto, perché riguardano una fase comune ad essi.

Le schede *in-opera*, invece, sono state costruite in modo sostanzialmente differente, pur mantenendo la caratteristica dell'unicità.

Dalla selezione iniziale dei cantieri da sottoporre a monitoraggio, di cui si è già detto, sono state individuate una serie di tipologie d'opera di ingegneria naturalistica, incluse in quei cantieri, ciascuna con la propria specificità.

Per evitare di dover confrontare, a fine monitoraggio, tante schede quanti sono i cantieri, e dunque di dover creare tante schede differenti, si è scelto di includere tutte le tipologie d'opera in un unico foglio e, per ciascuna, di verificare i seguenti parametri:

- la rispondenza delle opere in corso di realizzazione al progetto;
- la reperibilità e disponibilità dei materiali vegetali (talee e piante);

- la gestione del materiale vivo di nuovo impianto;
- la gestione del materiale vegetale preesistente al cantiere;
- le specie vegetali usate;
- le dimensioni del materiale legnoso vivo (piante, talee, ramaglie);
- le dimensioni del materiale legnoso morto;
- le dimensioni del materiale acciaioso, ferroso e lapideo;
- il periodo d'impianto delle specie vegetali.

Ed infine alcuni parametri riguardanti il cantiere più in generale:

- l'organizzazione del cantiere;
- la sicurezza;
- il numero di operai.

Come nel precedente, anche in questo caso, si è cercato in tutti i modi di evitare quanto più possibile l'aleatorietà dei giudizi dei singoli monitoratori e si è perciò pensato di attribuire a ciascun parametro un valore da 1 a 5, da stabilire sulla base di apposite scale di valutazione.

Il punteggio rispecchia i livelli di variabilità dei diversi parametri. Laddove si è ritenuto che il parametro considerato potesse assumere e consentire di distinguere effettivamente cinque livelli di merito, per quel parametro, nella scala di valutazione, sono stati inseriti cinque punti (1,2,3,4,5, ciascuno relativo ad un preciso giudizio); laddove invece le differenze tra un livello di merito e l'altro avessero potuto introdurre un elemento di confusione, sono stati inseriti solo tre punti (1,3,5).

La somma dei punti attribuiti a ciascun parametro per singola tipologia d'opera consente di stilare una graduatoria, suddivisa in classi, che rispecchierà la migliore o peggiore esecuzione delle opere stesse. Il metodo seguito per trovare il valore discriminante per il passaggio da una classe all'altra è indicato nella Tabella 1.

Tabella 1: il sistema di calcolo delle classi di merito

La semplice formula utilizzata per ricavare il valore discriminante tra una classe di merito e la successiva è la seguente:
valore discriminante = (punteggio massimo possibile – punteggio minimo possibile) / numero di classi desiderate.

Si mostra ora il calcolo nel caso si voglia avere una graduatoria a dieci classi e sedici criteri:

- ◆ punteggio massimo ottenibile per una certa opera = **80** (5 - *punteggio massimo per ogni singola fase* - x **16** *criteri di analisi*)
- ◆ punteggio minimo ottenibile = **16** (1 - *punteggio minimo per ogni singola fase* – x **16** *criteri*)

Dalla formula suddetta si ottiene **(80 – 16) /10 = 6,4** che costituisce il valore discriminante per il passaggio da una classe all'altra.

Avremo quindi la seguente:

Graduatoria delle singole opere	
Intervallo di punteggio	Classe
0 ÷ 6,4	1ª classe
6,4 ÷ 12,8	2ª classe
12,8 ÷ 19,2	3ª classe
.....	
57,6 ÷ 64	10ª classe

Si calcoli ora la somma dei punteggi ottenuti dalle singole fasi di una certa opera e si abbia ad esempio 18; confrontando questo valore con quelli della graduatoria si vede che l'opera rientra nella terza classe; lo stesso calcolo può essere eseguito per tutte le opere del cantiere ottenendosi in questo modo una valutazione opera per opera della bontà del lavoro eseguito.

Ai fogli della scala di valutazione e dei punteggi si è aggiunta una pagina contenente informazioni sulla Direzione Lavori, sull'impresa e sui mezzi da essa impiegati effettivamente in cantiere, sulle specie usate, le loro dimensioni reali e l'effettivo periodo d'impianto.

