

2.1 Definizioni

L'Ingegneria Naturalistica è una disciplina tecnica che utilizza le piante vive o parti di esse nella realizzazione di interventi particolarmente efficaci per la sistemazione dei corsi d'acqua, delle loro sponde e dei versanti, limitando l'azione erosiva degli agenti meteorici, di scarpate e superfici degradate da fattori naturali (dissesto idrogeologico) o antropici (cave, discariche, opere infrastrutturali). Tali tecniche sono caratterizzate da un basso impatto ambientale e si basano essenzialmente sulle caratteristiche biotecniche di alcune specie vegetali, caratteristiche sintetizzabili principalmente nella capacità di sviluppo di un considerevole apparato radicale e nell'elevata capacità di propagazione vegetativa.

Queste qualità sono direttamente funzionali ad un'efficace azione di trattenimento delle particelle di terreno e ad una più veloce e diffusa ricolonizzazione vegetale di ambienti degradati dall'intervento umano. A questi materiali vivi possono poi essere affiancati sia materiali biodegradabili di origine naturale (legname, piante o loro parti, talee, fibre di cocco, juta, paglia, legname, biostuoie, ecc.) che altri materiali quali pietrame, ferro o prodotti di origine sintetica in diverse combinazioni (geotessili, ecc.), che consentano un consolidamento duraturo delle opere.

I principali sinonimi possono essere:

- *Ingegneria Naturalistica nelle costruzioni in terra* = sistemazione a verde;
- *Ingegneria Naturalistica nelle costruzioni idrauliche* = sistemazione in vivo.

In Svizzera è definita anche come "sistemazione in verde ed in vivo".

Come termini sostitutivi generali, nella Repubblica Federale Tedesca sono d'uso comune le definizioni di "costruzioni in vivo" o "sistemazioni in vivo", ma anche di "tecnica vegetazionale".

Sono impiegati i termini:

- *Ingegneria*, in quanto si utilizzano dati tecnici e scientifici a fini costruttivi, di consolidamento ed antierosivi;
- *Naturalistica*, in quanto tali funzioni sono legate ad organismi viventi, in prevalenza piante di specie autoctone, con finalità di ricostruzione d'ecosistemi naturaliformi ed all'aumento della biodiversità.

2.2 Obiettivi

L'utilizzo di queste tecniche punta, sostanzialmente, alla ricostituzione di nuove unità

ecosistemiche (biosistemi naturaliformi) in grado di autosostenersi mediante processi naturali, con positive ripercussioni sulle caratteristiche geopedologiche, idrogeologiche, idrauliche, vegetazionali, faunistiche e paesaggistiche del territorio.

L'Ingegneria Naturalistica consente, infatti, di effettuare tutta una serie di operazioni in difesa del territorio, per la conservazione del suolo, soprattutto in funzione dell'erosione, causa/effetto fondamentale del lento e progressivo depauperamento dei suoli. A più vasta scala l'Ingegneria Naturalistica ha come obiettivo l'aumento della complessità e della diversità/eterogeneità del "sistema di ecosistemi", innescando quindi un processo evolutivo che porti ad un equilibrio dinamico in grado di garantire un livello più elevato di metastabilità nonché un miglioramento della qualità del paesaggio. Altro obiettivo dell'ingegneria naturalistica è quello di permettere in alcuni casi l'aumento della connettività (connessione reale) della circuitazione (connessione potenziale) nel sistema di ecosistemi, oltre che di aumentarne nel complesso la biopotenzialità.

2.3 Funzioni

Le principali funzioni dell'Ingegneria Naturalistica possono essere sintetizzate nei punti che seguono.

