

5 STABILITA' E DURABILITA' DELLE OPERE REALIZZATE CON TECNICHE NATURALISTICHE

5.1 INTRODUZIONE

I concetti di stabilità e durabilità sono strettamente correlati tra loro: infatti - per essere stabile nel tempo - un'opera deve essere durevole, e - viceversa - per essere durevole devono essere rispettate le condizioni di stabilità fin dalla costruzione. Ma, se la stabilità va analizzata riferendosi all'intera opera con tutti gli elementi che la compongono, la durabilità è una caratteristica per lo più intrinseca dei componenti elementari di una struttura, quindi dei materiali costituenti la struttura stessa. Nell'ambito dell'Ingegneria Naturalistica, un ruolo importante è svolto dal legname, con il quale sono costituiti gran parte degli elementi strutturali. In questo capitolo si studia quindi più in dettaglio tale materiale.

5.2 LEGNO, CARATTERISTICHE FISICHE E MECCANICHE

Il legno è un materiale ricavato dai fusti di determinati tipi di piante. Viene lavorato e sagomato per svariati usi, dallo strutturale all'ornamentale. La scelta delle tipologie di legnami da utilizzare ricade su alcune caratteristiche che essi possiedono, ovvero: la forma e resistenza dei fusti, lo stato di aggregazione e compattezza dei tessuti, l'aspetto delle superfici lavorate, la natura chimica di alcuni composti presenti. I tessuti del legno sono costituiti da *lignina* (polimero organico presente all'incirca per 30-33% nelle conifere, 20-25% nelle latifoglie), *cellulosa* (40-60%) e *acqua*. All'interno delle cavità e pareti cellulari si collocano delle sostanze dette *estrattivi*, in quantità di 1-8% che influenzano alcune caratteristiche del legno come il peso specifico, la resistenza ai funghi, il ritiro, ecc. Fondamentali sono, per quanto riguarda i legnami da costruzione, la forma e la resistenza dei fusti, come anche la presenza di lignina, senza la quale le piante non potrebbero raggiungere altezze importanti, poiché la sua presenza influisce positivamente sulla resistenza a compressione e sulle altre proprietà meccaniche del legno.

È importante sottolineare che il legno è un materiale fortemente anisotropo, cioè le sue proprietà variano a seconda della direzione considerata, ed eterogeneo. Le principali caratteristiche fisiche sono: il contenuto di umidità e il ritiro, massa volumica, reazione al calore, all'elettricità, alle onde sonore, alle radiazioni. Tra le caratteristiche meccaniche ci sono: l'elasticità, la resistenza alle sollecitazioni, la durezza.

5.2.1 Contenuto di umidità e ritiro

Secondo le norme UNI ISO 3130, l'umidità è definita come peso dell'acqua contenuta nel legno, espresso come percentuale del peso del legno considerato privo di acqua. Sempre secondo tale normativa per la determinazione dell'umidità si fa riferimento alla relazione:

$$\%umidità = \frac{100(P_u - P_o)}{P_o}$$

Dove:

- P_u è il peso in grammi del campione con volume non inferiore a 8 cm³, in condizioni naturali;
- P_o è il peso dello stesso campione allo stato secco, ottenuto in stufa a 103°C.

La presenza e la quantità di umidità che un legno possiede influisce non solo il peso del materiale, che incrementa al crescere del contenuto di umidità, ma anche la resistenza meccanica, che ne viene influenzata negativamente con il suo aumento. L'acqua presente nel legno si può distinguere essenzialmente in due categorie:

- l'acqua adsorbita che si instaura nelle pareti cellulari e le satura,
- l'acqua libera che si trova all'interno delle cavità cellulari.

La variazione del contenuto di acqua libera influisce sul peso ma non sul volume del legname, invece con la variazione della quantità di acqua adsorbita, a seconda che ci sia una diminuzione o un aumento, si notano fenomeni di ritiro e rigonfiamento. In figura 5.1 si riporta un diagramma che relaziona la percentuale di umidità con il ritiro o il rigonfiamento del legno.