Come è facile capire, la verifica delle dimensioni dei materiali utilizzati consente di contestare immediatamente eventuali sottodimensionamenti ed è in effetti compito della Direzione Lavori controllare che i lavori vengano eseguiti a regola d'arte. Nell'ottica del monitoraggio, tuttavia, il controllo risulta particolarmente utile per evidenziare i più comuni errori di realizzazione, come ad esempio può accadere nel diametro insufficiente dei tronchi di una palificata o nell'uso errato di chiodi anziché tondini di ferro nel fissaggio dei tonchi.

Il lavoro del monitoraggio non è stato l'unico portato avanti per il raggiungimento dell'obiettivo finale. Si è infatti ritenuto che anche una verifica sui criteri di dimensionamento e le condizioni di scelta delle opere progettate nel Lazio ed un loro confronto con altre realtà di precedenti esperienze italiane potesse dare

utili indicazioni in merito.

Tale confronto è stato pertanto impostato sulla base di un interessante lavoro di Sauli sul Fiume Toce (riportato in [1]), dal quale si è tratta, con modifiche, la Tabella 2 che segue.

In essa si ritrovano tutte le tipologie del Toce in corrispondenza delle velocità della corrente e diametro del trasporto solido per le quali sono state previste ed inoltre, in ultima colonna e collocate con lo stesso criterio, le tipologie utilizzate nei cinque casi di studio qui presi in considerazione.

Per l'inserimento di questi ultimi in tabella, ad esclusione del Rio Inferno, si sono utilizzate le velocità della corrente indicate nei progetti. Per il Rio Inferno, invece, si è reso necessario un nuovo calcolo della velocità a causa della differenza tra la portata utilizzata per le verifiche idrauliche di ciascuna tipologia e la portata di progetto (più alta). Dalla scala di deflusso riportata in progetto, con Excel si è estrapolata per regressione l'equazione che lega la portata alla velocità, poi si è sostituita la portata di progetto (Q_{50}) e si è ricavata la velocità voluta. I risultati così ottenuti per le sezioni considerate sono stati impiegati per l'inserimento delle tipologie d'opera in esse previste nella tabella del Toce. Tuttavia, con i dati propri della sezione 2 di progetto si è ricavata una pessima regressione, che poteva però essere sensibilmente migliorata escludendo alcuni valori della scala di deflusso. Si è dunque perseguita questa strada e, per contro, si è ottenuta una legge $Q-v$ per la quale, alla portata Q_{50} , corrisponde una velocità della corrente molto alta, circa $8 \text{ m}^3/\text{s}$. Vista il risultato, le tipologie della sezione 2 sono state inserite nella tabella in parentesi graffe, indicando con ciò che la probabile particolarità della sezione determina una non corrispondenza con quanto realizzato sul Toce.

I risultati dello studio comparativo sono discussi nel paragrafo successivo.

Tabella 2: da Sauli "Piano stralcio per il fiume Toce" 1993 (modificato da [1]). Nelle ultime celle a destra sono riportate le tipologie d'opera (tutte in ambito idraulico) previste nei cinque casi di studio. Le tipologie che si discostano da quanto riportato da Sauli sono rese riconoscibili dall'uso di un carattere sottolineato.

