

### 6.1 Problemi operativi dell'Ingegneria Naturalistica

L'Ingegneria Naturalistica può sostituire l'ingegneria classica solo in parte e nelle condizioni fisiche, tecniche ed ambientali adatte. Vi saranno pertanto delle situazioni in cui potrà operare l'Ingegneria Naturalistica, altre nelle quali, per valutazioni inerenti la pubblica sicurezza e/o gli spazi modesti a disposizione e/o le caratteristiche climatiche, sarà necessario intervenire secondo gli schemi dell'ingegneria classica.

Al di là delle scelte progettuali, che dovranno basarsi su un'attenta analisi è importante conoscere alcune caratteristiche che vincolano gli interventi soprattutto per gli aspetti biologici. Bisogna tenere presente che, in genere, le maestranze che operano sui cantieri hanno spesso scarsa dimestichezza e manualità con interventi a connotazione spiccatamente biologica ed agricolo-forestale. È necessario pertanto promuovere dei momenti formativi per le maestranze chiamate ad operare in questo settore. Le stesse problematiche si presentano anche per gli operatori di macchine, che hanno scarsa esperienza in questo settore e che si trovano spesso ad operare con macchine non idonee.

Altro aspetto limitante degli interventi su base biologica è dato dalla stagionalità, che in genere li condiziona notevolmente. Pertanto, come già accennato, i lavori devono essere effettuati nelle stagioni in cui il materiale vegetale è allo stadio vegetativo adatto e/o nelle stagioni in cui le caratteristiche climatiche locali sono favorevoli all'attecchimento della vegetazione. Se s'interviene, ad esempio, mediante l'utilizzo di talee di salice, l'intervento dovrà avvenire, a seconda delle fasce altimetriche, o sul tardo inverno - inizio primavera (fine febbraio - fine aprile) o sulla tarda estate - inizio autunno (metà settembre - inizio ottobre). Tale aspetto è da prendere in particolare considerazione in fase di programmazione dei lavori.

Gli interventi di Ingegneria Naturalistica, non essendo in genere ad immediato effetto, richiedono momenti di controllo, di verifica e manutenzione, per un certo periodo di tempo dopo la loro realizzazione. In particolare, se si tratta d'interventi complessi e destinati a risolvere problemi difficili, bisogna prevedere in sede progettuale anche gli oneri per la realizzazione di interventi di manutenzione che consentano alla vegetazione di affermarsi stabilmente attraverso l'evoluzione verso associazioni vegetali mature e quindi più stabili. Le operazioni di manutenzione

potranno consistere in rinfoltimenti, sostituzioni, risemine, concimazioni, realizzazione di opere accessorie, potature e diradamenti.

Un problema particolare è quello della reperibilità dei materiali vegetali viventi da utilizzare in cantiere. Tale problema può sembrare a prima vista di non particolare rilevanza, ma in realtà non vanno sottovalutati gli effetti producibili a lungo termine sulla flora autoctona da parte delle immissioni di specie alloctone, spesso provenienti da regioni che presentano caratteristiche completamente diverse (possibilità di fenomeni d'inquinamento genetico delle popolazioni locali). Ciò nonostante, va comunque valutato l'aspetto temporale prendendo in considerazione il fatto che la vegetazione impiegata è prevalentemente pioniera e, quindi, destinata ad essere soppiantata in tempi lunghi e/o medi.

### 6.2 Scelta del metodo e della tipologia costruttiva di Ingegneria Naturalistica

Nonostante le considerazioni già fatte, è opportuno rimarcare che per la scelta delle tipologie costruttive devono essere tenuti in considerazione anche i criteri di scelta della specie, programmando la stagione in cui determinati interventi possono essere eseguiti nel modo migliore. Di seguito riportiamo alcune osservazioni sulle condizioni che agiscono in maniera determinante nella scelta delle tipologie.

- *Scopo degli interventi costruttivi*: l'obiettivo immediato è dato dal consolidamento delle sponde, delle scarpate e dell'alveo o dalla protezione di infrastrutture o edifici. Altri obiettivi consistono nella creazione di spazi per gli animali acquatici e terrestri, nello sviluppo di boschi di protezione per i corsi d'acqua che richiedano semplici cure colturali e che siano multifunzionali, di siepi campestri e/o di fasce di canneto, di associazioni di megaforie e pratvie.
- *Effetto tecnico atteso*: è necessario valutare se, tenendo conto delle direttive inerenti la sicurezza, la sistemazione possa essere attuata unicamente con materiali tecnici vivi o come intervento combinato con tecniche tradizionali o, ancora, con tecniche in "grigio".
- *Disponibilità di materiali costruttivi vivi*: è necessario definire quali piante adatte alle caratteristiche stagionali possa essere procacciate nelle vicinanze del cantiere, quali piante portate sul posto. A tal riguardo si riporta un elenco gerarchico di riferimento:

- a) salvaguardia per riutilizzo del materiale vivo presente nella zona di cantiere;
- b) reperimento e raccolta in luoghi adiacenti o confinanti alla zona di cantiere, anche su proprietà privata (previa autorizzazione del proprietario);
- c) reperimento del materiale in zone a quote maggiori, sempre nelle vicinanze, se la stagione è avanzata o se è necessario intraprendere i lavori prima del periodo di riposo;
- d) impiego di materiale già nelle prime fasi vegetative, proveniente dalle zone circostanti, con ausilio di sostanze rizogene;
- e) reperimento in ambito provinciale;
- f) reperimento in ambito regionale;
- g) acquisto in vivaio specializzato nella produzione di materiale vivo per l'Ingegneria Naturalistica, previa verifica da parte della DL della provenienza del seme o delle piantine o delle talee.

Come già evidenziato nel *Criteri generali* (paragrafo 2.5) è necessario fare un censimento dei giacimenti vegetali. Inoltre, per i salici tali giacimenti ricadono spesso in aree golenali demaniali. È necessario, pertanto, attivare procedure semplificate per rendere disponibili tali piante in tempi rapidi e per evitare l'onere di pagamento di prezzi di macchiatico, per la realizzazione di opere pubbliche. A tal riguardo si veda la Direttiva sull'impiego dei materiali vegetali vivi negli interventi di Ingegneria Naturalistica in Lombardia (approvata con Deliberazione di Giunta VI/29567 dell'1 luglio 1997) e la successiva richiesta da parte della Regione Lombardia (nota prot. 346/99 del 9 luglio 1999) al prelievo, in modo permanente, di materiale vegetale vivo (soprattutto salice, pioppo, ontano ed altre essenze spontanee) nelle aree demaniali lungo i corsi d'acqua, in attesa che venga stipulata una convenzione con il Ministro delle Finanze, che disciplini una procedura amministrativa unica per tutto il territorio nazionale.

- *Stagione*: come già detto, gli interventi per i quali vengono impiegati materiali costruttivi con capacità di propagazione vegetativa sono legati prevalentemente al riposo vegetativo (tardo autunno - inverno) e alla necessità di definire i cronoprogrammi dei lavori.

### 6.2.1 Periodi d'intervento

La stagione più indicata per eseguire interventi di Ingegneria Naturalistica viene stabilita anche dal ritmo di accrescimento delle piante e delle parti utilizzate, che dipende a sua volta dai caratteri stagionali. I metodi costruttivi, nei quali vengono impiegati materiali con capacità di propagazione vegetativa, devono essere eseguiti durante il periodo di riposo vegetativo (ottobre/novembre - marzo/aprile).

Le semine di manti erbosi avvengono durante il periodo vegetativo. Le semine di piante legnose vengono eseguite in primavera od in autunno. Le piante legnose radicate vengono

messe a dimora e/o sistemate preferibilmente in primavera o in autunno, cioè all'inizio o alla fine del periodo vegetativo.

Le piante in vaso o in contenitori vengono invece piantate anche durante l'estate.

### 6.2.2 Limiti d'impiego

I limiti all'impiego di materiali costruttivi vivi sono legati a limiti biologici, tecnici e temporali (Schiechtel, Stern, 1994).

- *Limiti biologici*: zone senza possibilità di sviluppo per le piante superiori, limiti degli areali, attitudinali della vegetazione, zone con forte inquinamento delle acque, ecc.
- *Limiti tecnici*: (in ambito di versante) il consolidamento delle scarpate è possibile solo nel corpo terroso compenetrabile dalle radici. I movimenti del terreno in profondità possono essere impediti solo indirettamente mediante interventi di ingegneria naturalistica, come la sottrazione dell'acqua mediante soprassuoli vegetali; (in ambito idraulico) velocità di flusso troppo elevate, forze di trascinarsi troppo grandi, pressioni della corrente troppo forti e correnti d'acqua troppo turbolente.
- *Limiti temporali*: lavori al di fuori e durante il periodo vegetativo.

In base alle ridotte possibilità di applicazione si comprende come l'Ingegneria Naturalistica non sempre costituisca un'alternativa, ma sia spesso un'integrazione delle costruzioni ingegneristiche.

## 6.3 Le fasi pre-progettuali

Se il sito d'intervento è definito con precisione, l'area di progetto corrisponde a quella occupabile dall'opera e dalle connesse operazioni necessarie per la sua realizzazione. Occorre, infatti, considerare opportunamente le caratteristiche delle aree interessate dalle attività di cantiere, di prelievo, di lavorazione e di movimentazione del verde e dei materiali, di eventuale riporto o reperimento del terreno. Qualora l'area di progetto non sia stata identificata, è corretto indagare su più aree compatibili rimandando al progetto esecutivo la giusta ubicazione e gli approfondimenti del caso. Quest'ultimo aspetto può essere trattato dal "Piano di coordinamento e sicurezza dei lavori", previsto dalla normativa in materia di sicurezza, ove la tipologia di questi lo richieda.

L'area d'indagine, è di norma più vasta di quella di progetto, rendendosi necessario analizzare anche i fattori fisici ed ambientali che presentano un raggio di influenza maggiore di quello strettamente progettuale.

Per i progetti di opere idrauliche in alveo occorre rapportare l'opera al bacino idrografico di competenza, del quale si dovrà stimare in particolare il contributo delle portate idriche di piena, all'altezza della sezione idraulica interessata.

L'inquadramento dell'opera nel contesto del bacino, così come quello rispetto ai confini amministrativi del territorio, servirà anche per la verifica delle interazioni con gli strumenti di pianificazione e la gestione delle procedure organizzative (piani, competenze, vincoli).

La segnalazione del sito (o dei siti) interessato dall'intervento dovrà essere prodotta su una cartografia a piccola scala (1:50.000 o 1:25.000) e a scala maggiore, di dettaglio (1:10.000 o 1:5.000).

I progetti di Ingegneria Naturalistica sono caratterizzati da uno stretto rapporto con il territorio, sia per l'influsso esercitato su di esso che per i condizionamenti indotti. Occorre pertanto analizzare tutti i fattori che possono interagire con gli interventi, calandosi nel contesto ambientale – ma anche sociale – nel raggio d'influenza corrispondente a ciascuno di tali fattori. Alcuni di essi vanno valutati nell'ambito dell'intero bacino idrografico (idrologia), altri per zone più ristrette (stabilità del suolo).

È fondamentale per l'ottenimento di un assetto idraulico-ambientale in equilibrio, intervenire con opere di difesa idraulica o di sistemazione di versante, solo nel caso in cui la loro realizzazione si renda veramente necessaria. Detta necessità è determinata dall'esistenza di situazioni di danno, di rischio o di vulnerabilità inaccettabili. Alla valutazione di convenienza devono anche partecipare fattori economici (costo dell'opera e della gestione rispetto al costo dei beni da difendere) e politici (gestione dell'ambiente, fruizione dell'area, ecc.), oltre che funzionali (interruzione di servizi, collegamenti, ecc.).

Una volta stabilita l'esigenza di intervenire, si rende necessario ridurre i termini del problema sfruttando la capacità dello stesso sistema naturale di rispondere alle pressioni provenienti dall'esterno. Nel caso dei corsi d'acqua si tende a riconquistare o ampliare le aree di pertinenza fluviale, ove le piene si possano sfogare riducendo velocità e livelli; in sostanza si pratica l'operazione opposta della bonifica e della regimazione, tradizionalmente adottata negli ultimi decenni. Nel caso di versanti si cerca di controllare l'erosione, sfruttare la vegetazione circostante, rimuovere le cause d'innescio del fenomeno, drenare l'acqua superficiale e profonda. Queste problematiche e gli approcci d'intervento che ne derivano, saranno trattati in una fase pre-progettuale e dovranno essere quindi adeguatamente affrontati tramite un confronto con i pianificatori e i gestori del territorio in riferimento al "quadro programmatico", espresso dagli strumenti vigenti a diversi livelli (dal Piano di Bacino, al Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale, sino al Piano Strutturale su scala comunale).

Da tale confronto devono emergere gli interessi collettivi alla messa in sicurezza del territorio, gli obiettivi della pianificazione e le risorse eventualmente disponibili per realizzare gli intenti programmatici. In questa fase il ruolo dei tecnici esperti in Ingegneria

Naturalistica consiste principalmente nel mettere in evidenza pregi e costi delle diverse ipotesi, contribuendo a una selezione degli obiettivi e supportando una valutazione di tipo multicriteriale delle alternative di azione, compresa quella di non intervenire ("alternativa zero") in ossequio anche alla già trattata "legge del minimo" (cfr. cap. 2, fig. 2.1).

Il Regolamento della legge quadro sui lavori pubblici richiama principi di valutazione delle "problematiche di ordine ambientale" già in sede di programmazione degli interventi (art. 13) e in sede progettuale (capo II "La progettazione", art. 15 "Disposizioni preliminari") e prescrive in particolare che (art. 15, comma 12), qualora siano possibili più scelte progettuali, la scelta deve avvenire mediante l'impiego di una metodologia di valutazione qualitativa e quantitativa, multicriteri o multiobiettivi, tale da permettere di dedurre una graduatoria di priorità tra le soluzioni progettuali possibili. Tale modo di operare risulta aderente nell'ambito dell'approccio dell'intervento sul territorio, che, di fatto, è basato sul perseguimento del miglior compromesso possibile tra esigenze antropiche e dinamiche naturali. Si tende quindi ad indirizzare le scelte progettuali, in termini sia di tecnica che di localizzazioni, verso l'impiego di soluzioni a basso impatto ambientale (si pensi, per esempio, al caso delle casse di espansione o alla determinazione dei tratti fluviali in cui realizzare difese spondali).

I limiti d'applicazione delle tecniche di Ingegneria Naturalistica sono evidenti, in particolare, nei casi di elevata antropizzazione. Quando i corsi d'acqua, per esempio, presentano ingenti edificazioni lungo le fasce ripariali, normalmente non c'è lo spazio per ospitare opere che comportino la riduzione della velocità della corrente idrica o della sezione idraulica (le scarpate sistemate con tecniche di Ingegneria Naturalistica possono risultare, infatti, meno ripide, e nel medio periodo, più rugose, con un aumento della scabrezza e dell'ingombro da parte della vegetazione).

Vi sono limiti intrinseci dal punto di vista tecnico: nel caso di consolidamento di corpi franosi profondi, per esempio, le tecniche di Ingegneria Naturalistica risultano insufficienti in quanto, lo strato di suolo consolidato o protetto è limitato a quello colonizzabile in futuro dagli apparati radicali.