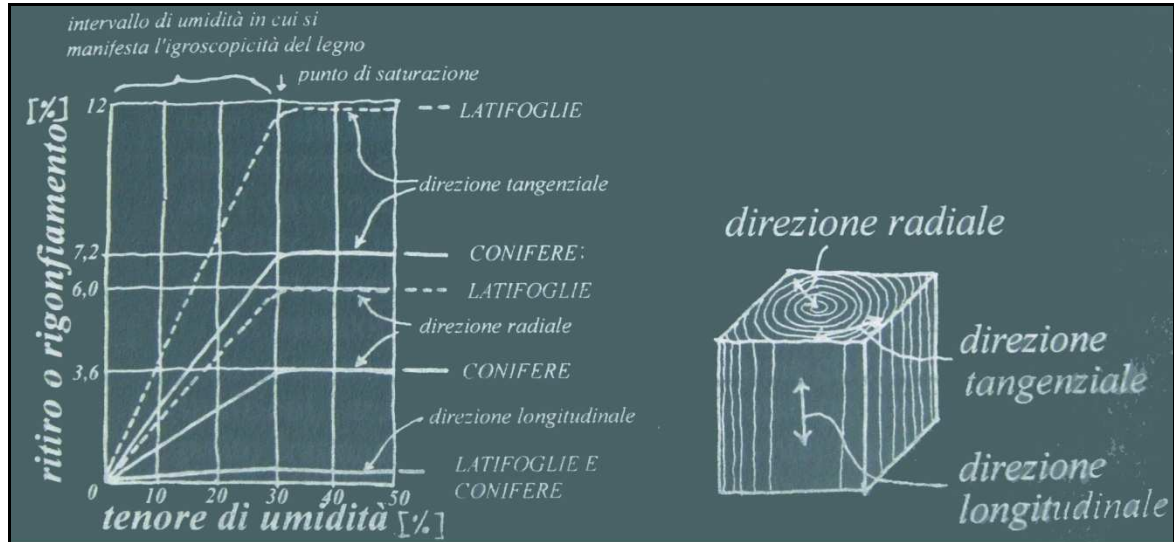


Figura 5.1: deformazioni percentuali del legno al variare dell'umidità. (Lione, Fiandaca, Rinaldo 2002).

La concentrazione di umidità non è costante, infatti in direzione radiale è più elevata verso l'interno mentre negli strati più superficiali si ha maggiore evaporazione; tali discordanze, con l'essiccazione del legno, possono dar luogo a tagli e cambiamenti di forma del legname.

Tra i legnami meno soggetti a queste deformazioni e di maggior utilizzo nelle tecniche di Ingegneria Naturalistica, si trovano il *castagno* e il *larice*. Anche la quercia presenterebbe tali caratteristiche ottimali, ma non è presente sul mercato italiano, né su quelli transalpini, in quantitativi convenienti.

Visto che la maggior parte del legname che viene impiegato in tali tecniche è sotto forma di tondame, è utile riportare che - sui pali - gli effetti del ritiro sono dati da:

- fessurazioni longitudinali radiali,
- spacchi radiali,
- crepature sulla superficie di estremità.

Inoltre la quantità di umidità influisce anche sull'azione di funghi, parassiti e insetti che intaccano il legno, per i quali una maggiore presenza di umidità significa un habitat ideale.

5.2.2 Elasticità, resistenza alle sollecitazioni

Per resistenza alle sollecitazioni meccaniche si intende il massimo valore delle tensioni di compressione, trazione, flessione, taglio e torsione, che il materiale può sopportare prima di cedere, mentre l'elasticità indica quanto il materiale si deforma una volta sollecitato. I fattori che influenzano tali caratteristiche sono: direzione della sollecitazione rispetto a quella delle fibre; massa volumica; contenuto d'acqua; temperatura; presenza di difetti del legname; modalità e durata di applicazione del carico; dimensioni del pezzo.

Elasticità

Il legno è definito un materiale elastico, per cui, con le dovute considerazioni, si può dire che vale la Legge di Hook, dove con E si intende il modulo di elasticità o modulo di Young:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Dove:

- σ , la tensione normale di dimensioni $\frac{N}{m^2}$;
- ε , coefficiente di deformazione.

La conoscenza di tale modulo, e quindi del comportamento elastico del legname considerato, consente la deduzione delle deformazioni causate da sollecitazioni note.

È importante notare che i moduli di elasticità del legno a compressione e a trazione sono pressoché uguali con un lieve aumento di quello a trazione, ma questi valori possono cambiare drasticamente se si analizzano in funzione della direzione delle fibre. Per capire meglio tali differenze si riportano in figura 5.2 i diagrammi sforzi-deformazioni nei casi di sollecitazione a compressione assiale e a compressione trasversale, ricavati da provini di *larice*.