	TIPOLOGIA INTERVENTI				
STABILIZZAZIONE DEI VERSANTI			SEMINE, SEMINE POTENZIATE MESSA A DIMORA DI TALEE MESSA A DIMORA DI ARBUSTI STUOIE SU VERSANTE GEOCELLE A NIDO D'APE RIVESTIMENTI IN RETE METALLICA E STUOIE VIMINATA FASCINATA GRADONATA CORDONATA PALIZZATA CUNEO FILTRANTE GRATA VIVA SU SCARPATA PALIFICATA VIVA GABBIONATA MATERASSO VERDE MURO CELLULARE RINVERDIOTO		
RIVESTIMENTO - CONSOLIDAMENTO O SPONDE	SEMINE, IDROSEMINI, SEMINE A SPESSORE / BIOSTUOIE, BIOFELTRI / GEOSTUOIE TRIDIMENSIONALI, SINTETICHE / GEOSTUOIE TRIDIMENSIONALI, SINTETICHE, BITUMATE / GEOCOMPOSITO IN RETE METALLICA E GEOSTUOIA TRIDIMENSIONALE / MESSA A DIMORA DI TALEE LEGNOSE / PIANTAGIONE DI ARBUSTI / TRAPIANTO DI CESPI E RIZOMI / COPERTURA DIFFUSA CON RAMAGLIA VIVA / VIMINATA VIVA / FASCINATA VIVA / GRADONATA VIVA / GRATICCIATA DI RAMAGLIA / RIBALTA VIVA / GRATA VIVA / PALIFICATE VIVE / PENNELLO VIVO / TRAVERSA VIVA / RULLI SPONDALI / GABBIONATA RINVERDITA / MATERASSO RINVERDITO / TERRE RINFORZATE VERDI / MURO A SECCO RINVERDITO / MURO CELLULARE RINVERDITO / RAMP A BLOCCHI / BLOCCHI INCATENATI		PALIFICATE VIVE SPONDALI / PENNELLO VIVO / GABBIONATA SPONDALE / MATREASSO RINVERDITO / MURO CELLULARE RINVERDITO / BLOCCHI INCATENATI	OPERE RIGIDE IN CLS GABBIONATA SPONDALE RINVERDITA/MUR O A SECCO RINVERDITO/ MURO CELLULARE RINVERDITO / BLOCCHI INCATENATI / RAMP A BLOCCHI	OPERE RIGIDE IN CLS GABBIONATA SPONDALE RINVERDITA/M MURO A SECCO RINVERDITO/ MURO CELLULARE RINVERDITO / BLOCCHI INCATENATI
MODIFICHE MORFOLOGIA CORSO D'ACQUA	AMPLIAMENTO SEZIONE / CASSE DI ESPANSIONE/ RECUPERO VECCHI MEANDRI / IMPALUDAMENTI AREE FOCE	AMPLIAMENTO SEZIONE / CASSE DI ESPANSIONE / RECUPERO VECCHI MEANDRI	AMPLIAMENTO SEZIONE / CASSE DI ESPANSIONE	AMPLIAMENTO SEZIONE / CASSE DI ESPANSIONE	
RINATURAZIONE - RICOSTRUZIONE BIOTOPUMIDI	OTTIMALE	BUONA	PARZIALE		
PROVVEDIMENTI USO FAUNISTICO	TANE PER AVIFAUNA SU SPONDE VERTICALI / STAGNI RIPRODUZIONE DI ANFIBI	RAMP A BLOCCHI / SCALE DI RISALITA	RAMP A BLOCCHI / SCALE DI RISALITA	RAMP A BLOCCHI	RAMP A BLOCCHI
TIPOLOGIE DI PROGETTO NEI CINQUE CASI DI STUDIO (F=Fontanelle; I=Inferno; M=Mandrinello; S=Saetta; V=Valleluce)	FASCINATA VIVA-I/ CIOTTOLI E GHIAIA-I/ COTICI ERBOSI-I/ TALEE E ARBUSTI-I	PALIFICATA VIVA DOPPIA-I/ FASCINATA VIVA-I/ PIETRAME-I	GABBIONATA RINVERDITA-S/ SCOGLIERA RINVERDITA-S/ PALIFICATA VIVA DOPPIA-S	<u>MATERASSI</u> <u>RINVERDITI</u> <u>(RENO)-V/</u> GABBIONATE RINVERDITE-V	SCOGLIERA RINVERDITA-M/ GABBIONATA RINVERDITA-M-S/ <u>MESSA A DIMORA DI</u> <u>TALEE LEGNOSE-F/</u> SCOGLIERA RINVERDITA-F/ <u>PALIFICATA VIVA</u> <u>DOPPIA-S/</u> (fascinata viva-I/ talee arbusti-I/ palificata viva doppia-I/ pietrame-I/cotici erbosi-I)

Risultati

Per quanto riguarda il monitoraggio, i tempi necessari al raggiungimento di un risultato definitivo sono piuttosto lunghi (devono passare alcuni anni dalla fine dei lavori per poter determinare con ragionevole certezza se gli interventi hanno avuto successo o meno). Per questo, sin dall'inizio, si è pensato ad una fase *post-operam* molto spostata nel tempo.

Tuttavia è possibile elaborare già da ora alcune considerazioni sulla base dei dati e delle osservazioni sinora raccolti durante i molti mesi di sopralluoghi nei cantieri.