Sulla base dei risultati della prima fase di analisi del problema, degli obiettivi e del territorio si potranno definire, sulla base di valutazioni di massima e dell'esperienza dei progettisti, le tipologie di intervento che si ritengono adeguate, ovvero la classe di tecniche applicabili per ciascuna sub-area di intervento e procedere di conseguenza nell'impostazione degli studi e dei progetti.

Saranno poi queste successive valutazioni, anche quantitative, che consentiranno di verificare l'idoneità delle ipotesi fatte, modificandole o affinandole.

### 6.3.1 Programmazione del lavoro

Le modalità organizzative del lavoro vanno programmate sulla base dei dati preliminari che individuano, in linea di massima, la problematica e la tipologia d'intervento. In particolare è importante pianificare le indagini, in quanto queste richiedono un'attenta valutazione dei tempi di realizzazione, non solo per motivi amministrativi, ma anche perché, specie per gli indicatori ambientali, la validità dei dati raccolti può dipendere da indicatori stagionali.

Un altro importante aspetto organizzativo è quello della formazione del gruppo di lavoro. Essendo i progetti di Ingegneria Naturalistica a carattere transdisciplinare, si dovrà stabilire di volta in volta, a seconda del tipo di progetto e delle caratteristiche territoriali e ambientali, quali competenze coinvolgere per la fase d'indagine e per quella di progettazione. È importante stabilire da subito i ruoli operativi della committenza rispetto a quelli dei progettisti, anche se tali ruoli dovrebbero essere già definiti nella convenzione formale d'incarico stipulata tra le parti. Si dovrà chiarire, in particolare, chi svolge o segue determinate procedure e quali documentazioni o materiali dovrà fornire la committenza. Si tenga presente che, ai sensi della legge quadro sui lavori pubblici, il coordinamento delle procedure autorizzative e formali spetta al "responsabile del procedimento", che normalmente è un rappresentante tecnico dell'Ente appaltante; di tale lavoro può essere anche incaricato il progettista, che in ogni modo svolge sempre un ruolo di compartecipazione. In alcuni casi potrebbe essere opportuno organizzare incontri preventivi con gli Enti interessati, al fine di individuare in un primo *screening* le possibili alternative, o per conoscere se l'intervento necessita o meno di una determinata autorizzazione.

Un altro aspetto da esaminare prima della progettazione, è quello relativo ai permessi d'accesso ai luoghi di intervento, ovvero a terreni di proprietà privata, per effettuare sopralluoghi e indagini (ambientali, topografici, geologico-tecnici). In alcuni casi occorre richiedere all'Ente la produzione di uno specifico permesso, previo accordo o informativa con i proprietari dei terreni interessati. Modalità simili si dovranno adottare in sede di esecuzione dei lavori, in relazione alle aree interessate dal cantiere e agli spostamenti e transiti di automezzi; si dovranno inoltre prevedere eventuali forme d'indennizzo per danni arrecati, da valutare al termine dei lavori.

### 6.3.2 Analisi e studi di supporto alla progettazione

La raccolta della documentazione e i rilievi in campo costituiscono la fase analitica della progettazione preliminare, a cui si aggiunge la fase di prima elaborazione e/o trasposizione grafica; di seguito si fornisce un elenco di massima degli elaborati che sarebbe necessario produrre.

#### 6.3.2.1 Cartografia

A seconda dell'estensione dell'intervento e dell'area che viene investita dal progetto, può essere opportuno utilizzare una carta in scala 1:25.000 (corografia generale, per esempio individuazione del bacino idrografico), e/o una carta a scala 1:5.000 o 1:10.000 (corografia di dettaglio, per esempio analisi di un tratto fluviale), e/o una carta a scala 1:2.000 (planimetria, per esempio misurazione e quantificazione dell'intervento).

Tali cartografie sono generalmente disponibili su supporto magnetico, il che consente di acquisirle per elaborazioni grafiche in sistemi di disegno al computer compatibili con gli standard maggiormente usati in topografia e in progettazione (CAD-GIS).

Sulle carte topografiche è possibile individuare alcuni dei servizi a rete (quali gli elettrodotti), mentre per le servitù e i vincoli connessi a servizi interrati (distribuzione metano, acquedotto, ecc.) occorre reperire informazioni presso gli Enti gestori o tramite rilevazione delle cartellature di segnalazione.

#### 6.3.2.2 Strumenti urbanistici e pianificazione

Le cartografie dei Piani urbanistici (in genere a scala 1:2.000), dei Piani territoriali (in generale a scala 1:10.000) o dei Piani di Bacino (in genere a scala 1:25.000) possono servire per la definizione degli interventi di progetto e per l'orientamento alle soluzioni più adeguate. In prima istanza queste cartografie ci informano sui vincoli territoriali futuri, sulle aree di futura urbanizzazione che necessitano di salvaguardia dai rischi e dai dissesti, sulle aree di pertinenza fluviale o destinate a opere di difesa idraulica o di espansione fluviale. Dove le prescrizioni di piano prevedono la destinazione a parco, a verde di rispetto o naturalistico, ad uso agricolo, allora non è opportuno artificializzare il contesto territoriale, e non vi sono normalmente motivazioni valide per ridurre o contrastare gli aspetti di naturalità legati alle dinamiche fluviali o geomorfologiche.

La consultazione di mappe catastali (in scala 1:2.000 o 1:4.000) è di grande rilevanza in quanto il regime di proprietà dei suoli è spesso un elemento condizionante e determinante per le scelte di programmazione territoriale.

L'individuazione dei confini demaniali lungo strade, fiumi o litorali è talvolta problematico e uno degli obiettivi della sistemazione ambientale può essere quello di riedificare in maniera visibile dei confini ai beni pubblici e agli ambienti fluviali (con siepi, filari, fossi, ecc.), in modo da impedire fenomeni d'abusivismo o appropriazione indebita dei suoli.

Le mappe catastali usate come base per rilievi topografici, costituiscono spesso un'interessante testimonianza storica sulle dinamiche fluviali, perché consentono di verificare lo spostamento del ciglio di sponda imputabile all'evoluzione del corso d'acqua, confine tradizionale delle acque pubbliche e quindi limite estremo dei fondi agricoli.

### 6.3.2.3 Studi e rilievi esistenti

Se esistono studi, tesi di laurea, ricerche, precedenti progetti relativi all'area d'intervento, è bene acquisire tale materiale per gli opportuni riscontri sullo stato dei luoghi; studi e analisi ambientali preesistenti, inoltre, possono testimoniare sull'evoluzione storica di un fenomeno (frana, dissesto, ecc.), fornendo spesso grandezze e misure utilizzabili per il dimensionamento degli interventi futuri.

Nei progetti a forte caratterizzazione territoriale può risultare utile raccogliere informazioni provenienti dalla conoscenza e dall'esperienza di coloro che vivono nel territorio o che ci lavorano, primi fra tutti i tecnici che operano nelle Amministrazioni pubbliche.

### 6.3.2.4 Raccolta della bibliografia

La bibliografia allegata ai progetti è ordinariamente costituita dai testi o studi citati nel lavoro, o utilizzati a giustificazione di particolari affermazioni. Nel caso dei progetti che utilizzano tecniche di Ingegneria Naturalistica, si pone il problema di fornire suggerimenti di ricerca sia ai progettisti sia ai soggetti che devono svolgere una funzione di verifica del progetto, sia a quei tecnici che, pur visionando il progetto o occupandosi di problematiche affini, non conoscono i presupposti della disciplina, o non hanno esperienza di tali tecniche e sentono l'esigenza di approfondire l'argomento.

Nella fase di analisi dei costi, i riferimenti obbligati per il progettista sono i prezzari ufficiali del Ministero dei Lavori Pubblici (pubblicati regione per regione a cura del Provveditorato alle Opere Pubbliche), i prezzari regionali, in particolare quelli specifici per opere agricole-forestali o di ingegneria naturalistica eventualmente esistenti, i prezzari della associazioni di categoria (per esempio, Assoverde, AIPIN).

Nella redazione dei progetti di Ingegneria Naturalistica e ambientale si utilizzano spesso dei materiali di provenienza locale o legati a particolari circostanze di approvvigionamento (castagno, paleria, pietrame di cava, piante autoctone, ecc.). I prezzi di tali materiali possono distaccarsi anche in maniera sensibile dai prezzi ufficiali di riferimento.

Nella fase di progettazione preliminare occorre eseguire dei rilievi sul campo che possano consentire misurazioni di larga massima (rilievi speditivi) in quanto l'importo economico degli interventi previsti va quantificato con una certa precisione; tali rilievi non possono sovente essere confortati da misurazioni adeguate, in quanto gli incarichi per rilievi e misure sono normalmente compresi nella fase definitiva della progettazione. Il lavoro di progettazione deve quindi contare sulle conoscenze acquisite in campo o tramite l'integrazione con analisi cartografiche.

Tali rilievi sono costituiti da ricognizioni in campo, dalla raccolta di un'adeguata documentazione fotografica, dalla raccolta di cartografie e da rilievi topografici di ridotta estensione, dal tracciamento di sezioni idrauliche tipo e, ove

possibile ed opportuno, da disamine della flora e della vegetazione del luogo attuate in modo approfondito, anche se non necessariamente sistematico da documentazioni iconografiche storiche (per verificare le dinamiche naturali), dal reperimento di informazioni cartografiche sul regime di proprietà, sulle reti di servizi passanti nelle aree di progetto e sulle servitù a queste collegate (Bacci, Bardi, Dignani, 2000).

### 6.3.2.5 Rilievi topografici

I rilievi topografici puntuali nelle aree direttamente interessate dal progetto sono sempre necessari e sono finalizzati alla restituzione di planimetrie e sezioni localizzate; la scala prescelta varia a seconda dell'estensione.

Per ciò che riguarda le sezioni, poiché costituiscono elaborato di supporto anche alla fase di cantiere, vi è la necessità di consentire la percezione esatta delle modificazioni del profilo dei suoli o delle condizioni idrauliche; perciò è opportuno disporre di restituzioni a stampa a scala 1:100, 1:50, 1:20 o, addirittura, 1:10.

Il rilievo topografico assume spesso un ruolo marginale della progettazione, posto adeguatamente ad un livello inferiore rispetto agli altri aspetti trattati, spesso con valenza connessa a valutazioni esclusivamente economiche (computi, espropri). Già tali finalità meriterebbero maggiore cura e l'esame di alcuni elaborati progettuali, le conseguenti approssimazioni che un "errato" rilievo topografico e una cattiva restituzione implicano, induce a ritenere che vada riservata un'attenzione maggiore agli aspetti topo-cartografici relativi alle progettazioni nel campo idraulico e geotecnico. Nella pratica professionale il progettista (o il gruppo di progettazione), in genere, delega il rilievo topografico a professionisti specializzati che spesso hanno poca familiarità con le problematiche ambientali.

Spesso si nota un'attenzione, non sempre motivata alla precisione numerica, ma non bilanciata da una cura delle problematiche geomorfologiche o delle emergenze idraulico-naturalistiche.

Pertanto l'attività di indirizzo e controllo dei rilievi non è da trascurare, date le implicazioni e i limiti che può provocare alla prosecuzione dell'iter progettuale.

Le considerazioni fin qui svolte spingono a ritenere indispensabile una riflessione sui *criteri guida dei rilievi topografici* finalizzati alla progettazione di un intervento naturalistico.

Un accurato rilievo consentirà di sviluppare meglio tutte le fasi progettuali e di rappresentare in modo più chiaro le indicazioni necessarie a chi è deputato all'esame e valutazione del progetto e a chi, successivamente, dovrà eseguire l'oggetto progettuale.

A questo proposito si segnala che dovrà essere posta particolare attenzione nella determinazione della sezione di deflusso e, della tipologia delle opere d'arte, della situazione futura in rapporto alle operazioni di manutenzione. Si dovrà predisporre quanto necessario per la circolazione dei mezzi in genere, dei raggi d'azione dei mezzi

effossori (per lo scavo) o per il diserbo, dei trasporti a rifiuto, ecc.

Sulla scorta di quanto detto non sembrerà fuori luogo parlare di *programma di rilievo* o ancora meglio di *progetto di rilievo topografico*.

Le finalità progettuali influenzano le scelte topografiche e indicano il grado di precisione (incertezza), nella determinazione delle grandezze topografiche atte a rappresentare, in maniera "fedele", l'oggetto del rilievo. È altresì fondamentale prefigurare l'estensione del rilievo:

- piccola estensione;
- media estensione;
- grande estensione.

Il primo passo progettuale è finalizzato alla predisposizione di una cartografia di base.

È opportuno ed indispensabile che tale cartografia di base sia approntata prima che venga svolta qualsiasi altra attività progettuale; altrettanto indispensabile che tutti gli "attori" del progetto siano forniti ed interagiscano tra di loro a mezzo della stessa cartografia di base. La cartografia di base per i lavori progettuali in genere è frutto di un'elaborazione e/o di un aggiornamento di una cartografia preesistente. È importante aggiornare la cartografia con l'inserimento delle infrastrutture e completarla con l'acquisizione delle mappe recanti l'indicazione dei vincoli di varia natura imposti sul territorio (delimitazioni di parchi naturali, riserve naturali, aree archeologiche, ecc.)

Acquisita e completata la cartografia di base, essa sarà messa a disposizione di tutti gli "attori" che interverranno nella progettazione (ingegnere, architetto, geologo, agronomo, forestale, naturalista, ecc.) in modo da adottare un'unica base per i riferimenti cartografici, a vantaggio della comprensione.

La cartografia di base può essere utile per l'impostazione del progetto, ma per l'elaborazione del progetto esecutivo è indispensabile procedere al rilievo dettagliato del terreno su cui va ad inserirsi l'opera.

Il rilievo di dettaglio fornirà:

- la restituzione plano-altimetrica dell'area in oggetto;
  - in ambito fluviale: dell'area interessata ordinariamente dal deflusso della corrente idrica, delle aree di espansione, delle aree di spandimento, delle sponde e degli argini per una distanza significativa dall'alveo;
  - in ambito di versante: nell'intorno dell'area in oggetto sino a caratterizzare il suo assetto morfologico;
- in ambito fluviale è necessario eseguire il profilo longitudinale dei punti più depressi dell'alveo, delle sommità arginali o del terreno immediatamente vicino alle sponde nel caso di alvei incassati;
- per i versanti è necessario eseguire delle sezioni trasversali che rappresentino l'andamento altimetrico in direzione perpendicolare all'asse, o lungo la linea di massima pendenza.

La cartografia di dettaglio, elaborata a seguito del rilievo celerimetrico, dovrà comprendere quanto riportato nella **tabella 6.1**.

Per la simbologia da adottare si consiglia di far ricorso a quella codificata, in quanto generalmente usata e facilmente reperibile in pubblicazioni.

Per i tematismi specifici e non previsti si farà ricorso a nuovi simboli, avendo cura di adottare tratti semplici con richiami logici tali da renderli di intuibile lettura.