- *Funzione ecologica*, di creazione e/o ricostruzione di ambienti paranaturali o naturaliformi. Non si tratta di un semplice intervento di rinverdimento e di piantagione, ma di un innesco di processi ecosistemici, di diminuzione del deficit di trasformazione: le tecniche di Ingegneria Naturalistica sono in grado di modificare la scala temporale, entro cui si compie la successione naturale, accorciandola significativamente; un aspetto rilevante per la riuscita di alcuni recuperi ambientali e nell'attuazione di interventi di *restauration ecology*. Tra le funzioni ecologiche principali si ricorda il miglioramento delle caratteristiche chimico-fisiche del terreno e dei corsi d'acqua, il recupero di aree degradate, lo sviluppo di associazioni vegetali autoctone, la realizzazione di macro- e microambienti naturali divenuti ormai sempre più rari, l'aumento della biodiversità locale e territoriale.
- *Funzione tecnica*, di consolidamento del terreno, copertura del terreno, riduzione dell'erosione spondale, protezione del terreno dall'erosione, sistemazione idrogeologica ed aumento della ritenzione delle precipitazioni meteoriche, miglioramento del drenaggio.

- *Funzione estetico-paesaggistica*, di ricucitura al paesaggio percepito circostante; “rimarginazione delle ferite” del paesaggio, inserimento di opere e costruzioni nel paesaggio, protezione dal rumore.
- *Funzione socio-economica*, relativa al beneficio sociale indotto, alla gestione economica delle risorse naturali ed al risparmio ottenibile rispetto alle tecniche tradizionali sui costi di costruzione e di manutenzione di alcune opere; questa funzione viene realizzata quando tutto il processo è a regime, ovvero è funzionante e collaudato e i diversi attori coinvolti, sia pubblici sia privati, compiono correttamente le rispettive funzioni.
- *Funzione di sviluppo dell'occupazione* nelle aree collinari e montane o depresse in genere.

2.4 Ambiti d'intervento

Le tecniche di Ingegneria Naturalistica possono essere applicate nei seguenti settori:

- tutela del suolo, in generale: sistemazione di frane, consolidamento, bonifica e riqualificazione ecologica di versanti naturali soggetti a dissesti idrogeologici;
- sistemazioni idrauliche spondali: consolidamento e riqualificazione ecologica di sponde di corsi d'acqua, laghi ed invasi; di sponde soggette ad erosione con contestuale rinverdimento; costruzione di briglie e pennelli; creazione di rampe di risalita per l'ittiofauna; realizzazione di ambienti idonei alla sosta ed alla riproduzione degli animali; rinaturalizzazione di dighe in terra;
- sistemazione di porti, coste, stabilizzazione dune costiere; ricostruzione barene lagunari: consolidamento dei litorali soggetti ad erosione e assestamento delle dune;
- progettazione di opere di mitigazione ed esecuzione di sistemazioni temporanee o permanenti di aree di cantiere;
- consolidamento e stabilizzazione delle scarpate in ambito stradale e ferroviario:
 - riqualificazione ecologica di rilevati e trincee delle infrastrutture;
 - realizzazione di barriere e rilevati vegetali antirumore, fasce di vegetazione tampone: messa in opera di barriere vive e mascheramenti vegetali; messa in opera di barriere antirumore mediante rilevati rinverditi; messa in opera di barriere vegetali per combattere la diffusione di polveri ed aerosol;
- costruzione di vasche di sicurezza ed ecosistemi filtro a valle di scarichi idrici;
- ricostruzione di habitat, consolidamento e riqualificazione ecologica di versanti denudati derivanti da azioni di progetti infrastrutturali (spalle di dighe, portali di gallerie, ecc.);
- realizzazione di nuove unità ecosistemiche in grado di aumentare la biodiversità locale o territoriale e/o di offrire fruizioni di tipo naturalistico;
- realizzazione di nuove strutture ambientali in grado di garantire la permanenza e la mobilità della fauna protetta (ad esempio scale di risalita per pesci, sovrappassi o sottopassi per fauna, recinzioni);
- ripristino di aree attraversate da metanodotti e condotte interrate;
- interventi di riqualificazione di aree destinate a interporti, centrali elettriche, insediamenti industriali;
- ripristino di cave e discariche: consolidamento e riqualificazione ecologica dei fronti di cava e delle discariche;
- realizzazione di coperture verdi (edilizia, industria): dal verde pensile alla riduzione delle superfici impermeabilizzate.