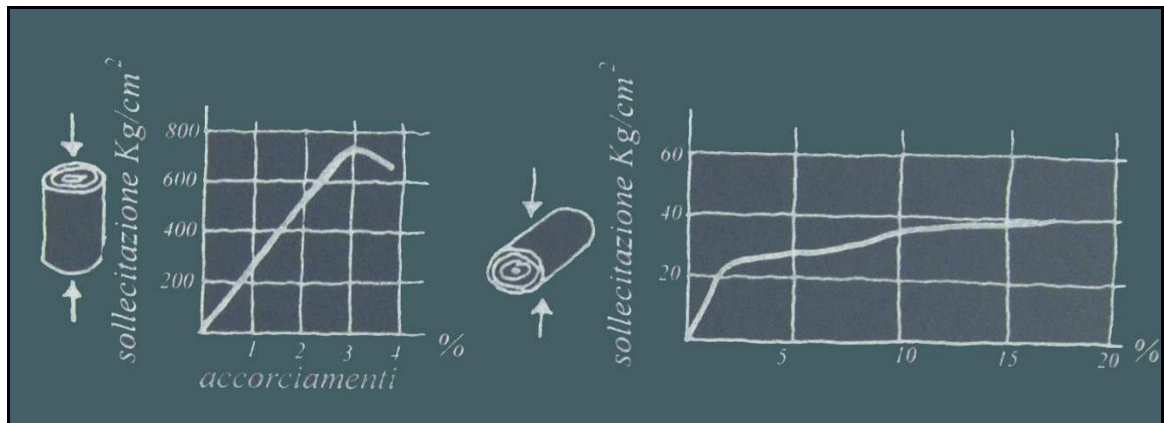


Figura 5.2: diagrammi sforzi-deformazioni ricavati da provini di larice. (Lione, Fiandaca, Rinaldo 2002).

Si evidenzia molto chiaramente come, per raggiungere lo stesso valore di deformazioni o accorciamenti, nel caso di carichi assiali i valori sono molto più alti rispetto a quelli trasversali. Infatti per una deformazione di circa 1,5% è necessaria una sollecitazione assiale di circa 400 kg/cm², e solo 24 kg/cm² di compressione trasversale. In tabella 5.1 si riportano i valori dell'elasticità E in kg/cm² e in N/mm², misurata parallelamente alle fibre, al variare del contenuto di umidità con temperatura ambiente tra 10 e 20°C.

TIPI DI LEGNO	Umidità 10%		Umidità 20%		Umidità 25%		Umidità >35%	
	Modulo di elasticità E (kg/cm²) e (N/mm²)							
Abete bianco	120.000	11.772	104.000	10.202	90.000	8.829	85.000	8.339
Abete rosso	115.000	11.282	106.000	10.399	92.000	9.025	85.000	8.339
Larice	143.000	14.028	128.000	12.557	120.000	11.772	100.000	9.810
Pino silvestre e silano	120.000	11.772	110.000	10.791	95.000	9.320	87.000	8.535
Quercia rovere	136.000	13.342	120.000	11.772	113.000	11.085	100.000	9.810
Quercia farnia	122.000	11.968	108.000	10.595	102.000	10.006	95.000	9.320
Castagno	92.000	9.025	80.000	7.848	76.000	7.456	70.000	6.867
Pioppo	82.000	8.044	70.000	6.867	66.000	6.475	58.000	5.690

Tabella 5.1: Valori del modulo elastico E al variare dell'umidità,(Lione, Fiandaca, Rinaldo 2002).

Resistenza a compressione

La resistenza a compressione del legno è una caratteristica che, come si è già anticipato, è fornita principalmente dalle molecole di lignina che irrigidiscono il materiale. Tale materiale si comporta in modo elastico, per cui le deformazioni crescono proporzionalmente ad un carico crescente, fino ad un valore massimo oltre il quale avviene la rottura. Da tali considerazioni si può facilmente dedurre il valore di σ di rottura (carico a compressione assiale) come:

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Dove :

- P, è la forza applicato con l'unità di misura nel sistema internazione N;
- A, l'area della sezione considerata con unità di misura m².

In tabella 5.2 si possono osservare i valori della resistenza a compressione assiale per alcuni legnami nazionali, espressi in kg/cm² e misurati sperimentalmente in condizioni di umidità normale, ovvero del 12%.

Tipi di legno	Resistenza a compressione assiale	
	(kg/cm ²)	(N/mm ²)
Abete rosso	230-598	22,56-58,66
abete bianco	250-660	24,53-64,75
Larice	266-750	26,09-73,58
Pino silvestre	296-704	29,04-69,06
Castagno	246-650	24,13-63,77
Quercia rovere	430-650	42,18-63,77
Faggio	330-800	32,37-78,48
Ontano	250-460	24,53-45,13
Carpino nero	300-620	29,43-60,82

Tabella 5.2: valori delle resistenze dei carichi di rottura,(Lione, Fiandaca, Rinaldo 2002).

La resistenza a compressione viene condizionata non solo dalla tipologia di legname, ma anche dalla quantità di umidità presente nel materiale vegetale. Infatti generalmente, la

resistenza è massima in uno stato secco del legno e minima se si raggiunge il punto di saturazione. Inoltre anche la massa volumica ha un' influenza notevole sul valore della resistenza a compressione assiale, infatti essa cresce all'aumentare del peso specifico con una legge che si esprime come:

$$\sigma = \beta \cdot \rho$$

Dove:

- ρ è la massa volumica espressa in kg/m³;
- β è il coefficiente angolare della retta, che è anche definito *coefficiente di qualità statica*. I materiali che possiedono un valore di β elevato hanno una resistenza maggiore.