Nelle prime fasi, risulta utile un confronto tra il progettista ed il topografo. Il progettista illustra all'incaricato del rilievo le idee progettuali e fornisce ogni elemento utile per la valutazione dei particolari da acquisire. Si consulterà la cartografia acquisita individuando i capisaldi su cui dovrà appoggiarsi il rilievo di dettaglio. Se il progettista dovrà compiere ogni sforzo per trasmettere al topografo lo spirito che anime la progettazione, quest'ultimo farà in modo da percepire tutte le "esigenze topo-cartografi-

**Tab. 6.1** - *Contenuto della cartografia di dettaglio elaborata a seguito del rilievo celerimetrico*

	Corsi d'acqua	Versanti
Rappresentazioni	X	X
Grandezze geometriche	X	X
Alveo	X	
Argini	X	
Piano campagna	X	X
Golene	X	
Pendenze	X	X
Livelli idrici	X	
Magra	X	
Morbida	X	
Piena	X	
Aree d'espansione	X	
Intersezioni	X	X
Ponti	X	
Strade	X	X
Immissioni	X	
Scarichi	X	X
Derivazioni	X	
Guadi	X	
Indicazioni ai fini della sicurezza	X	X
Interferenze	X	X
Linee elettriche		X
Gasdotti		X
Linee telefoniche		X
Acquedotti	X	X
Fognature	X	X
Aree belliche	X	X
Indicazioni per il programma di manutenzione	X	X

che” necessarie per trasformare le idee progettuali in elaborati di cantiere.

Un buon rilievo è anche frutto di una buona conoscenza del territorio, pertanto la ricognizione dei luoghi dovrà interessare un ampio intorno alla zona d’interesse individuando ogni particolare utile quali opere d’arte, strade, fabbricati, linee elettriche, linee telefoniche, acquedotti, fognature, metanodotti ed ogni altro particolare che potrà tornare utile nella progettazione.

Va osservata attentamente la vegetazione (alberi, arbusti, tipi di colture, ecc.) elemento fondamentale per una progettazione che voglia far ricorso a tecniche di Ingegneria Naturalistica compatibili con lo stato dei luoghi.

Il sopralluogo preliminare consentirà al topografo di avere una visione generale dei luoghi. È opportuno in questa fase eseguire un’adeguata documentazione fotografica con l’indicazione sulla carta base dei punti di vista e dei coni di visuale.

Bisogna approfondire in quest’operazione più tempo possibile in quanto un’attenta ricognizione, oltre all’utile raccolta di dati, consentirà di comprendere l’evoluzione del fenomeno studiato (corso d’acqua e regime idraulico oppure versante e dinamica dei movimenti), ricavando da ciò indicazioni che condurranno a corrette scelte progettuali.

Oltre alla puntuale ricognizione dell’area in progetto, nel caso di intervento in ambito fluviale va fatta anche una ricognizione dell’intero bacino imbrifero per poter successivamente cartografare grandezze necessarie alla stima di parametri che pure concorrono alla determinazione della portata (superfici permeabili boscate, superfici impermeabili non boscate, superfici impermeabili) e nel caso di ambito di versante la ricognizione va estesa all’intero versante.

La ricognizione va anche indirizzata al rilievo di tutti i particolari che concorreranno successivamente alla redazione del piano di sicurezza ed, in particolare, alle zone individuate come aree di cantiere.

Nei sopralluoghi che si effettueranno, incontrando la gente del posto la si interroghi sull’esperienza che la lega agli elementi del territorio futuri, o almeno apparentemente tali: queste considerazioni potranno suscitare idee progettuali o comunque fornire indicazioni preziose sull’evoluzione dei fenomeni ambientali. Nel caso in cui sulle carte a nostra disposizione non sia riportato il corso d’acqua oppure lo stesso abbia subito un cambiamento di letto od altre variazioni, potremmo, in un lasso di tempo brevissimo, anche in fase di ricognizione, rilevare la nuova situazione utilizzando un ricevitore GPS ed un sistema di rilevamento dinamico.

Altrettanto dicasi per i movimenti franosi ancora attivi.

Il topografo proseguirà con la predisposizione delle apparecchiature, degli strumenti e del personale ausiliario. Il progettista fornirà indi-

cazioni circa gli strumenti da utilizzare, in funzione del grado di precisione, dell’estensione del rilievo e dell’altimetria; il topografo verificherà ed integrerà tali indicazioni concludendo tale fase con la redazione di una lista di strumenti ed apparecchiature e dei collaboratori, che è strettamente connessa alla metodologia di rilievo adottata.

Si predisporrà l’occorrenza per l’accesso alla zona da rilevare: trattandosi generalmente di aree fluviali o di versanti in dissesto sarà certamente presente una vegetazione arbustiva ed arborea, per questo si potrebbe verificare il caso in cui si debba far ricorso all’uso di decespugliatori o tagliaerba.

Nel rilievo di medie dimensioni di solito il rilievo plano-altimetrico è eseguito separatamente nelle fasi planimetrica ed altimetrica.

La parte planimetrica è rilevata col ricorso a strutture di appoggio costituite da poligoni di tipo chiuso, più raramente da triangolazioni, in ogni caso da strutture predeterminate, aventi i vertici situati in prossimità del corso d’acqua e collegate ai punti di posizione nota (vertici trigonometrici - poligoni o triangolazioni di base).

La parte altimetrica è definita da operazioni di livellazioni, in genere livellazioni geometriche, in alcuni casi trigonometriche, anch’esse definite da strutture iperdeterminate e collegate a punti di quota note (livellazioni di base).

Una tecnica di utilizzo più recente nel rilievo plano-altimetrico può essere quella già accennata del Sistema di Posizionamento Globale (GPS) dei vertici di appoggio, attraverso l’uso di ricevitori satellitari con stazionamento statico puro o statico rapido.

Le fasi di un rilievo celerimetrico di piccola estensione o di dettaglio sono due:

- la determinazione dei punti d’appoggio partendo dai capisaldi con poligoni, più raramente si fa ricorso alle triangolazioni;
- la determinazione dei punti di dettaglio mediante il rilievo per coordinate polari, per coordinate cartesiane o per allineamento.

Particolare attenzione dovrà essere posta nel rilievo delle sezioni trasversali che dovranno essere eseguite con le seguenti modalità:

- secondo piani verticali e perpendicolari, all’andamento del corso d’acqua esistente od al nuovo asse progettato nonché per le aree di versante lungo la linea di massima pendenza, al fine di ottenere quanti più punti di dettaglio;
- nei corsi d’acqua le sezioni dovranno essere realizzate con le spalle al senso della corrente e la spaziatura dovrà avere una sequenza di 150-200 m per canali su fondovalle, con sequenza di 20-30 m per corsi d’acqua prevallivi, ogni qualvolta tra due sezioni la differenza di quota del pelo libero dell’acqua superi i 50 cm e in ogni cambio sensibile della geometria del terreno;
- nei versanti le sezioni dovranno essere realizzate ortogonalmente e longitudinalmente alla linea di massima pendenza con spaziatura compatibile con l’estensione dell’area interes-

sata e con battitura dei punti ogni qualvolta vi sia un cambio di pendenza.

In corrispondenza delle opere d'arte, produrre 4 sezioni: 2 che interessino l'opera, 1 a monte ed 1 a valle distanziate rispetto all'opera di circa 10-50 m.

Occorrerà rilevare, con altrettanta attenzione, tutti gli scoli d'acqua, le caratteristiche dimensionali, la loro origine e natura.

Il rilievo topografico assumerà tutti i dati che consentiranno la restituzione su carta dei seguenti elaborati:

- piano quotato per punti;
- piano quotato con curve di livello;
- planimetria, profilo e sezioni;
- planimetria catastale dello stato di fatto;
- rilievo delle opere d'arte.

Se si ritiene opportuno, si eseguiranno delle verifiche con l'ausilio dello strumento. Con l'ausilio delle monografie, si partirà dai capisaldi e si controllerà prima la rete dei punti di appoggio e poi i punti di dettaglio.

Un esempio: di un rilievo interessante una zona lungo 1 km si potranno verificare 2 punti d'appoggio ed una sezione ogni venti.

Verificata la rispondenza del rilievo con lo stato di fatto si procederà all'aggiornamento della cartografia acquisita.

Si costruirà l'andamento planimetrico, in modo rigorosamente geometrico, con curve e rettilinei; su apposite tabelle sono annotati i dati caratteristici degli elementi geometrici (angoli al vertice, angoli al centro, tangente, bisettrice, sviluppo dell'arco, lunghezza dei rettilinei, ecc.).

Occorrerà tenere conto delle proprietà esistenti e da espropriare in modo da non creare eccessivi relitti o smembramenti.

Manifestandosi delle incompatibilità si correggeranno i tracciati ed i profili con le modalità e nella successione come sopra indicate.

Definito il tracciato, il profilo e le sezioni si porrà l'attenzione sulla sistemazione delle acque.

Definiti gli elaborati (planimetria, profilo, sezioni) si potranno calcolare, eventualmente, le aree ed i volumi per computare i movimenti di materiale.

#### 6.3.2.6 Analisi dell'ambiente di intervento

L'analisi degli ecosistemi interessati dall'intervento si rende necessaria ad orientare la scelta delle sistemazioni del suolo, delle regimazioni idrauliche, delle specie vegetali di progetto. Quest'analisi può essere costituita da differenti contributi, per esempio da una semplice descrizione all'interno della relazione di progetto, ad una restituzione cartografica che individui il confine tra i diversi ecosistemi (fronte del bosco, linea di sponda, ecc.), ad una dettagliata descrizione della fauna, ad una ricerca bibliografica sulle caratteristiche del sistema di paesaggio nel quale si interviene.

#### 6.3.2.7 Rilievi vegetazionali

La flora esistente nel sito può essere indagata in due modi:

- attraverso un censimento floristico;
- attraverso un'analisi vegetazionale.

Nel primo caso, vi sono sistemi di analisi codificati e consuetudinari che possono consentire di rilevare tutte le specie presenti in una determinata area e di attribuire al sito caratteristiche ambientali di qualità o di degrado ambientale a seconda del tipo di spettro biologico, corologico ed ecologico che emerge dal censimento.

Il censimento floristico, condotto con criteri rigorosi e scientifici, presuppone rilievi di campo diffusi, indagini a campione approfondite con delimitazione di aree di saggio permanenti, in diverse stagioni. L'aspetto positivo del censimento floristico è dato dalla sua potenzialità di "fotografare" gli aspetti di qualità ambientale di un sito consentendo un'ottima ed immediata visualizzazione con la quantificazione delle specie rare, delle specie endemiche ed esotiche. L'analisi floristica, naturalmente, non può informare sulle dinamiche vegetazionali o sui fenomeni in atto a livello di fitocenosi (dominanza, recessione, ecc.).

L'analisi vegetazionale, invece, propone un approccio di tipo diverso, cioè un'indagine che, pur partendo dal censimento floristico, pone l'attenzione sui rapporti di tipo sociale (competitivo) che le piante intrattengono tra loro; questo tipo di analisi ci offre informazioni sulle associazioni vegetali, sui rapporti esistenti all'interno di tali consociazioni, sul livello di evoluzione e di maturità dell'associazione medesima.

Il metodo più consolidato di analisi delle cenosi vegetali è il "metodo fitosociologico" o di "Braun Blanquet". Il vantaggio maggiore di tale sistema di analisi è dato dall'esistenza di una strumentazione di analisi e di restituzione dei dati conosciuta dai tecnici del settore; inoltre fornisce informazioni di tipo dinamico in quanto, oltre ad analizzare una formazione vegetazionale consentendoci di attribuirle ad un'associazione classificata, ci permette di valutare se localmente questa si presenta in progressione, in evoluzione o in regressione.

#### 6.3.2.8 Studi idrologico-idraulici

A valle e a monte dell'area di progetto, nelle situazioni dove le tecniche d'intervento potrebbero far variare le portate è necessario prevedere uno studio idrologico - idraulico, già nella fase di progettazione preliminare.

La valutazione di alcune grandezze idrauliche è comunque importante e viene richiesta se esse incidono sul funzionamento o sulla resistenza dell'opera oppure, viceversa, se quest'ultima può determinare una variazione delle stesse grandezze tale da comportare eventuali problemi. In tali casi è opportuno produrre verifiche che attestino l'accettabilità rispetto alle condizioni stimate, oppure che orientino alla modifica nel dimensionamento o nella scelta delle soluzioni.

Si tenga presente che, quasi sempre, le grandezze in gioco hanno natura stocastica e, soprat-

tutto per le opere di Ingegneria Naturalistica, i dati necessari a tarare modelli interpretativi sono essenzialmente carenti, se non mancanti. Quindi si ricorre a osservazioni di riferimento e a principi cautelativi.

#### 6.3.2.9 Studi geologici e geotecnici

In molti casi può essere necessario verificare le condizioni di stabilità del terreno e delle opere ivi collocabili, tramite lo studio di eventuali movimenti franosi e valutazioni geotecniche, che richiedono l'analisi del tipo di terreno, delle condizioni geomorfologiche e idrogeologiche. Queste ultime possono essere importanti anche nel caso di potenziali effetti determinati dall'interazione con la falda (Bacci, Bardi, Dignani, 2000). Gli studi della geomorfologia e delle dinamiche fluviali in particolare del trasporto solido sono importanti per la mirata pianificazione e progettazione degli interventi di sistemazione idraulica dei corpi idrici, specie ove non si limitino a semplici consolidamenti puntuali.

#### 6.3.2.10 Rilievo fotografico

È necessario nella fase di progettazione preliminare in quanto consente un'immediata visualizzazione delle problematiche e dello stato dei luoghi interessati dal progetto. È opportuno che la documentazione fotografica sia congrua nel numero delle immagini e costituita da foto ben leggibili georeferenziate ed organizzate con riferimenti didascalici.

#### 6.3.2.11 Ulteriori dati

Nella fase di elaborazione progettuale può risultare utile effettuare confronti ed incontri mirati con la popolazione, con soggetti collettivi portatori di interessi diffusi, con associazioni e comitati locali.

Come accennato i progetti di Ingegneria Naturalistica presuppongono la disponibilità di materiale vivo o morto usualmente non presente sul mercato, e presuppongono il coinvolgimento di maestranze, forestali, tecnici del verde, specializzati in tale settore.

Tra i materiali fuori mercato, rientrano la ramaglia viva di salice, la ramaglia morta di castagno di dimensioni ridotte, le talee in genere di specie dotate di capacità di propagazione vegetativa e di capacità di emissione di radicazione avventizia (salici, pioppi, tamerici, miricaria, ecc.).

Motivi di carattere paesaggistico-ambientale suggeriscono poi di utilizzare terreni e pietrame di provenienza locale, che possiedono il chimismo compatibile con le condizioni stazionali, i colori e la forma propri del luogo e che inglobano normalmente semi già presenti in sito.

### 6.3.3 Progettazione

L'articolazione, la struttura e gli obiettivi delle diverse fasi della progettazione sono definite dalla legge quadro sui lavori pubblici (L. 109/

1994). In genere sono previste tre fasi di progettazione, corrispondenti a rispettivi tre livelli di approfondimento e definizione: preliminare, definitiva ed esecutiva. Si rimanda quindi alla suddetta normativa (art. 16) e al suo regolamento attuativo (DPR 554/1999) per le procedure e le formalità da espletare.