In primo luogo, si è potuto notare come le imprese vincitrici degli appalti non fossero specializzate in lavori di tipo naturalistico, ma anzi provenissero tutte dal settore edile e dei lavori stradali. La specializzazione è una delle opportunità più grandi per le imprese, che così raggiungono un'elevata capacità realizzativa ed un'efficienza essenziali nell'ingegneria naturalistica. Inoltre, vanno a colmare quei settori di nicchia del mercato che spesso si rivelano i più interessanti anche perché nuovi.

Le conseguenze della bassa specializzazione delle imprese si sono potute notare sotto molti punti di vista: mancato rispetto delle prescrizioni fondamentali dell'ingegneria naturalistica (inserimento delle talee durante la costruzione delle opere e non successivamente), realizzazione non ottimale delle strutture rigide (palificate, gabbioni, ecc.), scelta discutibile di alcune specie vegetali vive, manutenzione a fine lavori carente o inesistente. Un esempio di quanto sopra è dato dalla Figura 1.



Figura 1: realizzazione non ottimale di un'opera di ingegneria naturalistica (palificata doppia) nel cantiere sul Rio Saetta. Tra gli elementi negativi, la dimensione ridotta del pietrame a protezione del piede e del legname utilizzato, l'assenza di talee e la mancanza di un geotessuto o di pietrame sul paramento interno per evitare la fuoriuscita del terreno di riempimento. Foto luglio 1999

In secondo luogo, si è accertata l'inadeguatezza del sistema degli appalti nella realizzazione di opere naturalistiche. Una delle condizioni fondamentali per la buona riuscita di queste ultime, infatti, è che il materiale vegetale vivo venga messo in opera nella stagione più adatta. Per fare un esempio, nel cantiere del Rio Saetta i lavori sono iniziati nell'estate del 1999, determinando, tra l'altro, l'impossibilità d'impianto delle talee (messe in opera solo nel gennaio 2000 ed in modo non ottimale).

Parimenti negativi sono i giudizi circa le interruzioni dei lavori determinate dalla necessità di redigere varianti in corso d'opera. Sia il cantiere del Rio Mandrinello che quello del Rio Fontanelle sono attualmente (anno 2000) fermi per questa ragione, proprio nel momento in cui invece (come è apparso da un recente sopralluogo) sarebbero di fondamentale importanza degli interventi di manutenzione e cura sulle porzioni di opere già realizzate.

Venendo ora alla Tabella 2 sopra riportata, si nota come, al di là di quanto già esposto in merito al risultato del Rio Inferno, la percentuale di tipologie d'opera che si

discostano per condizioni d'impiego da quanto già realizzato da Sauli sul Fiume Toce è molto bassa. I casi segnalati, infatti, si riducono ad un paio di tipologie previste e successivamente realizzate sul Rio Saetta ed in particolare alle condizioni della velocità della corrente.

Queste differenze rispetto al Toce (che si trova in Piemonte) potrebbero trovare spiegazione nella necessità dei progettisti di effettuare scelte alternative per rispondere a diversità intrinseche tra i territori delle due regioni; oppure, nel caso dei sotto-dimensionamenti, a considerazioni sulla possibilità che le piene con tempi di ritorno di pochi decenni comunque provochino dei danni alle opere d'ingegneria naturalistica senza determinare per questo condizioni di rischio eccessivo; oppure, ancora, alla minore o diversa esperienza dei progettisti nel Lazio.

Bisogna comunque considerare che, al di là delle differenze tra regioni nella struttura vegetazionale, geologica e climatica del territorio, esistono limiti fisici alla resistenza di ciascuna tipologia; per fare un esempio, è impensabile che una copertura diffusa spondale possa resistere in Piemonte a velocità della corrente inferiori ai 3 m/s e nel Lazio a velocità superiori a 6, anche se può cambiare il tipo di ramaglia o astoni utilizzati e la tecnica di fissaggio.

Commenti

Ai fini della vera e propria applicabilità delle tipologie d'ingegneria naturalistica nel Lazio, si può invece affermare che sono risultati carenti o comunque determinanti alcuni fattori, oltre a quelli già visti:

1. la reperibilità del materiale vegetale vivo non è semplice per la scarsità di popolamenti naturali di specie appropriate (salici arbustivi in abito fluviale/lacustre, tamerici o altre specie con capacità vegetative) e per la difficoltà di identificazione delle specie stesse nella stagione ritenuta più adatta al prelievo (inverno, durante il quale i salici non possiedono foglie);
2. esiste una impossibilità pressoché assoluta di reperire il materiale vegetale vivo in vivai privati o pubblici, perché sforniti, lontani o molto costosi;