Un altro importante parametro che influenza tale resistenza è la così detta "*deviazione del carico rispetto alla fibratura*". Ed è precisamente l'angolo che si forma tra la direzione di applicazione del carico e l'inclinazione delle fibre del legname. Se quest'angolo dovesse superare i 70° allora si passerebbe al caso della compressione trasversale. In figura 5.3 si riporta una curva sperimentale che relaziona i valori della resistenza a compressione con i valori della deviazione del carico, eseguita su provini di larice ad una umidità del 15%.

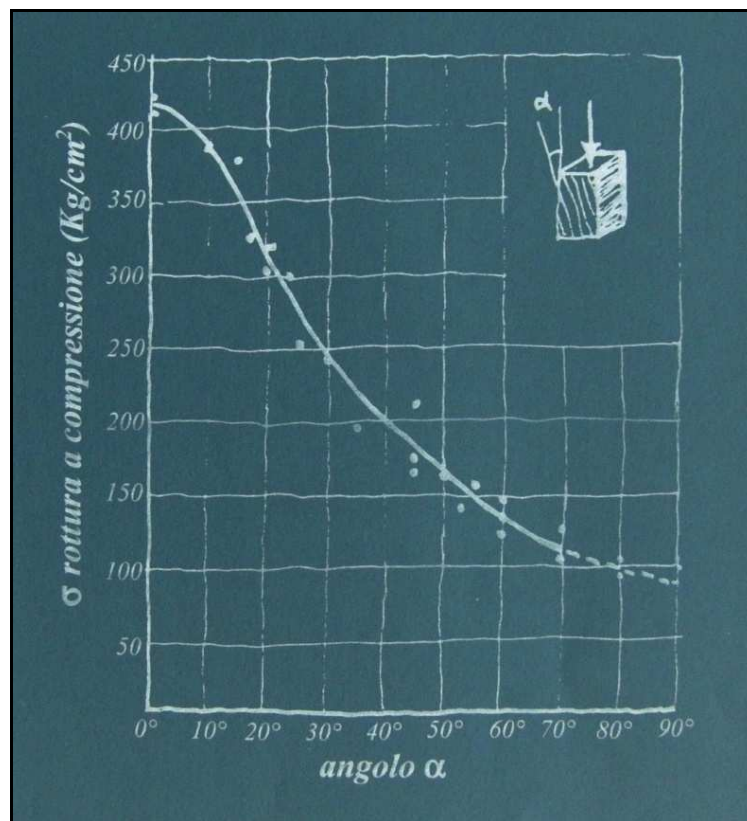


Figura 5.3: diagramma resistenze e angolo di deviazione del carico ricavati da provini di larice. (Lione, Fiandaca, Rinaldo 2002).

In linea di massima si nota come i valori della resistenza a compressione diminuiscono con l'aumentare dell'angolo di deviazione. Se si passa al caso della resistenza a compressione trasversale, si può dire che essa vale 1/5-1/7 di quella a compressione assiale.

È bene notare anche, che la presenza di difetti nel legname pregiudica la resistenza a compressione e le altre proprietà meccaniche.

Resistenza a trazione

I valori di tale resistenza sono notevolmente superiori a quelli per compressione, considerando i carichi in direzione assiale. Infatti i valori della resistenza per trazione assiale risultano di 1,5-3 volte superiori a quelle per compressione assiale.

La presenza di difetti del legno e soprattutto di nodi, pregiudica notevolmente le caratteristiche di resistenza a trazione di tali materiali, in quanto costituiscono un'interruzione e una diminuzione della sezione resistente. Per quanto riguarda l'influenza della massa volumica, al crescere di questa aumenta la resistenza.

Infine per la resistenza a trazione trasversale si può dire che essa è molto ridotta, infatti oscilla tra 15-40 kg/cm² o 1,47-3,92 N/mm², all'incirca 1/30-1/70 della resistenza a trazione assiale.

Resistenza a flessione

Le sollecitazioni di flessione, ad esempio di un tronco come può essere il tondame di un'opera di Ingegneria Naturalistica, sono date da una o più forze agenti su piani perpendicolari all'asse longitudinale di tale tronco appoggiato alle sue estremità. Anche tale resistenza è condizionata dai parametri prima citati, come:

- la massa volumica, la resistenza cresce in genere proporzionalmente ad essa, con l'eccezione per i legni molto resinosi, come il larice per i quali la resistenza diminuisce all'aumentare del peso, se determinato dall'accrescere della resina;
- l'umidità per la quale un suo aumento riduce la resistenza;
- l'angolo di deviazione del carico rispetto alla direzione della fibratura (l'aumento del quale decresce notevolmente la resistenza);
- la presenza di difetti che pregiudicano tale caratteristica di resistenza come le altre prima analizzate.

Si cita anche: la resistenza a taglio, che aumenta col crescere della massa volumica e decresce con l'aumentare dell'umidità e della temperatura. In tabella 5.3 si riportano i valori delle resistenze sopra introdotte, relativamente ad alcune tipologie di legname. Tali valori sono distinti in tre categorie per ogni specie, introdotte in funzione di alcuni elementi macroscopici e in base all'aspetto del legname, in pratica sono distinguibili a occhio nudo.