A tal proposito, in linea generale, l'articolo 15 del suddetto regolamento dispone quanto segue: "La progettazione deve essere adeguata tra l'altro a principi di minimizzazione dell'impiego di risorse materiali non rinnovabili e di massimo riutilizzo delle risorse naturali impegnate nell'intervento e di massima manutenibilità, durabilità dei materiali e dei componenti, sostituibilità degli elementi, compatibilità dei materiali ed agevole controllabilità delle prestazioni nel tempo.

Il responsabile del procedimento cura la redazione di un documento preliminare all'avvio della progettazione, con allegato ogni atto necessario alla redazione del progetto [...]. Il documento preliminare [...] riporta fra l'altro l'indicazione a) della situazione iniziale e della possibilità di far ricorso alle tecniche di Ingegneria Naturalistica; h) degli impatti dell'opera sulle componenti ambientali [...].

I progetti [...] sono redatti [...] in modo da assicurare il massimo rispetto e la piena compatibilità con le caratteristiche del contesto territoriale e ambientale in cui si colloca l'intervento, sia nella fase di costruzione che in sede di gestione.

Gli elaborati progettuali prevedono misure atte ad evitare effetti negativi sull'ambiente, sul paesaggio [...] in relazione all'attività di cantiere". La progettazione deve essere adeguata tra l'altro a principi di minimizzazione dell'impiego di risorse materiali non rinnovabili e di massimo riutilizzo delle risorse naturali impegnate nell'intervento e di massima manutenibilità, durabilità dei materiali e dei componenti, sostituibilità degli elementi, compatibilità dei materiali ed agevole controllabilità delle prestazioni nel tempo.

La *progettazione preliminare* ha lo scopo essenziale di consentire una verifica con il committente su un ventaglio di ipotesi progettuali ancora da esplorare o da approfondire in modo da poter scegliere con precisione gli indirizzi del successivo progetto esecutivo. Lo scopo principale della progettazione preliminare è, talvolta, quello di consentire ad un Ente di rivolgere specifiche richieste di finanziamento ad altri Enti pubblici erogatori, competenti in materia trattata o dotati di poteri di controllo o di supervisione. Gli elementi costitutivi della progettazione possono essere:

- caratterizzazione del problema, tramite rilievi di campo e indagini preliminari, descrizione sintetica delle problematiche che originano la necessità di intervento;
- individuazione delle ipotesi di soluzione, tramite descrizione sintetica delle strategie di intervento e delle tecniche ritenute più adeguate, loro localizzazione su cartografia a sca-

la vasta e media, documentazione schematica sulle tipologie proposte;

- studio di prefattibilità ambientale, ovvero confronto di massima dei prevedibili effetti fra le possibili soluzioni e individuazione delle misure di mitigazione e miglioramento;
- analisi economica, tramite determinazione di massima dei costi previsti per le sistemazioni proposte.

La progettazione definitiva ed esecutiva deve essere strutturata in modo da consentirne una valutazione da parte degli organi pubblici committenti o di controllo; deve, quindi, prevedere una relazione tecnica sintetica che motivi, sulla base degli studi svolti in fase preliminare e dei successivi confronti, le scelte tecniche e progettuali; deve, inoltre, prevedere tutti gli elaborati grafici necessari a rendere comprensibile e cantierabile l'intervento. Per ciò che riguarda la parte economica, il progetto esecutivo deve prevedere un elenco prezzi, con i prezzi a misura e a corpo di tutti i materiali e tutte le opere progettate o inserite nel medesimo progetto, un capitolato speciale d'appalto con tutte le condizioni e prescrizioni d'impresa, un computo metrico estimativo con la quantificazione degli interventi, il relativo prezzo e i totali risultanti. Si tenga inoltre presente che il "regolamento Merloni" richiede anche il "quadro dell'incidenza percentuale della quantità di manodopera", che risulta essere un aspetto importante per i lavori di Ingegneria Naturalistica.

Per gli elaborati che compongono il progetto definitivo ed esecutivo si rimanda ai capitoli specifici la trattazione più approfondita degli argomenti.

### 6.3.3.1 Indagini geologiche e geotecniche

Alcune tecniche di Ingegneria Naturalistica (gradonate vive, cordonate vive, palificate vive) possono essere interpretate come strutture geometricamente e strutturalmente definite, il cui comportamento meccanico può essere quindi modellizzabile matematicamente.

Per quel che riguarda gli interventi di Ingegneria Naturalistica, in ambito fluviale, di versante od in aree degradate, le relazioni geologica e geotecnica sono parte della documentazione progettuale, già nella fase di progettazione preliminare.

Studi geomorfologici, geologici, geopedologici e geotecnici di dettaglio con indagini in sito e prove di laboratorio, sono indispensabili a corredo della progettazione, perché l'efficacia delle tecniche di Ingegneria Naturalistica è direttamente collegata al tipo di substrato, alle sue caratteristiche geomeccaniche, al chimismo del suolo.

Alcune delle analisi in ambito geologico e geotecnico, che devono essere effettuate come supporto alla progettazione di opere di Ingegneria Naturalistica possono essere così suddivise:

#### 1) In ambito fluviale:

- A scala di bacino idrografico:
  - analisi geolitologiche e strutturali;
  - analisi geomorfologiche;

- analisi morfometriche, con acquisizione dei seguenti elementi:
  - § delimitazione del bacino (spartiacque superficiale e sotterraneo);
  - § forme reticolate (*pattern*);
  - § perimetri e superfici del bacino e dei sottobacini;
  - § quote;
  - § lunghezza del corso d'acqua principale e delle aste fluviali di classe minore;
  - § pendenza dei corsi d'acqua e del versante;
  - § densità dei drenaggi;
  - § fattore forma;
  - § rapporti di biforcazione;
  - § uso del suolo per il coefficiente di deflusso;
  - § capacità d'infiltrazione.

- Per le sponde ed il fondo del corso d'acqua:
  - competenza del fiume;
  - dimensione massima dei blocchi trasportati;
  - erosione delle sponde;
  - aree in deposito;
  - presenza di opere (di Ingegneria Naturalistica e non) già realizzate.

#### 2) In ambito di versante:

- analisi geolitologiche e strutturali;
- analisi geomorfologiche (acclività, presenza di elementi morfogenetici);
- stratigrafia dei terreni con acquisizione dei seguenti elementi:
  - § spessori;
  - § presenza e caratteri della falda acquifera, filtrazione ecc;
  - § caratteristiche geomeccaniche;
- geometria, estensione ed andamento in profondità della/e superficie/i di scivolamento;
- valutazione delle volumetrie (masse) di terreno in movimento;
- presenza ed interferenza delle opere (di Ingegneria Naturalistica e non) preesistenti;
- verifiche numeriche di stabilità di pendio, allo stato attuale, a seguito dell'intervento.

Si possono di seguito elencare alcune analisi, per quanto riguarda gli aspetti geotecnici:

- granulometria dei terreni di sedime degli interventi ed in ambito fluviale dei sedimenti trasportati e depositati con determinazione dei *limiti di Atterberg* per il materiale più fine, porosità e grado di saturazione;
- parametri geotecnici dei terreni di sedime delle opere, in particolare angolo d'attrito interno, coesione, peso naturale, mediante prove in sito ed in laboratorio, in condizioni drenate e non drenate.

### 6.3.3.2 Integrazione agli studi idraulici e idrologici

Nel caso di interventi in ambito fluviale i dati da acquisire per gli studi di carattere idraulico possono essere di seguito elencati nei seguenti punti:

- dati idrologici della stazione pluviometrica

più vicina al luogo dell'intervento (reperibili presso Enti);

- dati topografici del/i bacino/i sotteso/i al corso d'acqua e sversanti nello stesso;
- rilievi plano-altimetrici per il calcolo delle pendenze del corso d'acqua compreso il profilo longitudinale;
- rilievi per l'acquisizione della velocità del corso d'acqua;
- rilievi spondali per la definizione dei coefficienti di scabrezza.

Gli Enti territoriali con specifiche competenze sulla gestione della rete idrografica hanno già condotto studi aventi analoghe finalità; i dati in essi raccolti ed elaborati, costituiscono un preciso riferimento di base per la redazione dei progetti di sistemazione idraulico-ambientale; in particolare si ricordano:

- SAPRO - Ministero dei Lavori Pubblici - Provveditorato per le Opere Pubbliche del Lazio, *Piano generale per la difesa del suolo e la utilizzazione delle risorse idriche del Bacino del Fiume Tevere. Secondo stralcio*, Roma, 2001;
- Autorità di Bacino del Fiume Tevere, *Progetto di Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico* (PAI), Roma, 2001;
- Autorità di Bacino del Fiume Tevere, *Primo Stralcio Funzionale. Aree soggette a rischio di esondazione nel tratto del Tevere compreso tra Orte e Castel Giubileo. Progetto di Piano di Bacino*, Roma, 1995;
- Autorità di Bacino del Fiume Tevere, *Piano straordinario diretto a rimuovere le situazioni a rischio molto elevato* (PST), Roma 1999;
- Autorità di Bacino del Fiume Tevere, *Prima Elaborazione del Progetto di Piano di Bacino del Fiume Tevere*, Roma, 1999;
- Consorzio di Bonifica Tevere-Nera, *Studio per l'individuazione dei tratti fluviali in dissesto e a rischio ricadenti nel territorio consortile*, Terni, 1999;
- Consorzio Irriguo e di Bonifica Valdichiana Romana, *Studio idraulico*, in corso di elaborazione.

Se nel progetto preliminare si sono presentate sezioni tipo della sistemazione idraulico-ambientale, nel progetto definitivo ed esecutivo si devono allegare:

1) in ambito fluviale:

- sezioni idrauliche reali, localizzate su planimetria e quotate;
- profili longitudinali dell'alveo;
- calcoli idraulici rapportati alle sezioni tracciate;
- i livelli di piena nei punti interessanti;

2) in ambito versante:

- sezioni geologiche, localizzate su cartografia planimetrica, quotate, con indicazione della falda e della/e superfici di scivolamento;
- stratigrafie locali con parametri geomecanici;
- caratterizzazione geotecnica puntuale.

A titolo d'esempio si riportano quattro grafici indicanti un rilievo di base con indicati alcuni parametri idraulici necessari per la progettazione in un ambito fluviale.

In particolare nelle **figure 6.1 e 6.2** è rappresen-

tato un tratto di corso d'acqua con indicate le sezioni. Accanto alle sezioni viene mostrata, su reticolo di 2 m x 1 m, la situazione reale (**fig. 6.3**). Il quarto diagramma (**fig. 6.4**) mostra l'elaborazione grafica utile per la determinazione ed il confronto, su diverse sponde, della forza di trazione esercitata dall'acqua. In funzione della portata di piena, della geometria dell'alveo e del tracciato longitudinale del corso d'acqua, infatti, si ricavano le massime tensioni agenti sulle strutture di progetto.

I calcoli delle tensioni tangenziali massime agenti sulle opere possono essere effettuati secondo il metodo delle tensioni di trascinamento partendo dalla formula:

$$\tau_w = \gamma R i$$

dove:

$$\begin{aligned} \gamma &= \text{peso specifico} \\ R &= \text{raggio idraulico} \\ i &= \text{inclinazione} \end{aligned}$$

o, per sezioni con un rapporto tra la larghezza e la profondità superiore a 30:

$$\tau_w = g h i$$

$$h = \text{altezza del pelo libero}$$

tenendo ovviamente conto dei coefficienti correttivi per l'aumento delle tensioni tangenziali nei tratti di asta in curva. Tali valori vanno confrontati nei vari tratti dell'alveo con le massime tensioni tangenziali resistenti ammissibili per le strutture di progetto, verificando sempre che sia:

$$\tau_r > \tau_w$$

$$\begin{aligned} \tau_r &= \text{resistenza al trascinamento delle opere di Ingegneria Naturalistica;} \\ \tau_w &= \text{tensioni tangenziali massime agenti sulle opere.} \end{aligned}$$

A tal riguardo si veda il paragrafo relativo al *Metodo delle tensioni di trascinamento*.

Nella progettazione con le opere vive vanno considerate due situazioni:

- la resistenza dell'opera di Ingegneria Naturalistica a fine lavori, con le piante non sviluppate e quindi in grado di fornire il contributo della parte viva alla resistenza della struttura; tale situazione d'altronde nella verifica della portata transitabile nella sezione è quella più favorevole ai fini della scabrezza;
- la resistenza dell'opera di Ingegneria Naturalistica dopo tre periodi vegetativi con le piante sviluppate sia nell'apparato radicale, sia nella parte aerea, in grado di fornire il contributo della parte viva alla resistenza della struttura; tale situazione nella verifica della portata ( $q$ ) transitabile nella sezione, è quella più sfavorevole per l'aumento della scabrezza indotto dalla presenza delle piante. Il valore di tre periodi vegetativi è un dato medio: in situazioni estreme (quote elevate, zone a forte siccità), può aumentare.

Per quanto riguarda i valori della massima resistenza al trascinamento  $\tau_r$  delle opere di In-

Fig. 6.1 - Progetto esecutivo su un tratto di torrente Apsa (località Miniera, Urbino)

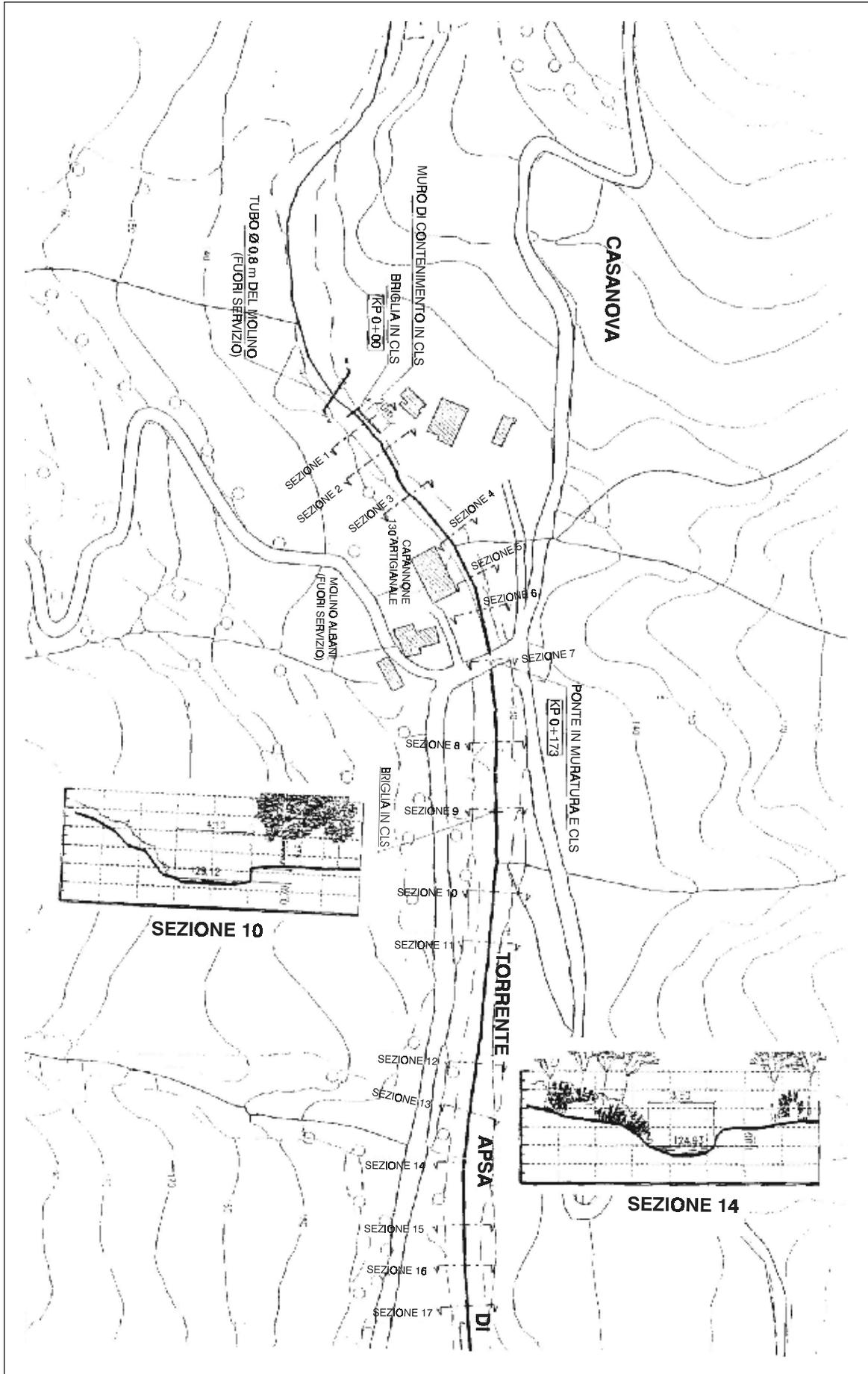


Fig. 6.2 - Progetto esecutivo su un tratto di torrente Apsa (località Miniera, Urbino)