Come si può notare dal precedente elenco, l'impiego delle tecniche di Ingegneria Naturalistica è esteso su più fronti; questo spiega la diffusione di tali tecniche, anche in relazione all'affermarsi degli standard ambientali derivanti dalla diffusione delle procedure di VIA a tutti i livelli amministrativi (VIA regionale, VIA nazionale) ed a tutti i livelli progettuali (Sauli, 2002). Entro il filone dell'Ingegneria Naturalistica si possono ulteriormente delineare tre settori, spesso presenti contemporaneamente durante la fase operativa (si veda il “Codice deontologico AIPIN”):

- la *rinaturalizzazione* (si veda il glossario riportato alla fine del testo), ovvero la costituzione di biotopi o ecosistemi paraturali, non collegata ad interventi funzionali anche se talvolta realizzata quale “opera di compensazione”;
- l'Ingegneria Naturalistica in senso stretto, ovvero la realizzazione di sistemi antierosivi, realizzati con piante vive abbinate ad altri materiali, talvolta alternati ad opere realizzate in calcestruzzo;
- i provvedimenti per la fauna ed in particolare quelli per garantire la continuità degli habitat (rampe di risalita per i pesci, sottopassi per anfibi, ecc.) (Cornellini, Sauli, 2002).

Schematicamente si possono elencare i settori tecnico-scientifici di analisi, dai quali si ricavano elementi che sono utilizzati normalmente in un progetto di Ingegneria Naturalistica (da *Manuale di Ingegneria Naturalistica della Regione Lazio*, 2002):

- Geolitologia, Geomeccanica;
- Geomorfologia, Idrologia;
- Pedologia;
- Topoclima, Microclima;
- Vegetazione:
 - serie dinamiche potenziali:
 - elenco floristico specie stadio corrispondenti:
 - 1) *arbusti*;
 - 2) *suffrutici*;
 - 3) *erbacee*:
 - a) graminacee
 - b) leguminose
- Geotecnica, verifica statica;
- Verifica idraulica;
- Biotecnica specie vegetali;

- Interferenza con dinamismi faunistici;
- Tecnologia dei materiali.

Dopo aver spiegato che cosa si intende per Ingegneria Naturalistica ed elencato quali sono i suoi obiettivi, i suoi ruoli ed i suoi ambiti d'applicazione si ritiene opportuno segnalare una non corretta interpretazione di tale disciplina, con la quale si sostiene come non si possano considerare opere di "pura" ingegneria naturalistica quelle come, ad esempio, la gabbionata rinverdita, la terra rinforzata o la briglia in terra. A rigore, tali opere, secondo questa interpretazione, potrebbero essere definite opere di "ingegneria a ridotto impatto ambientale".