Tipi di legno	Categoria	Compressione				Flessione		Trazione		Taglio	
		in direz. assiale		in direz. trasversale							
		kg/cm²	N/mm²	kg/cm²	N/mm²	kg/cm²	N/mm²	kg/cm²	N/mm²	kg/cm²	N/mm²
Abete rosso	1	100	9,8	20	1,96	110	10,79	110	10,79	10	0,98
	2	80	7,8	20	1,96	90	8,83	90	8,83	9	0,88
	3	60	5,9	20	1,96	70	6,87	60	5,89	8	0,78
Abete bianco	1	110	10,8	20	1,96	115	11,28	110	10,79	9	0,88
	2	90	8,8	20	1,96	100	9,81	90	8,83	8	0,78
	3	70	6,9	20	1,96	75	7,36	60	5,89	7	0,69
Larice	1	120	11,8	25	2,45	130	12,75	120	11,77	11	1,08
	2	100	9,8	22	2,16	110	10,79	95	9,32	10	0,98
	3	75	7,4	20	1,96	85	8,34	70	6,87	9	0,88
Pino silvestre	1	110	10,8	20	1,96	120	11,77	110	10,79	10	0,98
	2	90	8,8	20	1,96	100	9,81	90	8,83	9	0,88
	3	70	6,9	20	1,96	80	7,85	60	5,89	8	0,78
Castagno	1	110	10,8	20	1,96	120	11,77	110	10,79	8	0,78
	2	90	8,8	20	1,96	100	9,81	90	8,83	7	0,69
	3	70	6,9	20	1,96	80	7,85	60	5,89	6	0,59

Querce e Faggio	1	120	11,8	30	2,94	130	12,75	120	11,77	12	1,18
	2	100	9,8	25	2,45	110	10,79	100	9,81	10	0,98
	3	75	7,4	22	2,16	85	8,34	70	6,87	9	0,88
Pioppo	1	100	9,8	15	1,47	105	10,30	90	8,83	6	0,59
	2	80	7,8	15	1,47	85	8,34	70	6,87	5	0,49
	3	60	5,9	15	1,47	65	6,38	45	4,41	4	0,39
Robinia	1	120	11,8	30	2,94	135	13,24	130	12,75	12	1,18
	2	100	9,8	25	2,45	115	11,28	110	10,79	10	0,98
	3	75	7,4	22	2,16	90	8,83	70	6,87	9	0,88

Tabella 5.3: valori dei carichi di rottura per alcune tipologie di legname,(Lione, Fiandaca, Rinaldo, Il legno 2002).

Un elemento longitudinale di palificata di sostegno si può schematizzare come una trave semplicemente appoggiata, per realizzare calcoli di verifica immediati e semplici, delle reazioni provocate da tiranti e indirettamente dalle spinte del terreno che soprattutto i correnti devono sopportare.

Per semplificare ulteriormente lo schema si è pensato di far corrispondere al carico della spinta del terreno la reazione alla forza di trazione dovuta ad intirantamenti.

Alla trave semplicemente appoggiata, si aggiunge così un carico concentrato centrale alla lunghezza del corrente (figura 5.4).

Si sono presi in considerazione diametri del legname che vanno dai 15 cm ai 40 cm, dimensioni che sono di uso commerciale, con interassi di posizionamento dei traversi di 1m, 1,5m e 2m. I carichi hanno grandezze che variano tra le 5t alle 30t.

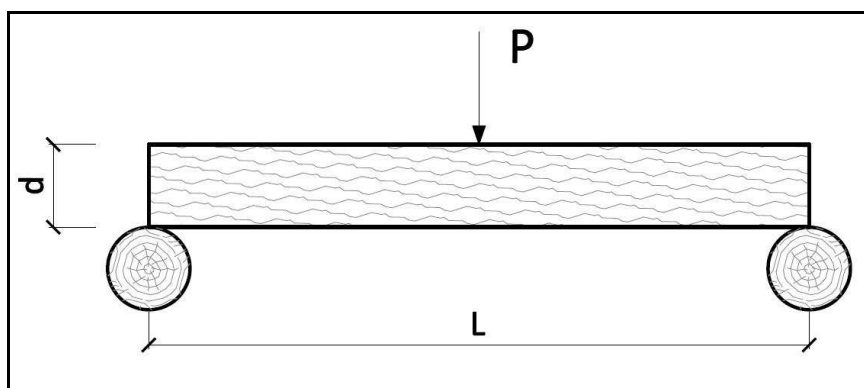


Figura 5.4: schematizzazione a trave semplicemente appoggiata di un corrente facente parte di una palificata di sostegno, con diametro del legname pari a d ed interasse dei traversi L , a cui è applicata una forza concentrata pari a P .

