

## 7. CONCLUSIONI

Il presente lavoro è stato basato su una lunga ricognizione effettuata nel territorio piemontese su casi reali, per i quali sono state reperite informazioni utili (dati progettuali, epoca di costruzione) e documentazione fotografica pregressa, al fine di poter ricostruire la localizzazione e l'evoluzione delle opere realizzate.

Sono stati osservati 27 siti di intervento con tecniche di Ingegneria Naturalistica, nelle zone delle Valli di Lanzo, Susa, Monferrato e nel Torinese. Tra gli interventi rilevati, per ragioni diverse 12 sono risultati parziali o insoddisfacenti, ovvero non hanno completamente raggiunto gli obiettivi per i quali sono stati ideati. Per contro, 9 casi hanno adempiuto correttamente alle loro funzioni e i rimanenti 6 sono classificabili come interventi ancora in corso d'opera o in gran parte da realizzare.

Le finalità della tesi erano quelle di evidenziare:

- i limiti applicativi delle tecniche naturalistiche per la stabilizzazione di pendii;
- il campo di sicuro e vantaggioso utilizzo di tali tecniche di sistemazione;
- i difetti di costruzione in cui si è storicamente incorsi con l'adozione delle tecniche naturalistiche in un'esperienza lavorativa di circa 15 anni;
- la stabilità e la durabilità nel tempo delle opere in legname;
- l'evoluzione del materiale vegetale di progetto in presenza o in carenza di manutenzione.

L'indagine ha fornito risultati di grande interesse e sulla base di quanto constatato è possibile osservare che:

- Il dato più scontato ed ovvio è quello che evidenzia l'enorme importanza dell'indagine geotecnica all'interno del progetto di intervento. I siti visitati hanno fornito tangibili testimonianze sui limiti delle opere ingegneristiche, sia civili, sia naturalistiche, a fronte della capacità di saturazione e fluidificazione di coltri di suolo anche di notevole potenza.
- Sul piano del controllo progettuale e di Direzione Lavori assume importanza fondamentale la corretta scelta dei materiali strutturali, in particolare del legname. Dalle tabelle riportate nel quinto capitolo del presente lavoro risultano evidenti le differenze di resistenza meccanica e durabilità dei legnami che possono essere utilizzati per opere di Ingegneria Naturalistica (larice e castagno) rispetto agli altri. E' stato acclarato come l'uso improprio di legname di abete rosso o bianco possa dar luogo alla realizzazione di opere con proprietà di resistenza e durabilità assai inferiore. In base all'analisi documentale si è potuto quantificare al di sotto del decennio la curva evolutiva di tali materiali e quindi la pericolosità di una scelta progettuale errata in questo campo.
- Dall'analisi dello stato di conservazione di opere realizzate a partire dal 1992 si è potuto confermare un diametro minimo di sicurezza (20 cm) per le opere costituite da paleria di legname, osservando una inversa proporzionalità tra il grado di alterazione e il diametro del legname. Tale diametro costituisce anche un valore di guardia a fronte delle prove di calcolo che sono state effettuate sulla sollecitazione a flessione dei pali.
- Nella maggior parte delle opere fallite si è utilizzato un diametro insufficiente del legname, minore di 20 cm, con la conseguente degradazione precoce del materiale e quindi di tutto il sistema. Si può dire che, con l'esperienza maturata in questi sopralluoghi e dal calcolo effettuato sulla verifica a flessione del legname, il diametro minimo dei tondami da utilizzare nelle tecniche di Ingegneria Naturalistica, soprattutto per le opere di sostegno, non dovrebbe essere inferiore ai 25 cm, ai fini della sicurezza nel tempo, incrementando così il precedente limite minimo indicato di 20 cm. Occorre notare che le opere realizzate con impiego di pali di diametro maggiore risultano di più rapido montaggio rispetto a quelle di minor diametro, consentendo quindi alle imprese un risparmio di manodopera che va a compensare i maggiori costi dovuti al maggior peso del legname.
- Da uno studio attento sia in fase di ricerca che in sito si è potuto constatare che i legnami di larice e castagno sono i più adatti per tali opere, non solo perché adeguati dal

punto di vista delle caratteristiche fisiche e meccaniche, ma anche perché legnami autoctoni e facilmente reperibili nelle zone del nord Italia e dell'arco alpino.

- Sempre in riferimento ai materiali da costruzione si è potuto osservare che altre specie potrebbero trovare utile applicazione nelle tecniche di Ingegneria Naturalistica. Tuttavia - è il caso delle querce (*Quercus robur*) - possono esservi notevoli problemi legati alla presenza di un patrimonio boschivo che non risulta, almeno in Italia, gestibile per queste applicazioni. D'altra parte, nel caso delle robinie (*Robinia pseudoacacia*), si potrebbe individuare l'opportunità di intervenire su queste specie infestanti alloctone attraverso una oculata gestione selvicolturale. Si tratterebbe di costruire opportune filiere differenziate per lo sfruttamento (da biomassa per riscaldamento a legname da costruzione), attraverso le quali conseguire la riduzione della capacità invasiva dell'esistente.