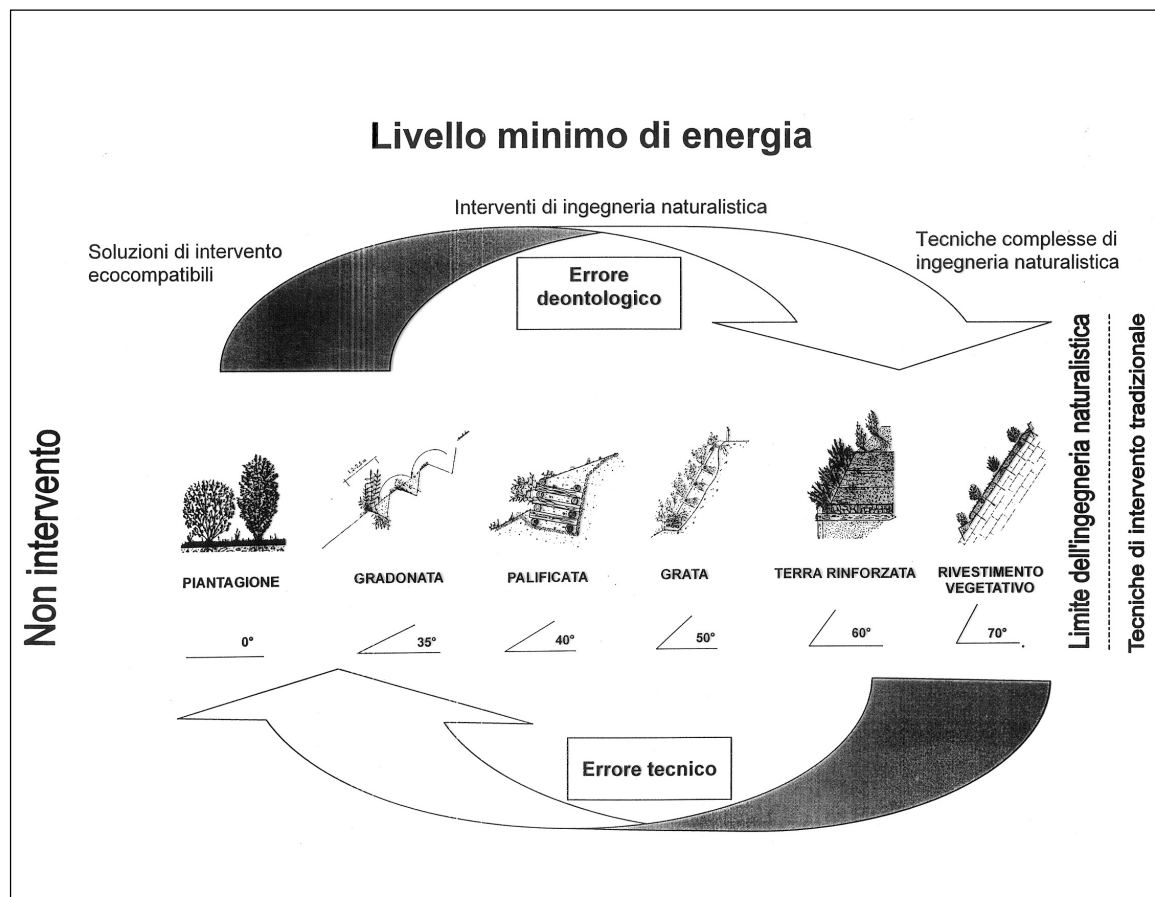
Gli autori del presente scritto non si trovano d'accordo con quanto sopra riportato, in quanto essi considerano queste opere ascrivibili a pieno titolo tra quelle di Ingegneria Naturalistica, riferendosi a quanto definito dall'indiscusso padre della disciplina, Hugo Meinhard Schiechl.

2.5 Criteri generali

Nelle fasi di programmazione pianificazione, progettazione, esecuzione e collaudo degli interventi e delle opere relative alla tutela del suolo e alla prevenzione dei rischi idrogeologici nonché per la mitigazione degli impatti derivanti dalla realizzazione di opere ed infrastrutture, vengono adottati i seguenti criteri generali:

- Impiegare la minima tecnologia necessaria per la risoluzione del problema (*legge del minimo*; cfr. **fig. 2.1**). Non sono ammesse opere sovradimensionate o comunque opere a complessità eccessiva rispetto al problema da risolvere, né tantomeno opere sottodimensionate. È opportuno evidenziare che l'Ingegneria Naturalistica non può essere considerata la soluzione a tutti i problemi legati al degrado ambientale ed idrogeologico, in quanto diversi casi devono necessariamente essere affrontati con tecniche di ingegneria classica, se non si rende, addirittura, necessario evitare qualsiasi tipo d'intervento. Agli estremi del campo d'azione in cui è possibile intervenire con tecniche di Ingegneria Naturalistica si collocano, da un lato il "non intervento" (da prendere sempre in considerazione come alternativa possibile), lasciando all'evoluzione dei fenomeni naturali il recupero o la sistemazione dell'area e dall'altro i limiti tecnico-operativi imposti all'Ingegneria Naturalistica, oltre i quali le soluzioni proposte non sono efficaci e pertanto si rende necessario ricorrere ad altre soluzioni tecniche. Si vuole comunque ribadire che l'Ingegneria Naturalistica rappresenta un formidabile strumento per aiutare la natura a ricostruire gli equilibri naturali nelle aree in dissesto, a proteggere le superfici denudate mediante la vegetazione, i suoli, il paesaggio, gli ecosistemi. Per i motivi sopra esposti è essenziale che vengano privilegiate