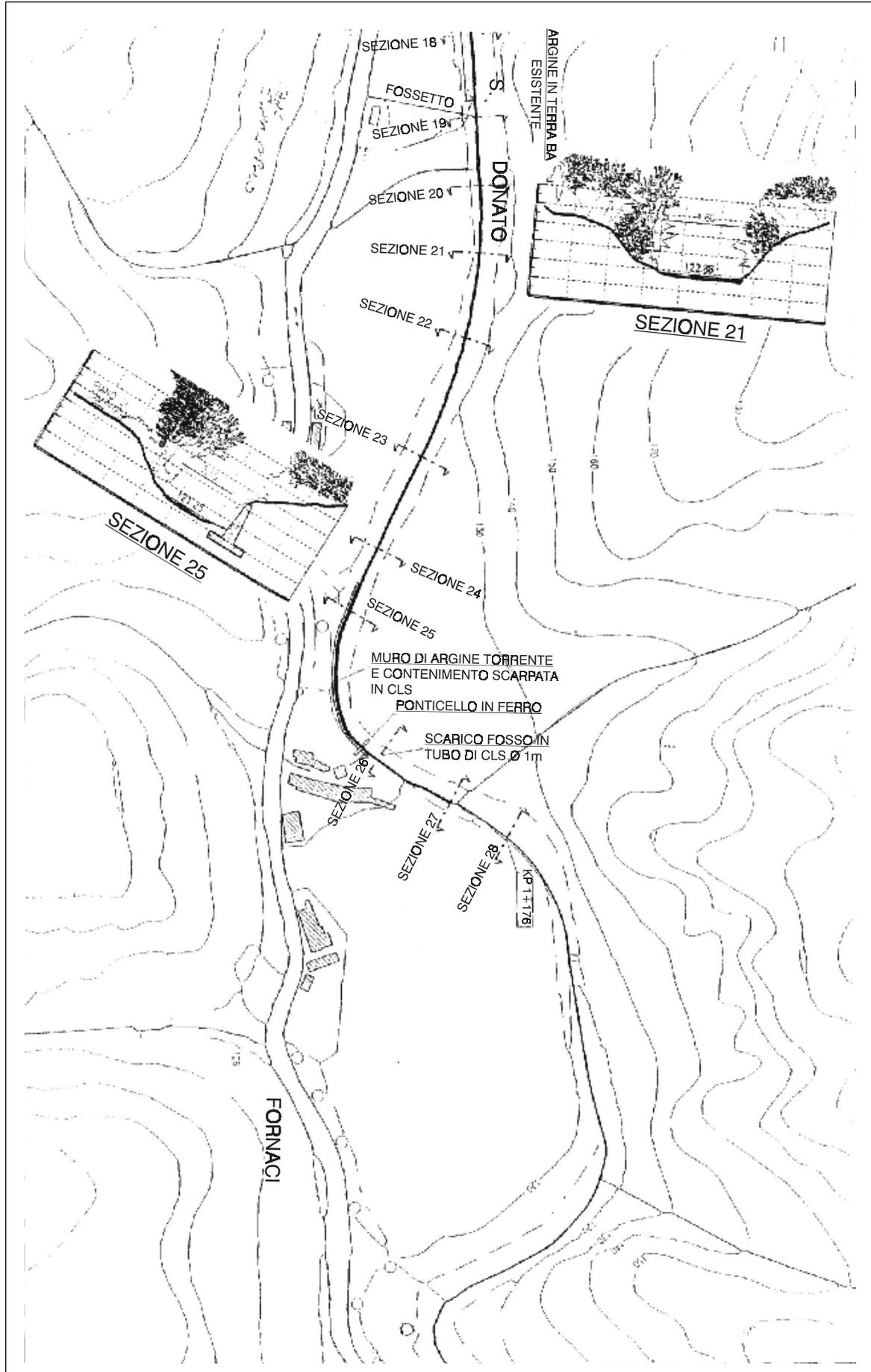


Fig. 6.3 - Progetto esecutivo su una sezione di un tratto di torrente Apsa (località Miniera, Urbino)

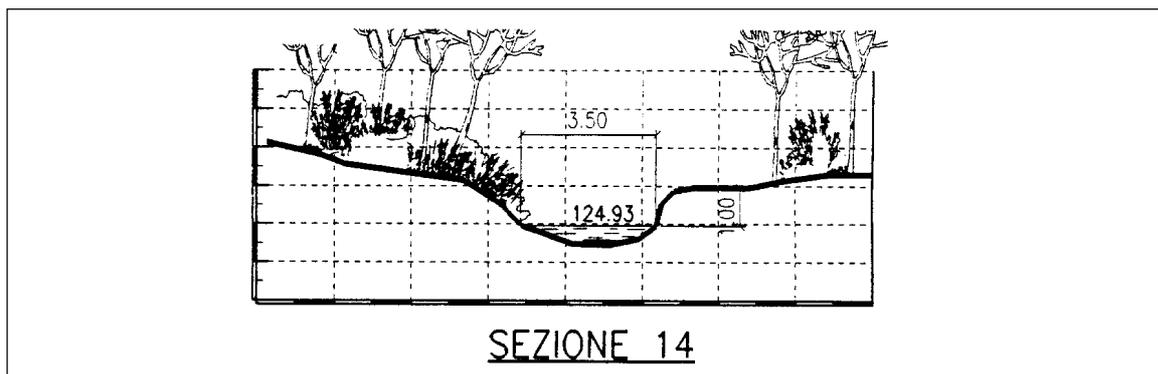
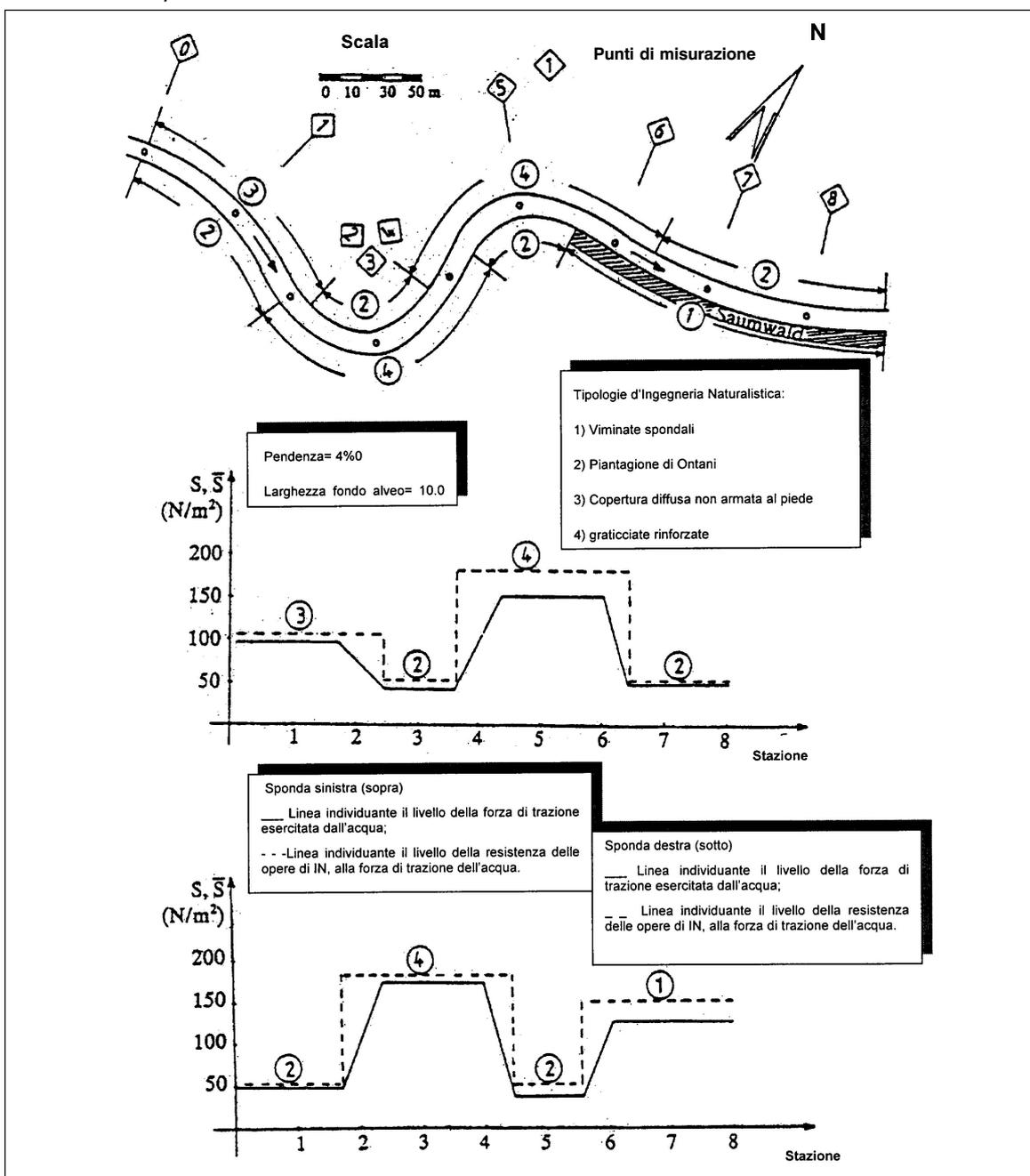


Fig. 6.4 - Diagramma mostrante la forza di trazione esercitata dall'acqua sulle diverse sponde del corso d'acqua



Fonte: Johannsen, modificato da Palmeri, 2001.

**Tab. 6.2** - Resistenza all'erosione delle opere di Ingegneria Naturalistica

Tipologia d'intervento	$\tau_{max}$ sopportabili dalla struttura appena realizzata senza lo sviluppo delle piante vive (N/m <sup>2</sup> )		$\tau_{max}$ sopportabili dalla struttura con le piante vive sviluppate dopo 1 + 1.5 anni (N/m <sup>2</sup> )	
	Cotico erboso	0,2 P		0,26 P
			0,3 M	
Talee	0,1 M	0,1 P	1,5 I	0,6 M
			1,0 G	0,6 P
Copertura diffusa	0,5 M	1,5 P	3,0 M	3,0 F
			3,0 P	
Viminata viva	0,1 M	0,1 P	0,1 P	0,5 M
			2,5 F	
Pali con fascine			2,5 F	
Gradonata viva	0,2 P		1,2 F	1,2 P
Ribalta viva	0,2 M	0,2 P	1,0 M	1,2 G
			1,5 F	0,8 P
File di ceppaie			0,8 F	
Fascinata viva	0,2 P	0,7 G (morta)	0,8 I	1,0 G
			2,0 F	0,6 P
Scogliera rinverdita con talee di salice	1,0 P		30 M	3,0 P
Palificata viva doppia	5,1 P		6,1 P	1,5 I
Gabbionate vive	3,5 M		4,1 M	
Materassi Reno rinverditi	2,0 ÷ 3,3 M		4,1 M	

**Legenda:** F = Florineth F., ("Acer", n. 4, 1999); M = Maccaferri - Programma Macra, 1996; P = Palmeri F., 1996; G = Gertsgraser - Convegno EFIB, Trieste, 1999; I = Rio Inferno - Cornolini P., Sauli G., in "Acer", n. 2, 2001.

Ingegneria Naturalistica si riportano i valori riportati nella **tabella 6.2**.

### 6.3.3.3 Studio di fattibilità ambientale (o studio d'impatto ambientale ove richiesto)

Nel caso di interventi di Ingegneria Naturalistica, la scelta di utilizzare queste tecniche rappresenta una forte attenzione al problema posto dall'articolo 29 del "regolamento Merloni". Occorre dimostrare in questo caso che la soluzione scelta, anche rispetto ad altre opzioni rientranti nella categoria delle opere di Ingegneria Naturalistica, rappresenta quella migliore per l'ambiente.

### 6.3.3.4 Analisi dei suoli

Per quanto riguarda l'analisi del suolo si può riportare a titolo d'esempio la **tabella 6.3**, in cui sono presenti gli aspetti principali di un'analisi del terreno. È quindi indispensabile conoscere le caratteristiche del terreno, ed in particolare:

- la classe di struttura (si analizza la forma degli aggregati, la durezza, l'umidità presente, ecc. e si classifica il terreno, ad esempio nella classe poliedrica subgrossolana);
- la classe di tessitura (sabbiosa, franco sabbiosa, ecc.);
- il colore;
- la denominazione (ad esempio, terreno su frana).

Dalle informazioni raccolte si trarranno poi conclusioni su:

- tessitura e struttura;
- sostanza organica e calcarea, eventualmente presente;
- caratteristiche idrologiche;
- caratteristiche chimiche (pH, presenza di fosforo, ecc.);
- qualità del suolo e suo possibile utilizzo.