- Il materiale vegetale vivo è un elemento fondamentale di tali tecniche e come tale va posta molta attenzione nella sua scelta e messa a dimora. In gran parte dei siti visitati si è potuto osservare che, una non adeguata scelta della tipologia di piante, come per esempio di specie non autoctone o addirittura infestanti, ha compromesso la buona riuscita dell'intervento. Inoltre, è evidente che nei primi anni di sviluppo dell'apparato radicale del materiale vegetale vivo, esso è notevolmente vulnerabile, perciò una accurata manutenzione è fondamentale. Tuttavia questa non deve sfociare in esagerate potature o tagli siano causa di depressione del manto vegetale.

- La minaccia delle piante infestanti è un problema che non va sottovalutato. Molto spesso - erroneamente - si pensa che un semplice taglio periodico possa risolvere la situazione. In alcuni casi però tali mezzi non sono sufficienti, in quanto alcune piante ricrescono immediatamente e rinvigoriscono. Ciò che si può fare è fermare la loro diffusione contrastandole con la predominanza di altre specie vegetali o addirittura di loro stesse. La Robina per esempio è una specie arborea infestante di grande diffusione, ma la si può controllare gestendola ad alto fusto. Ciò significa che le piante più alte, gestite per rimanere tali con continue potature sui rami del fusto, creano una zona di ombra che non favorisce la nascita di polloni nuovi dalla base.

- Ricollegandosi agli ultimi due punti, risulta chiaro che la manutenzione delle opere di Ingegneria Naturalistica è fondamentale. Sul campo si sono viste opere quasi scomparse perché lasciate a loro stesse, tanto che le piante infestanti e la crescita non controllata della vegetazione hanno completamente inglobato le strutture privandole del significato per cui erano state realizzate.

- L'utilizzo dei geosintetici e delle reti in fibra naturale, se pur di grande aiuto in tali tecniche, richiede una profonda conoscenza delle loro caratteristiche e potenzialità. Un errato loro impiego ha comportato in alcuni casi la non riuscita dell'intervento.

- Con riferimento al principio di sostituzione per il quale si afferma che nelle opere naturalistiche il materiale vegetale è materiale da costruzione, che va a sostituire nel tempo l'azione passiva del legname con quella di sviluppo dell'apparato radicale, si è potuto verificare che le opere in legname devono comunque garantire la loro attività per almeno un decennio, perché tale è il lasso di tempo che deve trascorrere affinché - in condizioni ottimali - la componente vegetale viva possa risultare determinante ai fini di un consolidamento più che superficiale (ovvero da decimetrico a metrico).

Si è verificato inoltre che la quota alla quale vengono messe in opera queste tecniche di consolidamento riveste un'importanza tutt'altro che trascurabile. Le opere realizzate in montagna, ossia al di sopra di quote indicativamente comprese tra i 700 e i 900 m s.l.m. (per il Piemonte) si rivelano ottimali da un punto di vista vegetazionale (a prescindere quindi dall'importanza del problema in termini geologici e geotecnici) poiché si è al di sopra del limite degli attacchi più aggressivi da parte delle principali infestanti erbacee, arbustive e arboree. Al di sopra di tale quota, fatta salva la correttezza esecutiva e il controllo degli attecchimenti del materiale vegetale, l'intervento progettato evolve, virtualmente senza necessità di manutenzione.

A quote inferiori, ed in particolare nelle fasce spondali di corsi d'acqua, l'attacco delle infestanti può pregiudicare l'intero criterio filosofico dell'intervento. In altre parole, le infestanti soffocano la vegetazione di progetto e il principio di sostituzione non avviene: l'opera di Ingegneria Naturalistica sopravvive fintanto che il legname mantiene proprietà

meccaniche significative. I primi cedimenti si verificano solitamente nei punti di giunzione tra correnti e traversi.

- Le caratteristiche di durabilità e quindi di evoluzione delle opere di Ingegneria Naturalistica si possono riassumere, in funzione dell'adeguatezza delle componenti principali, ovvero legname e materiale vegetale vivo, come in tabella 7.1.

Tabella 7.1:

<b>Casistica</b>	<b>Durabilità</b>
legname adeguato e materiale vegetale adeguato	maggiore di 30 anni e successiva evoluzione stabile con miglioramento delle caratteristiche geotecniche e biotecniche dei terreni
legname adeguato e materiale vegetale non adeguato	tra i 25 anni e i 30 anni in funzione dei diametri e delle specie lignee impiegate
legname non adeguato e materiale vegetale adeguato	evoluzione stabile dopo almeno 5 anni di elevata vulnerabilità. In tale fase c'è un alto rischio di fallimento dell'intervento
legname non adeguato e materiale vegetale non adeguato	massimo 10-15 anni, se non subentrano eventi meteorologici e idrogeologici

- In ultima analisi, dall'esperienza accumulata nell'ambito del lavoro svolto, si può dedurre che le strutture che compongono le opere di Ingegneria Naturalistica devono essere previamente dimensionate e le scelte progettuali sostenute da calcoli strutturali.