Fig. 2.1 - Schema che illustra la "legge del minimo"



tali tecniche in tutti i casi in cui l'Ingegneria Naturalistica può essere validamente impiegata per il corretto riordino del territorio e in un quadro generale di tutela dinamica, per uno sviluppo sostenibile e duraturo. Nella **figura 2.1** è illustrato il criterio da seguire quando si dispone un intervento di Ingegneria Naturalistica: si commette un errore tecnico quando le opere che devono essere impiegate per il consolidamento di un versante o di una sponda sono sottodimensionate rispetto al reale problema esaminato o che si vuole risolvere; si compie, al contrario, un errore deontologico quando si impiegano opere ad elevata stabilità e complessità per territori in cui non c'è una reale emergenza e per i quali sarebbe sufficiente, per la risoluzione del problema, adottare una tecnica meno complessa e molto probabilmente, più economica e compatibile con l'ambiente.

Per un buon intervento di Ingegneria Naturalistica è quindi necessario:

- individuare, caso per caso, la tecnica idonea alla risoluzione del problema che richieda il minimo impiego di materiale, sia naturale che sintetico, prediligendo i materiali biodegradabili e le opere più semplici;
- conformare i progetti nel campo specifico della forestazione, alle norme ed alle soluzioni della selvicoltura naturalistica;
- programmare, progettare e realizzare gli interventi in materia di tutela del suolo e di prevenzione dei rischi idrogeologici anche in funzione della salvaguardia e della promozione della qualità dell'ambiente;
- adottare metodi di esecuzione tali da compromettere nella maniera minima possibile e comunque in modo non irreversibile le funzioni biologiche dell'ecosistema in cui si va ad operare, compatibilmente con il soddisfacimento delle necessarie condizioni di sicurezza e di efficacia, rispettando i valori ambientali, ecologici e paesaggistici;
- sviluppare una progettazione caratterizzata da una spiccata valenza interdisciplinare/transdisciplinare attraverso analisi di tipo geologico, geomorfologico, geotecnico, idrologico, idraulico, floristico-vegetazionale e faunistico, riferite ad ambiti territoriali adeguatamente estesi intorno all'area di interesse;
- esaminare, in particolare, per gli interventi in ambito fluviale la portata, la dinamica del trasporto solido e la pendenza del corso d'acqua in esame, per un tratto significativo, al fine di verificare la fattibilità dell'intervento in ordine anche a possibili alterazioni negative del naturale deflusso delle acque e delle condizioni complessive di equilibrio del corso d'acqua stesso;
- esaminare, in particolare per gli interventi in ambito di versante e di ripristino cave, le diverse condizioni di stabilità, i parametri geotecnici (peso di volume, angolo d'attrito, coesione), la messa in sicurezza di tutta l'area tramite operazioni di disaggio, riprofilatura, messa in opera di sistemazioni idrauliche per i drenaggi, la migliore strategia di recupero ambientale per ottenere la massima diversità biologica e morfologica, diversificando, ad esempio, quanto più possibile i fronti di scavo e seguendo le forme naturali del terreno;
- prestare particolare attenzione e cura al recupero ambientale, nelle fasi di progettazione e di esecuzione dell'intervento, puntando a ricostituire gli elementi naturali che caratterizzano, o caratterizzavano, l'ecosistema presente nell'ambito interessato dall'intervento, stabilendone specificatamente le modalità ed i tempi di esecuzione;
- impiegare il più possibile il materiale vegetale presente in area di cantiere, conservandolo scrupolosamente all'inizio delle operazioni di cantiere per un suo reimpiego.