Lo sforzo a cui sono sottoposti i correnti è prevalentemente quello di flessione: per tale motivo si è scelto di effettuare una verifica a flessione di tali elementi. In primo luogo concentrando tutto il carico su un unico corrente e successivamente su un'area d'influenza di 0,50m. Si riportano in forma tabellare i risultati dei calcoli di σ_{max} che sono da confrontare con i valori $\sigma_{resistente}$, ovvero la resistenza a flessione in funzione della tipologia di legname. per il calcolo della tensione σ_{max} si è utilizzata la seguente formula:

$$\sigma_{max} = \frac{M_f}{W_f}$$

Dove:

- M_f , è il momento flettente in kN·m;
- W_f , il modulo di resistenza a flessione in m³.

A questo punto, una volta calcolato tale valore si confronta con la resistenza a flessione interessata, e deve risultare che:

$$\sigma_{max} \leq \sigma_{resistente}$$

In tabella 5.4 si riportano i risultati delle sollecitazioni σ_{max} , ricavate su di un singolo palo. Sono stati evidenziati quei valori per i quali la verifica a flessione, eseguita su di un corrente in legno di larice avente una resistenza a flessione pari a 12,75 N/mm², risulta soddisfatta.

Sollecitazioni massime σ_{max} in N/mm²

	Carico applicato		Diametro del tondame in commercio (cm)					
	(t)	(KN)	15	20	25	30	35	40
Interasse di 1 m	5	49	36,99	15,61	7,99	4,62	2,91	1,95
	7	69	52,09	21,97	11,25	6,51	4,10	2,75
	10	98	73,98	31,21	15,98	9,25	5,82	3,90
	15	147	110,97	46,82	23,97	13,87	8,74	5,85
	20	196	147,96	62,42	31,96	18,49	11,65	7,80
	25	245	184,95	78,03	39,95	23,12	14,56	9,75
	30	294	221,94	93,63	47,94	27,74	17,47	11,70
Interasse di 1,5 m	5	49	55,48	23,41	11,98	6,94	4,37	2,93
	7	69	78,13	32,96	16,88	9,77	6,15	4,12
	10	98	110,97	46,82	23,97	13,87	8,74	5,85
	15	147	166,45	70,22	35,95	20,81	13,1	8,78
	20	196	221,94	93,63	47,94	27,74	17,47	11,70
	25	245	277,42	117,04	59,92	34,68	21,84	14,63
	30	294	332,91	140,45	71,91	41,61	26,21	17,56
Interasse di 2 m	5	49	73,98	31,21	15,98	9,25	5,82	3,90
	7	69	104,18	43,95	22,5	13,02	8,2	4,49
	10	98	147,96	62,42	31,96	18,49	11,65	7,80
	15	147	221,94	93,63	47,94	27,74	17,47	11,70
	20	196	295,92	124,84	63,92	36,99	23,29	15,61
	25	245	369,9	156,05	79,9	46,24	29,12	19,51
	30	294	443,88	187,26	95,88	55,48	34,94	23,41

Tabella 5.4: valori delle sollecitazioni massime a flessione σ agenti su un singolo palo al variare del carico applicato, in funzione del diametro e dell'interasse tra gli appoggi.

In tabella 5.5 sono riportati i risultati dei medesimi calcoli, con l'unica differenza che essi non sono più riferiti ad un singolo palo ma ad un'area d'influenza della struttura in palificata di 0,50 m. Anche qui si evidenziano quei valori per cui la verifica a flessione è soddisfatta, nel caso di legname di larice con resistenza a flessione di 12,75 N/mm².

Solicitazioni massime σ_{max} in N/mm²

	Carico applicato		Diametro del tondame in commercio (cm)					
	(t)	(KN)	15	20	25	30	35	40
Interasse di 1 m	5	49	9,25	3,9	2	1,16	0,73	0,49
	7	69	13,02	5,49	2,81	1,63	1,03	0,69
	10	98	18,49	7,8	3,99	2,31	1,46	0,98
	15	147	27,74	11,7	5,99	3,47	2,18	1,46
	20	196	36,99	15,61	7,99	4,62	2,91	1,95
	25	245	46,24	19,51	9,99	5,78	3,64	2,44
	30	294	55,48	23,41	11,98	6,94	4,37	2,93
Interasse di 1,5 m	5	49	6,16	2,6	1,33	0,77	0,49	0,33
	7	69	8,68	3,66	1,88	1,09	0,68	0,46
	10	98	12,33	5,2	2,66	1,54	0,97	0,65
	15	147	18,49	7,8	3,99	2,31	1,46	0,98
	20	196	24,66	10,4	5,33	3,08	1,94	1,30
	25	245	30,82	13	6,66	3,85	2,43	1,63
	30	294	36,99	15,61	7,99	4,62	2,91	1,95
Interasse di 2 m	5	49	4,62	1,95	1	0,58	0,36	0,24
	7	69	5,51	2,75	1,41	0,81	0,51	0,34
	10	98	9,25	3,9	2	1,16	0,73	0,49
	15	147	13,87	5,85	3	1,73	1,09	0,73
	20	196	18,49	7,8	3,99	2,31	1,46	0,98
	25	245	23,12	9,75	4,99	2,89	1,82	1,2
	30	294	27,74	11,7	5,99	3,47	2,18	1,46

Tabella 5.5: valori delle sollecitazioni massime σ , ricavate su di un'area di influenza pari a 0,50 m.