3. è quanto mai opportuna una sperimentazione delle caratteristiche biotecniche delle specie più marcatamente mediterranee, per una maggiore diversificazione della vegetazione ed un incremento degli ambienti di possibile intervento dell'ingegneria naturalistica; tuttavia non sembra necessaria una sperimentazione globale sulle caratteristiche strutturali delle singole tipologie d'opera, visto che è già ben diffusa una ampia letteratura in merito;
4. contrariamente alla percezione generale, al momento attuale la legislazione (regionale) è risultata pienamente rispondente alle necessità di indirizzo che un settore così importante come quello naturalistico e del recupero ambientale (Delibera Giunta regionale n. 4340 del 28 maggio 1996);
5. è necessario un più stretto controllo della Direzione Lavori sull'esecuzione dei lavori stessi ed in particolare sull'accuratezza nella realizzazione delle opere e sulla scelta, trattamento e messa a dimora delle specie vegetali;
6. esiste un'oggettiva difficoltà nella progettazione di opere naturalistiche che debbano inserirsi su opere di ingegneria tradizionale in calcestruzzo preesistenti (è il caso di quasi tutti i progetti qui presi in considerazione).

I risultati della prima fase del monitoraggio (*ante-operam* ed *in-opera*) non hanno evidenziato particolari difficoltà dal punto di vista litologico, pedologico o climatico per l'applicazione delle tipologie d'opera previste nel territorio regionale, anche se, per tutto quanto sopra esposto, non si è ancora potuto verificare l'effetto della stagione estiva sulla sopravvivenza delle talee e delle piante.

I sopralluoghi in campo hanno permesso, al di là della raccolta dei dati, di osservare come i problemi più grandi nella realizzazione delle opere d'ingegneria naturalistica non derivassero da caratteristiche stazionali particolari, quanto piuttosto da una generale inesperienza delle imprese, dei progettisti e delle direzioni lavori nel

settore della bioingegneria. Naturalmente, si sono anche registrati esempi di buona esecuzione dei lavori, come quello in Figura 2 in basso.

L'importanza del monitoraggio è comunque grande e facilmente comprensibile: senza le informazioni che da esso derivano, è probabile che in futuro dei pur possibili insuccessi degli attuali interventi possano essere attribuiti ad una scarsa adattabilità delle tecniche d'ingegneria naturalistica nel Lazio anziché ad una carenza progettuale o realizzativa.

La casistica esaminata in questo lavoro ha preso in considerazione esclusivamente cantieri fluviali della zona del cassinate, ma vista anche la posizione geografica del Lazio, di passaggio tra il nord ed il sud della penisola e caratterizzata da un'ampia variabilità climatica e geolitologica, le condizioni appaiono idonee al trasferimento, anche nella nostra regione, della quasi totalità delle tecniche di ingegneria naturalistica, se si fa eccezione, forse, per i soli inerbimenti sulla fascia costiera, quella a più marcato clima mediterraneo.

Questo convincimento è stato anche rafforzato, al di là del monitoraggio, dal confronto tra le condizioni d'impiego delle varie tipologie già realizzate in altre regioni, che, come visto e a parte qualche eccezione, si sono rivelate molto simili.



Figura 2: un esempio di buona esecuzione di una nuova palificata (Rio Inferno). Punti positivi sono l'abbondanza di talee di salice, anche di grandi dimensioni ed inserite in fase di costruzione, il diametro ragguardevole dei tronchi e l'inclinazione del paramento esterno. Foto marzo 2000.

Bibliografia

- [1]. *Atti della giornata di studio sull'applicazione delle tecniche di basso impatto ambientale nella Regione Lazio*, Roma, marzo 2000
- [2]. Regione Toscana, *Principi e linee guida per l'ingegneria naturalistica*, Consorzio FIT, coordinamento Federico Preti, in corso di pubblicazione. Il capitolo sullo sviluppo storico dell'ingegneria naturalistica è stato curato da Chiara Cantini

Per la stesura del lavoro originale, da cui la presente sintesi è stata tratta, si è fatto riferimento anche alla bibliografia di seguito elencata. Nei casi di riferimenti bibliografici su Internet, si tenga presente che gli indirizzi web indicati si riferiscono all'anno 2000 e sono comunque soggetti a cambiamenti nel tempo.