6.3.3.5 Analisi del clima

Per quanto attiene il clima ed i climogrammi utili per l'Ingegneria Naturalistica, risultano interessanti i seguenti:

- diagramma pluviometrico;
- diagramma termometrico;
- diagramma termopluviometrico;
- diagramma ombrotermico;
- climogramma precipitazioni-temperature;

**Tab. 6.3 - Progetto di rinaturazione con tecniche di Ingegneria Naturalistica sul versante roccioso della diga di Ridracoli**

Provenienza	Orizzonte	Classi granulometriche e $\phi$ delle particelle in mm					Classe di tessitura	Classe di struttura	Codice colore di Munsell	Colore	Scheletro	Soluzione circolante								
		TOTALI			SABBIA							Particelle con $\phi > 2$ mm	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>+</sup>	SalI solubili totali	Conducibilità elettrica mS/cm	
		Sabbia % (2-0,05)	Limo % (0,05-2)	Argilla % (<0,002)	Grossa % (1-0,05)	Fine % (0,25-0,1)														Classe
Frana	1	740	220	40	185	555	SF FS	PSG	10 YR 6/2 Grigio Br. chiaro	scaglie	175									
	2	800	120	80	300	500	SF FS	GF	7,5 YR 5/4 Bruno giallastro	scaglie ciottoli	70									
S. Sofia	3	520	380	100	200	320	FS F	PG+GF	10 YR 6/4 Bruno giallastro chiaro	ciottoli	13									
S. Sofia	4	500	350	150	150	350	F FS	SPF	10 YR 7/3 Bruno m. pallido	ass.	-									
Graticc.	5	750	100	150	500	250	FS	GF	10 YR 4/4 Bruno giallastro scuro	scaglie	20									
Orizzonte	FRAZIONE ORGANICA					Carbonati totali % come CaCO <sub>3</sub>	Ferro libero % (Deb - Filmer)	Ossidi di ferro liberi %	MISURE IDROLOGICHE						PH					
	S. O %	Carbonato organico % (Walkley - Black)	Azoto totale % (Kjeldhal)	C/N	Densità				Contenuto in acqua				in H <sub>2</sub> O 1:2,5	in KCl M 1:2,5						
					Densità reale gr/cc				Densità app. gr/cc	Porosità %	Saturazione in H <sub>2</sub> O %	C.O.L.E.			Umidità all'aria %	Umidità % alla CC - 0,1at	Umidità % alla CC - 0,3at	Umidità % al P.A. - 15at.	Acqua disp. m <sup>3</sup> /ha/cm	
1	14,5	8,4	0,9	9	320			2,6	1,28	50	42				12	7	5,3	8,55		
2	11,7	6,8	0,8	8	170			2,5	1,12	53	47,5				16	8	8,3	8,72		
3	10,1	5,9	0,6	9	240			2,5	1,16	53	45				19	10	10,5	7,84		
4	10,7	6,2	0,7	9	140			2,6	1,18	54	43				15	9	7,1	8,59		
5	10,7	6,2	0,6	10	140			2,6	1,20	54	39				18	11	8,2	7,83		
Orizzonte	BASI ESTRAIBILI - NH <sub>4</sub> , AC				ACIDITÀ DI SCAMBIO			CSC TOTALE meq/100gr	Saturazione basica %	ANIONI SCAMBIABILI - fosfati			MICROELEMENTI							
	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	TOTALE	H <sup>+</sup>	Al <sup>+3</sup>			TOTALE	Fosforo totale P in gr/100gr	Fosforo assim. Olsen P mg/Kg	Fosforo assim. Truog P mg/Kg	Mn	B	Cu	Zn	Mo	Co	Fe
1	10,6	1,3		0,9	12,8			12,8												
2	8,6	0,8		0,6	10			10												
3	15,9	2,9		0,9	19,7			19,7												
4	16,8	2,5		1,2	20,5			20,5												
5	9	1,8		0,7	11,5			11,5												

Fonte: Palmeri F., 1994.

- climogramma di Peguy;
- climogramma di Walter.

Per quanto attiene gli indici climatici si riportano di seguito i più interessanti per l'Ingegneria Naturalistica (cfr. anche **figg. 6.5-6.6**, elaborate con il programma DIACLI):

1) *Indice di De Martonne:*

$$I_a = 12 \cdot \frac{P}{(T + 10)}$$

con:

P = precipitazioni medie annue (mm);  
T = temperatura media annua (°C).

Rapporto tra indice e zona:

- < 5: zone desertiche;
- 8-15: zone litoranee e sublitoranee;

- 16-21: zone collinari e pedemontane;
- >21: zone montane.

2) *Indice di De Martonne e Gottmann:*

$$I_a = \left[ \frac{P}{(T + 10)} + 12 \cdot \frac{p}{t} \right] \cdot \frac{1}{2}$$

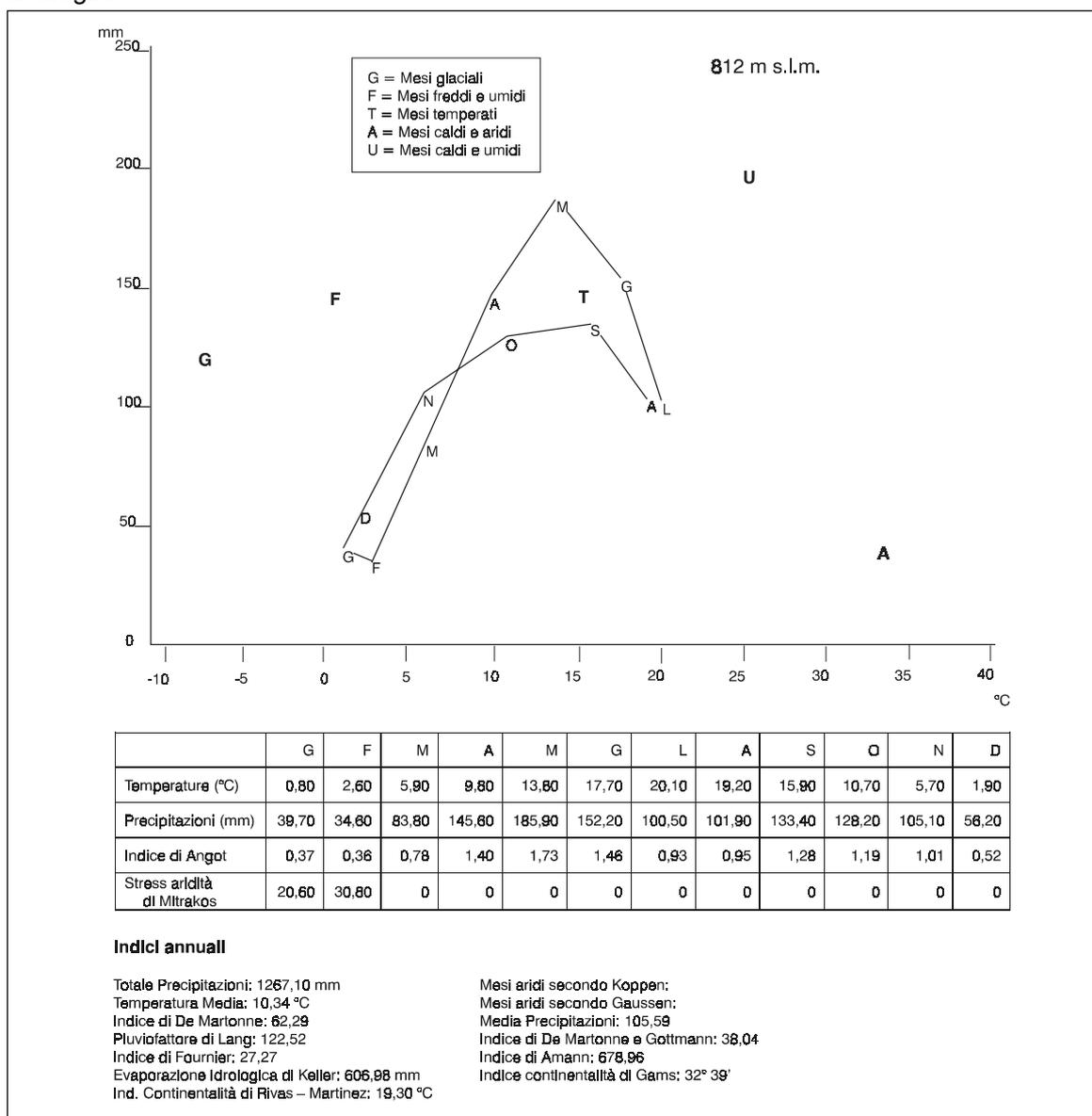
con:

P = precipitazioni medie annue (mm);  
T = temperatura media annua (°C);  
p = precipitazioni del mese più arido (mm);  
t = temperatura del mese più arido (°C).

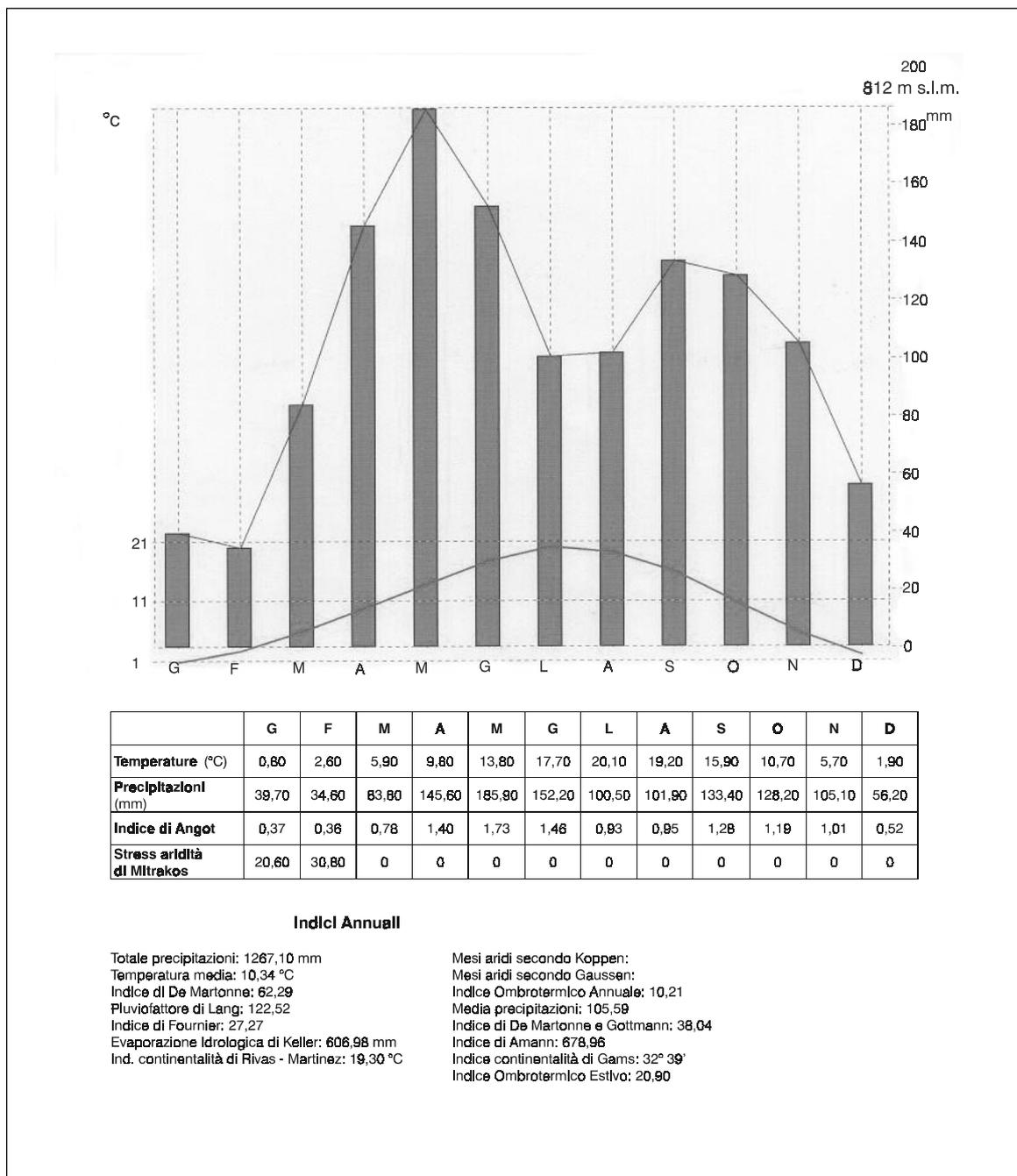
Rapporto tra indice e zona:

- 8-15: zone litoranee e sublitoranee;
- 16-21: zone collinari e pedemontane;
- >21: zone montane.

**Fig. 6.5 - Programma DIACLI: gestione dei dati climatici, climogramma di Peguy della stazione di Graglia**



Fonte: Russi Software®, Bolzano 2001.

**Fig. 6.6** - Programma DIACLI: gestione dei dati climatici, climogramma ombrotermico della stazione di Graglia

Fonte: Russi Software®, Bolzano 2001.

3) *Pluviofattore di Lang:*

$$I_L = \frac{P}{T}$$

con:

$P$  = precipitazioni medie annue (mm);  
 $T$  = temperatura media annua (°C).

Rapporto tra indice e zona:

- 25-43: zone litoranee;
- 44-52: zone sublitoranee;
- 53-64: zone collinari;
- >65: zone montane.

4) *Indice di Fournier:*

$$I_F = \frac{p^2}{P}$$

con:

$p^2$  = precipitazioni del mese più piovoso (mm);  
 $P$  = precipitazioni medie annue (mm).

5) *Indice di Amann:*

$$I_A = \frac{P \cdot T}{E}$$

con:

$P$  = precipitazioni medie annue (mm);  
 $T$  = temperatura media annua (°C);  
 $E$  = escursione annua di temperatura (°C).

6) *Indice di Angot:*

$$I_A = \frac{P}{(P/365 \cdot g)}$$

con:

$p$  = precipitazioni medie del mese di riferimento (mm);  
 $P$  = precipitazioni medie annue (mm);  
 $g$  = numero di giorni del mese di riferimento (n).

7) *Indice di continentalità di Gams:*

$$I_G = \cot g \left( \frac{P}{A} \right)$$

con:

$P$  = precipitazioni medie annue (mm);  
 $A$  = quota stazione (m s.l.m.).

Rapporto tra indice e zona:

- 0°-5°: zone litoranee;
- 5°-15°: zone sublitoranee;
- 15°-30°: zone collinari;
- >30°: zone montane.

8) *Evaporazione idrologica di Keller:*

$$E_{iK} = (0,116 \cdot P) + 460$$

con:

$P$  = precipitazioni medie annue (mm).

9) *Mesi aridi secondo Köppen:*

$$p < 30$$

con:

$p$  = precipitazioni medie mensili (mm).

10) *Mesi aridi secondo Gaussen:*

$$p < 2 \cdot t$$

con:

$p$  = precipitazioni medie mensili (mm);  
 $t$  = temperature medie mensili (°C).

11) *Indice di continentalità di Rivas-Martinez:*

$$I_C = T_{MAX} - T_{MIN}$$

con:

$T_{MAX}$  = temperatura media del mese più caldo (°C);  
 $T_{MIN}$  = temperatura media del mese più freddo (°C).

12) *Indice ombrotermico annuale:*

$$I_O = \frac{P_M}{T_M}$$

con:

$P_M$  = somma delle precipitazioni medie dei mesi con temperatura > 0° (mm);  
 $T_M$  = somma delle temperature medie degli stessi mesi (°C).

13) *Indice ombrotermico estivo:*

$$I_{OE} = \frac{P_E}{T_E}$$

con:

$P_E$  = somma delle precipitazioni medie dei mesi estivi (mm);  
 $T_E$  = somma delle temperature medie dei mesi estivi (°C).

### 6.3.3.6 Tavole e disegni

Sono il contenuto principale del progetto esecutivo in quanto la raffigurazione degli interventi deve essere tale da consentirne l'immediata cantierizzazione.