I progetti relativi alle opere con tecniche di Ingegneria Naturalistica sono redatti dal progettista, sulla base di un approfondito studio dell'assetto locale, delle caratteristiche delle componenti ambientali presenti e degli obiettivi dell'intervento, con l'individuazione delle metodologie che meglio rispondono ai necessari criteri di efficacia, compatibilità ambientale ed economicità dell'opera.

Le Amministrazioni, da parte loro, dovranno provvedere alla produzione di materiale vivaistico di specie vegetali idonee (preferibilmente autoctone) da impiegarsi nelle opere di Ingegneria Naturalistica o all'individuazione dei "giacimenti vegetali", o verdi, per permettere la raccolta delle grandi quantità di talee che sono necessarie per la realizzazione di tali opere. In sede di collaudo deve essere verificato anche lo stato di ripristino dei luoghi al contorno dell'opera e l'efficacia complessiva dell'intervento con particolare riferimento al recupero delle condizioni di naturalità.

Al fine di garantire il rispetto dei criteri previsti dalle presenti linee di indirizzo il soggetto realizzatore degli interventi deve avvalersi del supporto di tecnici qualificati: forestale, ingegnere, geologo, biologo, agronomo, ecc.

Come accennato e spesso evidenziato nei testi di Ingegneria Naturalistica questa disciplina non permette la risoluzione di tutte le problematiche, sia di versante che idrauliche che di qualità delle acque, o legate all'inquinamento acustico, ecc.

Pertanto è opportuno conoscere i limiti d'applicazione di ogni tecnica impiegata e delle piante utilizzate per la loro realizzazione, è fondamentale avere una buona conoscenza delle caratteristiche biotecniche.

È per questo motivo che risulta molto importante la programmazione e l'azione di monitoraggio delle opere di Ingegneria Naturalistica, un'attività che consente di confrontare le esperienze facendo crescere l'intera attività operativa e di ricerca nel settore. Poiché si tratta di interventi che spesso vengono previsti anche a scala di bacino o regionale è quindi, opportuno prevedere:

- l'inserimento di tali tecniche ai diversi livelli di programmazione e pianificazione;

- l'uniformità degli *iter* autorizzativi;
- la disposizione di un censimento dei giacimenti vegetali, di salici soprattutto, e l'*iter* autorizzativo semplificato per il loro prelievo;
- la precisazione di modalità esecutive uniformi e la codifica, per quanto possibile, delle tipologie di Ingegneria Naturalistica, anche per tematismi (strate, corsi d'acqua, ecc.);
- il *censimento* delle opere di Ingegneria Naturalistica già realizzate, con evidenziazione delle tipologie, della loro localizzazione, del loro numero e del loro stato;
- la redazione, conservazione ed aggiornamento di *schede sintetiche* (archivio descrittivo) per ogni singolo intervento (in particolare, indicando nella scheda tutti gli elementi fondamentali dell'intervento come l'anno di realizzazione, il costo dell'opera, le specie impiegate, comprese anche le indicazioni riguardo alle manutenzioni previste ed effettuate);
- la *georeferenziazione* degli interventi realizzati, con l'inserimento degli stessi in sistemi informativi territoriali (GIS/SIT) esistenti o prevedendo la predisposizione di una specifica banca dati geografica delle opere di Ingegneria Naturalistica, laddove questi sistemi non siano ancora disponibili;
- la *realizzazione* nell'ambito del Sistema Informativo Territoriale (SIT) di un database per la gestione delle opere (a livello d'interventi previsti e di manutenzione): necessità, scadenze temporali di tali azioni, efficacia delle azioni di manutenzione, ecc.;
- il *monitoraggio della stazione* (parametri climatici, pendenza, esposizione, portata, trasporto solido, ecc.) *ante operam* (prima della realizzazione dell'opera);
- il *rilievo dei tempi e dei costi* e delle modalità esecutive, durante la fase di esecuzione e di cantiere (monitoraggi *in operam*);
- il *monitoraggio socio-economico* (occupazione creata, aumento della qualificazione della manodopera locale, garanzia di continuità di lavoro);
- il *monitoraggio post operam* (ad opera terminata) nel breve periodo;
- il *monitoraggio della qualità delle opere e del raggiungimento degli obiettivi previsti* (sviluppo degli apparati epigei e ipogeï delle piante in tempi definiti, successo delle piantagioni e relativa densità, verifica delle deformazioni delle opere, ecc.);
- il *monitoraggio dell'impatto ambientale* (creazione di un'associazione vegetale di qualità, successo ecologico, ecc.) *post operam* nel lungo periodo;
- la *realizzazione di celle frigorifere* per rendere disponibile una certa quantità di talee in periodo non idoneo alla loro piantagione e, la realizzazione di vivai di Ingegneria Naturalistica per la produzione di piante;
- la programmazione degli interventi su base stagionale; infatti è stato constatato (Schiechtl, 1973) che tutti gli interventi che si basano sull'impiego di piante legnose dotate di capacità vegetativa, sono effettuati nel modo mi-