- [3]. Andrich A., *Atti del corso di formazione professionale in ingegneria naturalistica*, Sospirolo (BL), 1994
- [4]. *Atti della conferenza di bacino della Regione Lazio*, Castelgandolfo (Roma), febbraio 1999
- [5]. Benini G., *Sistemazioni idraulico-forestali*, Cooperativa libraria editrice degli studenti dell'Università di Padova, 1988
- [6]. Bigi G., Cosentino D., Parotto M. per Regione Lazio e Università degli studi di Roma "La Sapienza", *Modello litostratigrafico-strutturale della Regione Lazio*, Roma
- [7]. Blasi C. per Regione Lazio e Università degli studi di Roma "La Sapienza", *Fitoclimatologia del Lazio*, estratto da "Fitosociologia" n° 27, Roma 1994
- [8]. Cornellini P., *Macchiagrande (Roma): un esempio di ripristino in ambito mediterraneo*, in ACER 6/1990
- [9]. Cornellini P., *Valore e potenzialità naturalistiche delle scarpate ferroviarie*, in Ingegneria ferroviaria, n°3/1994

- [10]. Galeotti L., *Le sistemazioni di versante*, traccia della lezione tenuta presso l'Università della Tuscia, Viterbo, 5/1999
- [11]. Maione U., *La sistemazione dei corsi d'acqua montani*, Editoriale Bios, Cosenza 1998
- [12]. Manfredi P., *Opere e tecniche di ingegneria naturalistica e recupero ambientale*
- [13]. Merendi A., *La difesa vegetale*, Barbèra Editore, 1936
- [14]. Ministero dell'Ambiente, *Linee guida per capitolati speciali per interventi di ingegneria naturalistica e lavori di opere a verde*, Roma 1997
- [15]. Oliva A., *Le sistemazioni idraulico-agrarie dei terreni asciutti di pianura, collina e montagna*, Barbèra Editore, 1938
- [16]. Provincia autonoma di Trento, *Tecniche naturalistiche nella sistemazione del territorio*, Trento
- [17]. Regione Liguria, *Opere e tecniche di ingegneria naturalistica e recupero ambientale*, 1995
- [18]. Regioni Emilia-Romagna e Veneto, *Manuale tecnico di ingegneria naturalistica*, Bologna, 1993
- [19]. Scategni P., *Esperienze di correzione dei torrenti di tipo alpino*, Collana verde N° 25, Ministero Agricoltura e Foreste, Roma, 1971
- [20]. Schiechl H.M., *Bioingegneria forestale*, Castaldi - Feltre Editori, 1991
- [21]. Valentini, *Sistemazione dei torrenti e bacini montani*, Hoepli, 1930
- [22]. Web site: <http://map.cs.telespazio.it/lazio> relativamente alla cartografia tematica ed in particolare dell'uso del suolo (progetto europeo RAINBOW II)
- [23]. Web site: <http://www.mix.it/eurispes> relativamente ai dati sulle discariche e ad altre informazioni di vario genere censite in Italia
- [24]. Web site: http://www.operereti.regione.lazio.it/normative/norme_suolo.htm riportante l'elenco aggiornato delle disposizioni normative in materia di difesa del suolo e relativi collegamenti ipertestuali (incluse la delibera di G.R. 4340/96, la Legge 183/89 e la L.R. 53/98)

[25]. Web site: http://www.operereti.regione.lazio.it/difesa%20suolo/Ing_naturalisti.../verbal_980311.html

Thesis: Applicability of bioengineering techniques in the Lazio region
Author: Paolo Prosperi, University of Tuscia, Viterbo, Italy
Academic year: 1998-1999
Faculty: Agronomy
Degree in: Forest Engineering

Abstract

Awareness on the negative effects of human development on the environment is growing across the world in parallel with research efforts on possible remedies. Bioengineering, a set of techniques for the restoration of specific habitats through the use of live plants as well as non living materials, can effectively contribute to alleviate problems related to environmental degradation, and in particular certain soil erosion processes. The present thesis, by exploiting a monitoring activity carried out in selected river banks reclamation sites, analyses the advantages and difficulties in the application of bioengineering in the Lazio region, an area clearly different from Central Europe where these techniques were originally developed. The study revealed that although bioengineering shows a high effectiveness in solving some environmental problems in this region, limiting factors can indeed arise in its application, including limited availability of suitable living plants, low level of experience on the part of the enterprises involved in the construction of works and/or project designers and lack of appropriate maintenance.