Tra le tavole di progetto deve essere presente una planimetria di progetto nella quale siano identificabili con apposite simbologie o legende gli interventi di progetto, ove possibile redatta a grande scala (1:500, 1:200, 1:100).

Quando gli interventi presuppongono consistenti movimenti di terra e non semplici riprofilature, si devono produrre una planimetria e specifiche sezioni con il movimento terra riportato tramite legenda e colorazione convenzionale.

Le sezioni di progetto, redatte nella medesima scala delle sezioni dei movimenti di terra, devono invece riportare con simbologie e raffigurazioni schematiche, gli interventi e le tecniche di progetto. Le quote delle sezioni e delle tavole indicanti i movimenti di terra devono essere eseguiti con il medesimo criterio.

Le elaborazioni devono essere riprodotte *ad hoc* per ciascun progetto.

### 6.3.3.7 Allegati grafici e particolari costruttivi

Poiché le tecniche di Ingegneria Naturalistica non sono standardizzate e sono ancora poco conosciute dalle imprese di settore; si rende necessario allegare al progetto esecutivo alcune tavole che riportino in grande o in grandissima scala (1:50, 1:20, 1:10) i dettagli costruttivi delle diverse tecniche utilizzate.

È opportuno che le tavole contenenti i dettagli costruttivi siano particolarmente ricche di punti quotati, di chiare legende, in modo da evitare equivoci o errori nella realizzazione delle opere da parte delle imprese costruttrici (aspetto non trascurabile e meno raro di quel che si pensi), pena l'inefficienza e notevoli rischi di incongruenza sia sul piano tecnico che economico.

### 6.3.3.8 Computo metrico estimativo ed elenco prezzi unitari

Gli elaborati di analisi economica necessari all'affidamento di un progetto sono differenziati a seconda della committenza; se il cliente è un privato è necessario procedere alla semplice redazione di un computo metrico e di un elenco prezzi unitari che consentano il raffronto tra le offerte delle diverse ditte che si candidano alla realizzazione. Nel caso in cui il cliente è la Pubblica Amministrazione detti elaborati dovranno essere dettagliati, e comunque redatti secondo gli standard classici delle progettazioni, a cui si rimanda per gli approfondimenti del caso.

L'aggiudicazione avviene in genere sottoponendo alle imprese invitate o candidatesi un elenco prezzi unitari privo di cifre e l'Ente sceglie sulla base della percentuale di ribasso offerta sul totale dei prezzi unitari, o per appalti consistenti, sulla base della somma dei singoli ribassi sulle voci d'elenco. Questa procedura obbliga a redigere un elenco prezzi limitato alle voci realmente presenti nel progetto o ritenute di possibile utilizzazione con varianti, in quanto elenchi molto ricchi di voci possono falsare il risultato permettendo al limite di aggiudicare l'appalto all'impresa che offre sconti maggiori su opere non previste in realtà nel progetto.

Per quel che riguarda le modalità costruttive, bisogna tener presente che tutte le volte che si introducono modifiche alle tipologie tecniche riportate in manualistica o in letteratura si devono anche calcolare le differenze di prezzo che queste modifiche comportano.

Nel computo le quantità delle opere si desumono dai disegni degli elaborati progettuali e applicando le densità precisate negli elaborati medesimi o nell'elenco prezzi unitari. La densità di opere, quali la messa a dimora di piante radicate, sono a loro volta dipendenti dai fini progettuali e dagli scopi dell'intervento: quando l'obiettivo è un rivestimento rapido e continuo la densità è elevata, quando l'obiettivo è invece l'edificazione di siepi o macchie arbustive si devono seguire corretti principi agronomici nella scelta dei sesti di impianto.

### 6.3.3.9 Analisi prezzi e Capitolato Speciale d'Appalto

Quando il committente è un Ente pubblico le procedure di attribuzione dell'appalto rendono in genere obbligatori altri due elaborati allegati alla progettazione esecutiva: il Capitolato Speciale d'Appalto (CSA) e l'Analisi prezzi. Il CSA riporta le condizioni poste all'impresa dal punto di vista della corretta esecuzione dei lavori, della gestione dei cantieri, del rispetto delle normative vigenti in materia di sicurezza e di diritto dei lavoratori. Tra l'altro il CSA dovrà contenere la parzializzazione delle opere e il periodo di attività coincidente con i tempi del fermo biologico.

L'Analisi prezzi è invece un elaborato che viene richiesto quando si reputa necessario giustifi-

care e fondare, sopra un'analisi dettagliata, i prezzi riportati nell'elenco prezzi unitari, spesso a causa dell'importo dei lavori in appalto o della tipologia non standardizzata delle opere di progetto.

L'Analisi prezzi delle opere di Ingegneria Naturalistica si costruisce quantificando, per ogni unità di misura dell'opera, il tempo di lavoro necessario ripartito per qualifica (operaio, operaio forestale qualificato, ecc.), il materiale utilizzato e il nolo macchine stimato in ore e frazioni.

A titolo d'esempio si veda l'Analisi prezzi contenute nel *Manuale di Ingegneria Naturalistica applicabile al settore idraulico* della Regione Lazio - Assessorato per l'Ambiente, Dipartimento Ambiente e Protezione Civile (2001) disponibile *on-line* al sito [www.lppp.regione.lazio.it](http://www.lppp.regione.lazio.it).

Per assegnare i prezzi in modo corretto e veritiero il progettista pondererà quale tra le esperienze riportate in bibliografia o recensite da riviste specializzate e quelle effettuate personalmente, si avvicini di più alla realtà di intervento.

### 6.3.3.10 Percentuale manodopera

Tra i vari documenti componenti il progetto esecutivo, di cui all'articolo 35, comma 1, lettera l, del DPR 554/1999, vi è anche il quadro dell'incidenza percentuale della quantità di manodopera per le diverse categorie di cui si compone l'opera o il lavoro.

Si può utilizzare il DM 11 dicembre 1978 o si possono impiegare Analisi prezzi già effettuate o di nuova redazione, da inserire come base per il calcolo del prezzo unitario, secondo quanto contenuto nella Determinazione 37/2000 (vedi oltre). Al fine di agevolare il lavoro dei tecnici, sono state redatte le seguenti linee-guida che forniscono uno schema metodologico per determinare il quadro dell'*Incidenza percentuale della quantità di manodopera* ( $I_{MO}$ ) per le diverse categorie (generali o specializzate) di cui si compone l'intervento, sulla base dell'*Incidenza media della sicurezza* (IS) sul *Costo di costruzione* (C) contenute nella Determinazione 37/2000 dell'Autorità per la Vigilanza sui Lavori Pubblici.

*Schema metodologico* - L'importo per l'esecuzione delle lavorazioni e forniture nonché per l'attuazione dei piani di sicurezza, ovvero il cosiddetto *Costo di costruzione* (C) per ogni categoria (generale o specializzata individuate ai sensi dell'allegato A al DPR 34/2000) di cui si compone l'intervento, è determinato dalla stima delle *Quantità* (Q) delle lavorazioni o forniture previste nel progetto per il relativo *Prezzo unitario* (P) così come dedotto dai prezziari o dai listini ufficiali vigenti nell'area interessata.

In caso di mancanza del prezzo unitario delle singole lavorazioni o forniture nel listino prezzi adottato, si procederà secondo quanto disposto dall'articolo 34, comma 2, del DPR 554/1999:

- applicando alle quantità di materiali, mano d'opera, noli e trasporti, necessari per la realizzazione delle quantità unitarie di ogni voce,

i rispettivi prezzi elementari dedotti da listini ufficiali o dai listini delle locali camere di commercio ovvero, in difetto, dai prezzi correnti di mercato (ad eccezione, così come si desume da quanto disposto dall'articolo 21, comma 1bis, della L. 109/1994, della manodopera che dovrà essere dedotta dai bollettini ufficiali emessi nella provincia in cui si realizza l'opera);

- aggiungendo all'importo così determinato una percentuale per le spese relative alla sicurezza;
- aggiungendo ulteriormente una percentuale, per spese generali;
- aggiungendo infine una percentuale del 10% per utile dell'appaltatore.

A tale proposito, a puro titolo esemplificativo, è opportuno segnalare alla presente Determinazione due tabelle (scaricabili sul sito [www.autoritalavoripubblici.it/del/del.html](http://www.autoritalavoripubblici.it/del/del.html)) che rappresentano le modalità applicative del calcolo dell'*Indice della sicurezza* (IS) e dell'*Incidenza percentuale della quantità di mano d'opera* ( $I_{MO}$ ):

- tabella 1: *Modello per il calcolo dell'incidenza percentuale della quantità di mano d'opera e dell'indice della sicurezza*;
- tabella 2: *Modello per il calcolo dei prezzi dei materiali, noli e trasporti costituenti un prezzo di lavorazione*.

#### 6.3.3.11 Piano di manutenzione

Il piano di manutenzione rientra tra gli elaborati progettuali obbligatori ai sensi della L. 109/1994, che prevede di allegarlo al progetto esecutivo (art. 16, comma 5), mentre il "regolamento Merloni" attuativo ne descrive il contenuto (DPR 554/1999, art. 40). L'articolo 40 è infatti dedicato interamente al piano di manutenzione dell'opera e delle sue parti, anche se altri articoli dello stesso regolamento ne danno ulteriori indicazioni: l'articolo 2, ad esempio, definisce *manutenzione* "la combinazione di tutte le azioni tecniche, specialistiche ed amministrative, incluse le azioni di supervisione".

Il piano sarà costituito da un manuale d'uso, da un manuale di manutenzione e da un programma di manutenzione.

Il *manuale d'uso* dovrà contenere l'insieme delle informazioni per l'utente che possono permettere di conoscere le modalità di fruizione dell'opera, di corretta gestione della stessa e di effettuazione degli interventi manutentivi non specialistici per la sua conservazione; prevederà, inoltre, la collocazione delle opere o degli impianti, con rappresentazioni grafiche e descrizioni per una sistemazione corretta.

Il *manuale di manutenzione* fa riferimento alle parti più importanti dell'opera, fornendo tutte le indicazioni per un uso corretto dei materiali, delle diverse unità tecnologiche, oltre ad una corretta manutenzione da riservare agli specialisti. L'ultimo documento del piano di manutenzione è il *programma di manutenzione*, nel quale sono indicati i controlli e gli interventi periodici necessari per garantire la perfetta

gestione dell'opera e delle sue parti durante tutta la vita delle strutture.

Il principio generale da tenere presente è che la manutenzione degli interventi di Ingegneria Naturalistica dovrebbe essere tendenzialmente nulla quando sia possibile lasciare libero spazio all'evoluzione naturale della vegetazione inserita nelle opere e deve invece essere proporzionalmente crescente in relazione all'artificialità perseguita dei soprassuoli edificati.

Gli obiettivi degli interventi di manutenzione possono essere diversi, in relazione alle finalità progettuali e in rapporto a queste variano anche le operazioni corrispondenti.

Il piano di manutenzione è divenuto obbligatorio per tutte le opere a partire dal 28 luglio 2002.

Tramite la manutenzione è inoltre possibile accelerare il processo di raggiungimento del massimo di efficacia delle opere (cfr. **fig. 6.7**): questo grafico mette in relazione l'efficacia degli interventi, sia con tecniche d'ingegneria classica, sia con tecniche di Ingegneria Naturalistica, nel corso del tempo.

Come si può osservare dagli andamenti, sono le opere in calcestruzzo (*cls*) ad avere un'efficacia ottimale entro i primi 5-6 anni dal termine dell'intervento, per poi non garantire più tale efficacia nei successivi anni, a causa del degrado della struttura stessa. Con il procedere del tempo sono le opere di Ingegneria Naturalistica (in presenza di manutenzione), a reagire rapidamente, garantendo le migliori condizioni di stabilità e sicurezza, dopo un intervallo di circa 6-7 anni; ovvero dopo che la vegetazione ha preso il sopravvento sulla struttura e ne ha preso il posto.

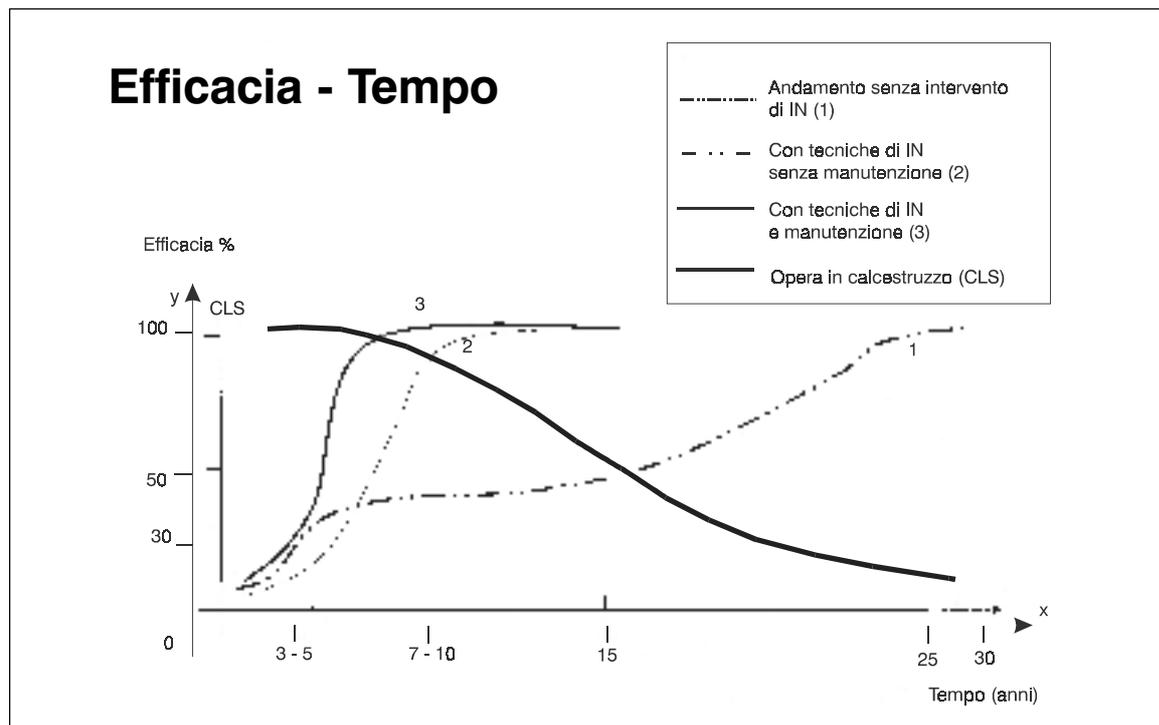
#### 6.3.3.12 Sicurezza

Ove il caso lo richieda, può essere obbligatoria la predisposizione del Piano di sicurezza ai sensi dell'articolo 11 del Decreto Legge n. 494 del 14 agosto 1996, così come modificato dal Decreto Legislativo n. 528 del 19 novembre 1999. L'articolo 4 definisce gli obblighi del "coordinatore per la sicurezza" in fase di progetto quale redattore del Piano di sicurezza e di coordinamento. La normativa istituisce anche la figura del "coordinatore per la sicurezza" in fase esecutiva.