5.3 LEGNO, DURABILITA'

La durabilità indica generalmente le caratteristiche di conservazione delle proprietà fisiche e meccaniche dei materiali, nel caso particolare del legname. Il legno è materiale vegetale, organico, e di conseguenza deteriorabile, secondo regole di decadimento di cicli naturali, ma che avviene in maniera e tempi differenti per specie e condizioni al contorno diverse. I legnami sono attaccabili da batteri, funghi ed insetti che si riforniscono delle sostanze in essi contenuti per il proprio nutrimento. Le alterazioni così causate al legno sono dette di origine *biotica*. Il legno può essere danneggiato anche dalle cosiddette alterazioni di origine *abiotica* che sono distinte in due categorie:

- degradazione da agenti atmosferici, causate dall'attività dell'aria con l'azione dell'umidità, temperatura e vento e dall'azione della luce e radiazioni. I danni così provocati sono il mutamento di colore, perdita di levigatezza e continuità della superficie del legname con conseguenti deformazioni. Tuttavia tali modifiche alla superficie legnosa non provocano gravi danni, ma indirettamente aprono la strada all'attacco biotico, ovvero batteri e funghi;
- usura meccanica, la quale si presenta con degradazione ed esportazione di materiale della superficie del legno.

Per quanto riguarda l'attacco biotico, l'attività provoca nel legno notevoli danni dal punto di vista fisico, della sicurezza e stabilità delle opere realizzate con tale materiale, ed in ultima analisi anche economico. Ciò, come detto prima è un processo naturale, ma che può essere controllato e ritardato in alcuni casi, conoscendo il comportamento delle specie nei confronti degli organismi attaccanti.

Il legname può essere attaccato sia durante la sua vita "in piedi", sia quando è abbattuto e riutilizzato come elemento di determinate strutture. Oltre agli organismi prima citati concorrono alla biodegradabilità del legno anche piante parassite come il *vischio*, che con le sue "radici avventizie" si insedia nella parte corticale del legname influenzando la continuità dei tessuti e la loro resistenza. Nel caso delle opere realizzate con le tecniche dell'Ingegneria Naturalistica, i danni provocati da queste piante possono pregiudicare la riuscita dell'opera a lungo periodo, e quindi la stabilità dell'opera per il tempo necessario affinché le radici delle talee e piantine radicate si sviluppino.



Figura 5.4: alberi con insediamento di vischio

I *batteri* sono anche essi causa di alterazione che in alcuni casi introducono cancro e iperplasie nei legnami. Trovano un habitat ideale nel legno umido a contatto dell'acqua o del terreno. Le stesse condizioni sono favorevoli anche per lo sviluppo di *funghi* che sono tra i principali agenti di alterazione del legname. essi possono causare le cosiddette carie che sono un insieme di degradazioni della parete delle cellule lignificate. Il legname perde le sue caratteristiche fisico-meccaniche e si disgrega completamente quasi a diventare privo di consistenza.

Il legno cariato risulta più facilmente infiammabile di quello sano, aumenta la permeabilità nei confronti dell'aria e dell'acqua. Inoltre le carie provocano una riduzione del peso del legno con la conseguente diminuzione della durabilità naturale. Viene così a mancare anche la compattezza e resistenza meccanica degli elementi lignei.



Figura 5.5: tondate impiegato in una palificata viva di sostegno a doppia parete attaccato da batteri.

Si è introdotto il concetto di durabilità naturale, che è la capacità del legname di conservarsi nel tempo senza essere stato trattato con sostanze preservanti. Tale capacità dipende dalla tipologia di legname, il durame del larice risulta particolarmente resistente all'attacco dei funghi, quindi dalle caratteristiche intrinseche presenti in essi, ma anche dalle specie fungine da cui vengono aggredite, nonché dalle condizioni ambientali.

La durabilità indotta invece, consiste nella capacità delle piante di resistere alla biodegradazione tramite l'impiego di sostanze preservative.

In genere vengono evidenziati 5 classi di durabilità naturale del legname (tabella 5.4), valutati mediante la misura oggettiva di perdita di peso secco, di provini con in corso un processo di attacco da funghi.