gliore durante il riposo vegetativo. Nelle condizioni climatiche dell'Europa Alpina Centrale, l'inizio del riposo invernale è in genere ancora più favorevole (autunno) rispetto alla fine del riposo invernale (primavera). Per questo motivo si devono tenere in considerazione i periodi di crescita e sviluppo della vegetazione utilizzata, al fine di rendere il più lungo possibile il periodo in cui è possibile impiegare le tecniche di Ingegneria Naturalistica.

Un fattore che non va tralasciato in quest'ottica è dato dall'altitudine della zona soggetta ad intervento: infatti si impiegheranno le suddette tecniche nei mesi più caldi a quote più elevate, per favorire un migliore attecchimento delle piante. Al contrario, per lo stesso scopo, a quote più basse è preferibile lavorare nei mesi più freddi, che sono generalmente caratterizzati da flussi d'aria relativamente più caldi.

Vista la crescente applicazione di queste tecniche costruttive e considerato che la loro efficacia sul lungo periodo è l'aspetto fino ad ora meno conosciuto, risulta strategico passare ad una fase di ricerca anche attraverso il monitoraggio delle opere, che consenta di approfondire le conoscenze di tutti quegli aspetti che nell'Ingegneria Naturalistica sono ancora poco investigati e noti.

Tra questi aspetti ricordiamo ad esempio:

- le caratteristiche biotecniche delle piante utilizzate in questi interventi: il loro approfondimento consentirebbe di stabilire quali delle specie vegetali autoctone siano in grado di assolvere al meglio alla funzione di stabilizzazione delle sponde e dei versanti, o di miglioramento della qualità delle acque;
- l'effettiva capacità tecnica delle piante di trattenere il terreno e di resistere a sollecitazione;
- l'efficacia nel tempo delle opere di Ingegneria Naturalistica non solo dal punto di vista tecnico, ma anche ecologico;
- il monitoraggio dei parametri che influenzano direttamente le opere (caratteristiche stagionali) ed i tempi e costi di realizzazione delle stesse.

Bibliografia



AA.VV., 1994

Atti del "Corso di formazione professionale in Ingegneria Naturalistica" promosso dalla Regione del Veneto, Belluno.

Schiechtl H.M., Stern R., 1992

Ingegneria Naturalistica. Manuale delle opere in terra, Edizioni Castaldi, Feltre (BL).

Schiechtl H. M., 1973

Bioingegneria Forestale. Basi, materiali da costruzione vivi, metodi, Edizione Castaldi, Feltre (BL).

Sauli G., Cornelini P., Preti F., 2002

Manuale di Ingegneria Naturalistica applicabile al settore idraulico nella regione Lazio, Regione Lazio, Roma.