Il decreto si applica alle attività descritte all'Allegato I, che corrisponde ai lavori edili e di genio civile, tuttora regolati dal DPR 164/1956, ai quali si aggiungono i lavori impiantistici.

Le opere di Ingegneria Naturalistica rientrano dall'articolo 2, comma 1 e dall'Allegato 1 del DLgs 494/1996, come modificato con Decreto della Presidenza del Consiglio dei Ministri n. 528 del 19 novembre 1999, "Modifiche ed integrazioni al Decreto legislativo 14 agosto 1996, n. 494, recante attuazione della Direttiva 92/57/CE in materia di prescrizione minime di sicurezza e di salute da osservare nei cantieri temporanei o mobili", nelle opere idrauliche, marittime, di bonifica, di sistemazione forestale e del suolo, scavi e consolidamenti.

Fig. 6.7 - Andamento nel tempo dell'efficacia delle opere di Ingegneria Naturalistica



Fonte: Palmeri, Balboni, Tecnovia® Srl, 2000.

Il DLgs 494/1996 ed il DLgs 528/1999 prevedono obblighi a carico del committente (o del responsabile dei lavori da lui incaricato) che comprendono la designazione del *coordinatore per la progettazione* e del *coordinatore per l'esecuzione dell'opera* (rispettivamente prima della fase di progettazione esecutiva e prima dell'affidamento dei lavori). Tale designazione è obbligatoria per cantieri di dimensioni superiori a determinate soglie: oltre 200 uomini-giorno, più di un'impresa presente in cantiere o nel caso di svolgimento di lavorazioni pericolose. Per quanto riguarda la definizione di queste ultime e le modalità di redazione e gestione dei piani e delle attività di competenza del coordinatore per la progettazione e per l'esecuzione dei lavori, responsabile in materia di sicurezza, si faccia riferimento alla citata normativa.

Rimangono in vigore le norme particolari dettate dal DPR 164/1956, dalle altre norme vigenti in materia di prevenzione nonché dal DLgs 626/1994 (come modificato dal Decreto Legislativo n. 359, "Attuazione della Direttiva 95/63/CE che modifica la Direttiva 89/655/CEE relativa ai requisiti minimi di sicurezza e salute per l'uso di attrezzature di lavoro da parte dei lavoratori" del 4 agosto 1999, e dal Decreto Legislativo n. 242, "Modifiche ed integrazioni al Decreto Legislativo 19 settembre 1994 n. 626, recante attuazione di direttive comunitarie riguardanti il miglioramento della sicurezza e della salute dei lavoratori sul luogo di lavoro" del 19 marzo 1996.

Si ricorda, inoltre, che come riportato nella Determinazione n. 9 dell'Autorità di Vigilanza sui Lavori Pubblici "Ambito oggettivo di applica-

zione della disciplina contenuta nell'art. 88 del DPR 554/1999" del 21 febbraio 2001 ("regolamento Merloni"), nell'ambito di tale applicazione, "non sono da ricomprendere i lavori di manutenzione forestale in amministrazione diretta, qualora abbiano ad oggetto interventi che facciano rimanere salve le situazioni naturali e non siano configurabili come opere di edilizia. Sono, invece, soggetti alle regole anzidette i lavori in ambito forestale che comprendano opere necessarie per la eliminazione del dissesto idrogeologico e la sistemazione agraria e che costituiscano opere di Ingegneria Naturalistica in senso proprio".

A titolo esemplificativo si riporta una tabella indicante i parametri delle stazioni che possono essere presi in considerazione per i progetti di Ingegneria Naturalistica (cfr. **tab. 6.4**).

## 6.4 Lavori preparatori

I lavori preparatori sono provvedimenti diretti a rendere sicura l'area del cantiere ed a proteggere gli operai. Servono allo scopo come installazioni temporanee, canali di deviazione, calettature, armature in legno, barriere e recinzioni. Parti dell'area da cui la vegetazione ed il terreno vengono asportati per erosione, devono essere sottoposti a varie correzioni prima di avviare la vera e propria sistemazione di Ingegneria Naturalistica. Le forme accentuate del terreno, come le costolature e le creste, devono essere ridotte e spianate.

Particolarmente importante è il *modellamento delle linee di sponda* e dei bordi di rottura spor-

Tab. 6.4 - Parametri delle stazioni da prendere in considerazione per opere di Ingegneria Naturalistica

Verifica	Aspetti	Parametri rilevati	Motivazione
Sul versante	Parametri climatici	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Temperatura</b> media, min. e max. annua e mensile</li> <li>- <b>Precipitazioni</b> medie, min. e max. annue e mensili, curva di possibilità pluviometrica <math>h = at^n T_r^m</math></li> <li>- <b>Umidità</b> media, min. e max. annua e mensile</li> <li>- <b>Diagramma di Walter</b></li> <li>- <b>Pluviofattore di Lang</b></li> <li>- <b>Diagrammi di Peguy</b></li> <li>- <b>Indice di Mitrakos</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Caratterizzazione di aspetti legati alla vegetazione.</li> <li>- Individuazione del limite dello sviluppo della vegetazione legato alla mancanza di precipitazioni sufficienti e di umidità atmosferica sufficiente.</li> </ul>
	Pendenza	- Classi (%): 0-15/15-25/25-35/35-50/50-75/>75	Rapporto tra sviluppo della vegetazione ed inclinazione dei versanti.
	Esposizione	- Per settori: N – NE – E – SE – S – SW – W – NW	c.s., condizioni macro e micro climatiche particolari.
	Bilancio idrico	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Bilancio di Thornthwaite</b></li> <li>- Calcolo del <b>ricarico</b> della falda</li> </ul>	Verifica del deficit idrico estivo.
	Specie presenti	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Arboree, arbustive, erbacee</li> <li>- <b>Rilievo fitosociologico</b> della zona con aree di saggio quadrate permanenti in area cantiere e nell'intorno</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verifica delle specie autoctone impiegabili e della successione vegetazionale.</li> <li>- Verifica dell'influsso antropico sulla vegetazione.</li> </ul>
	Condizioni di struttura e chimismo del suolo e del substrato geologico in relazione alla sistemazione	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Suolo</b>: pH, granulometria (%), rapporto C/N, % di sostanza organica, cationi/anioni principali presenti, capacità di scambio cationi (C.S.C.);</li> <li>- <b>Geologia</b>: substrato - permeabilità</li> </ul>	- Verifica di condizioni limite e dell'influenza di tali aspetti sulla vegetazione.
Lungo i corsi d'acqua	Descrizione del bacino di riferimento	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Report descrittivo</b>: area del bacino (km<sup>2</sup>), inclinazione media, idrografia, etc.</li> <li>- <b>Parametro di accumulo</b> iniziale (mm)</li> <li>- <b>Parametro di perdita</b> per infiltrazione-percolazione</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Valutazione della situazione di riferimento.</li> <li>- Verifica dello stato dell'uso del suolo.</li> </ul>
	Parametri climatici	- Vedi sopra	
	Esposizione	- Vedi sopra	
	Condizioni di struttura e chimismo del suolo e del substrato geologico in relazione alla sistemazione	- Vedi sopra	
	Sezione	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Geometria</b> della sezione</li> <li>- <b>Pendenza del fondo</b> per un tratto a monte-valle min. di 50 m e/o 5-10 volte la larghezza dell'alveo</li> <li>- <b>Materiale delle sponde</b> e vegetazione ripariale - <b>scabrezza</b></li> <li>- <b>Angolo di attrito interno</b> e coesione delle sponde</li> </ul>	
	Portata	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Minima</b></li> <li>- <b>Oscillazioni</b> mensili</li> <li>- <b>Periodo di secca</b> (se presente)</li> <li>- Media</li> <li>- Massima assoluta</li> <li>- Storiche (a discrezione dei rilevatori) 100-200-500 anni</li> <li>- Installazione di un idrometro</li> </ul>	- Dati idraulici relativi al corso d'acqua per inquadrare le forze agenti sulle opere di Ingegneria Naturalistica.
	Forze in gioco	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Trazione al fondo</b></li> <li>- <b>Trazione sulla sponda</b></li> </ul>	- Verifica delle forze di resistenza della vegetazione.
	Trasporto solido	- $d_{50}$ , $d_{75}$ , $d_{100}$ , <b>curva granulometrica</b> - report descrittivo	- Verifica dell'influenza del trasporto solido.
Specie presenti	- Arboree - arbustive - erbacee	(vedi caso versante) - Verifica della dinamica della vegetazione delle sponde all'aumentare dell'erosione di fondo del corso d'acqua.	

genti, frammisti a scanalature. Queste fratture del terreno sono particolarmente soggette all'erosione, forniscono costantemente altro materiale e devono essere arrotondate per eliminare il focolaio di erosione. Ciò avviene asportando il margine di rottura sporgente. Lo spianamento di pendii ultraripidi può avvenire con diversi metodi: a mano, con getto d'acqua o con mezzo meccanico.

La *salvaguardia dei materiali da costruzione vivi e riutilizzabili* costituisce un importante principio nella esecuzione di opere di Ingegneria Naturalistica.

Anticipando i lavori di costruzione veri e propri, occorre quindi prendere disposizioni precauzionali per salvaguardare non solo tutta la vegetazione che può essere reimpiegata, ma anche gli altri materiali da costruzione inerti, purché autoctoni.

Come accennato, poiché nelle sistemazioni naturalistiche si dovrebbero impiegare preferibilmente solo quelle specie vegetali che si trovano su stazioni paragonabili, è opportuno scegliere le specie più idonee in maniera semplice, eseguendo un rilievo fitosociologico della stazione o nelle stazioni vicine e simili.

Sviluppando progetti basati sull'Ingegneria Naturalistica si ottengono buoni risultati quando si impiegano materiali vivi autoctoni. Ciò

vale anche per le piante legnose capaci di ricacciare, atte a riprodursi per via agamica. Se nel corso dei provvedimenti costruttivi la vegetazione deve essere rimossa, ne deve essere garantita la sua riutilizzazione a conclusione dei lavori, dopo averla provvisoriamente accantonata.

Più sfavorevole è la posizione del cantiere, tanto più decisiva diventa questa necessità.

A conclusione (parziale) dei lavori di costruzione, lo strato di terreno vegetale, compenetrato dalle radici e asportato in precedenza, viene di nuovo riportato e incorporato e, in caso di bisogno, integrato con altre tipologie costruttive di Ingegneria Naturalistica.

## 6.5 Documentazione richiesta per le opere minori di Ingegneria Naturalistica

### Interventi minori

- A) piccole frane e smottamenti di versanti (con eventuale relazione geologica in base alle problematiche);
- B) sistemazione scarpate di opere viarie minori e piste di esbosco;
- C) sistemazioni intorno ai piloni di linee elettriche e di impianti risalita;

Tab. 6.5 - Elenco elaborato per lo stato di fatto

Stato di Fatto	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
Planimetria 10.000 e 2.000	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Estratti mappa	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Documentazione fotografica	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Inquadramento vegetazionale	X	X		X				X	X		X	X			X	
Rilievo stato di fatto	X	X		X	X			X	X		X	X		X	X	
Sezioni	X	X		X	X			X	X		X	X		X	X	
Relazione sintetica d'inquadramento <sup>1</sup>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

<sup>1</sup> Se non previsto specificatamente la relazione di inquadramento deve contenere in modo sintetico tutti gli elementi tali da definire le caratteristiche dei luoghi d'intervento.

Tab. 6.6 - Elenco elaborato per il progetto

Progetto	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
Part. Costruttivo	X	X	X	X	X	X	X	X	X			X			X	
Indicazione dei materiali	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Ind. Materiali vegetali (specie)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Calcoli stabilità <sup>2</sup>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Relazione idraulica								X								
Sezioni longitudinali (alveo) <sup>2</sup>								X								
Relazione tecnica	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

<sup>2</sup> Nell'ipotesi di predisposizione di palificata di  $h > 2,5$  m e muri calcolati.

- D) pulizia e sistemazione sentieri, mulattiere e aree limitrofe;
- E) approntamento piccole aree attrezzate di sosta in ambito boscato;
- F) aree al contorno di sentieri didattici, percorsi natura e percorsi vita;
- G) sistemazioni ruscelli e piccoli torrenti senza opere trasversali;
- H) idem con opere trasversali (briglie);
- I) sistemazioni viarie minori con muretti a secco e tecniche miste;
- J) predisposizione di pozze per abbeverata d'alpeggio e di selvaggina;
- K) sistemazioni e approntamenti presso sorgenti e fontanili;
- L) sistemazioni risorgive, cavi, fossati e drenaggi in ambito planiziale;
- M) sistemazioni e manutenzioni presso impianti sciistici;
- N) sistemazioni di verde al contorno degli edifici urbani e rurali;
- O) piccoli interventi nelle aree protette (parchi, riserve, oasi, a discrezione dell'ente gestore);
- P) negli interventi inquadrabili come piccola manutenzione del territorio.

**N.B.:** alcune opere si possono inoltre configurare come interventi di manutenzione straordinaria tal quale.

Non rientrano in alcune casistiche le opere di Ingegneria Naturalistica predisposte all'interno di specifici e articolati progetti di interventi sul territorio legate a:

- recupero di cave e discariche (che prevedono un progetto di recupero globale);
- recupero di altre aree degradate (in quanto parte integrante del progetto di recupero delle stesse);
- progetti di opere viarie su gomma e su rotaia o la predisposizione di porti e attracchi in ambito fluviale o lacustre con carattere sovracomunale;
- grandi opere di sistemazione idraulica su bacini idrografici di qualsiasi ordine;
- grandi opere di sistemazione e d'assetto complessivo del territorio su scala almeno provinciale;

- predisposizione di impianti e stazioni sciistiche.

Nelle **tabelle 6.5-6.6** sono descritte le matrici di individuazione degli elaborati per lo stato di fatto e per il progetto.

## Bibliografia



Trupiano A., 2000

*Anche la manutenzione entra nella progettazione dei lavori*, in "Edilizia e territorio - Il Sole 24 Ore", n. 23, pag. 24.

Bacci M., Bardi S., Dignani A., 2000

*Manuale di metodologie e tecniche a basso impatto in materia di difesa del suolo. Studio di nuove metodologie ambientali in materia di difesa del suolo e miglioramento ambientale*, WWF Regione Marche, 2000.

"Bollettino Ufficiale della Regione Lombardia", 2000 *Deliberazione della Giunta Regionale 29 febbraio 2000, n. 6/48740 "Approvazione Direttiva Quaderno opere tipo di Ingegneria Naturalistica"*, 1° supplemento straordinario n. 19.

Ferraiolo F., Vicari M., 1996

*Il programma MAC.R.A. per la verifica di interventi di protezione spondale. Manuale d'uso*, Officine Maccaferri Spa, Bologna 1996.

Palmeri F., Sauli G., 1994

*Relazione: progetto di rinaturazione e Ingegneria Naturalistica sul versante roccioso lato est della diga di Ridracoli*, Comune di Bagno di Romagna (FO), 1994.

Russi A., 2001

*Programma DIACLI. Gestione dati climatici*, software prodotto da Russi Software, Bolzano.

Schiechtl H.M., Stern R., 1994

*Ingegneria Naturalistica. Manuale delle costruzioni idrauliche*, Edizioni Arca, Belluno.