	Classe di durabilità	Vita media
1	Molto durabile	> 25 anni
2	Durabile	15-25 anni
3	Mediamente durabile	10-15 anni
4	Poco durabile	5-10 anni
5	Non durabile	< 5 anni

Tabella 5.4: classificazione della durabilità dei legnami (N. Anselmi, G. Govi, 1996)

Tipi di legno	Durabilità	Comportamento verso gli insetti		
		An	T	Tx
Abete rosso	PD	S	S	S
Abete bianco	PD	S	S	S
Larice	MD	S	S	S
Castagno	D			
Faggio	ND	S	S	S
Pioppo	ND	S	S	S
Robinia	D-AD	S	D	

Tabella 5.5: (N. Anselmi, G. Govi, 1996)

Durabilità		Comportamento agli insetti		Tipi di insetti	
AD	altamente durabile	D	durabile	An	Anobidi
D	durabile	MD	mediamente durabile	T	Termiti
MD	mediamente durabile	S	suscettibile	Tx	Terebranti xilofagi
PD	poco durabile				
ND	non durabile				

Tabelle 5.6;5.7;5.8: di spiegazione della tabella 5.5 (N. Anselmi, G. Govi, 1996)

5.4 VANTAGGI E SVANTAGGI NELLA SCELTA DELLE TECNICHE NATURALISTICHE PER LA SISTEMAZIONE DI PENDII

Tra le operazioni primarie per poter conseguire la stabilità dei versanti, siano essi di terre o di rocce, occorre che siano sempre previsti lavori di rimodellamento. Questi consistono nella riprofilatura dei terreni, che sono stati oggetto di eventi franosi, realizzata mediante la movimentazione delle terre, o nel caso di roccia, il disgaggio e l'asportazione di quelle parti fratturate che sono instabili.

In taluni casi la riprofilatura dei terreni è eseguita solo come operazione preliminare alle fasi di cantiere.

Più correttamente, la riprofilatura dovrebbe tener sempre conto dell'inclinazione di progetto del pendio attraverso la determinazione dell'angolo di attrito dei suoi materiali, pertanto dovrebbe conseguire le pendenze necessarie per sopportare le spinte agenti senza incorrere in nuovi eventi franosi. L'angolo imposto ai pendii riprofilati dipende dunque dalle caratteristiche geotecniche del terreno.

Le operazioni che sono fatte per realizzare una riprofilatura possono essere suddivise in fasi di scavo e riporto. I mezzi utilizzati per realizzare queste operazioni sono: escavatori cingolati, ragni meccanici ovvero, nel caso di lavori eseguiti a mano, personale specializzato e costituito da rocciatori e disgaggiatori.

La riprofilatura dei terreni avviene per:

- Asportazione del coronamento instabile della frana e ricolmatura della zona subissata sottostante;
- Riporto di materiale esterno al cantiere, compattazione, consolidamento, gradonatura e drenaggio dei volumi importati;

Il primo dei due casi comporta l'uso di mezzi di cantiere più specialistici, quali ragni meccanici, il secondo implica costi maggiori dovuti all'approvvigionamento e al conferimento dei materiali da utilizzare.

La scelta di una tecnica o dell'altra dipende da svariati fattori tra cui i principali sono: la disponibilità e l'idoneità dei materiali presenti in loco, accessibilità del sito di cantiere e le potenzialità offerte dai mezzi meccanici a disposizione, le caratteristiche del terreno di sito e l'impatto ambientale legato all'uno o all'altro intervento.

Detto ciò, che costituisce condizione necessaria per la realizzazione di un buon intervento di sistemazione territoriale, si analizzano i vantaggi e i svantaggi che le tecniche naturalistiche proposte nei capitoli precedenti, evidenziano nei confronti delle tecniche tradizionali.

Semina a spaglio

I vantaggi che tale tipologia di semina possiede sono riassumibili nella capacità di consolidamento superficiale dei terreni e la semplicità della lavorazione, tale da far considerare la semina a spaglio l'intervento antierosivo più economico.

Non bisogna trascurare però i limiti che caratterizzano tale tecnica.

Il tempo minimo affinché si raggiunga un effetto antierosivo appena apprezzabile va da 2 settimane a 1 mese. Nel frattempo può crearsi concorrenza con le altre specie di progetto, perché una rapida crescita dell'inerbimento può pregiudicare lo sviluppo di altre specie arboree e arbustive impiantate, e viceversa.

In presenza di terreni aridi occorre prevedere degli impianti di irrigazione di soccorso. Su superfici molto inclinate invece, un esempio si può vedere in figura 5.6, esiste il forte rischio di asportazione della semina per ruscellamento e dilavamento da parte delle piogge.

Non va sottovalutato il problema che possono causare le specie infestanti, determinando in alcuni casi il fallimento del intervento.

Quest'ultima problematica è fortemente legata alla quota del sito d'intervento, infatti dai vari sopralluoghi effettuati si è potuto constatare che in alta quota le specie infestanti più pericolose non trovano le condizioni adatte per il loro sviluppo. Tale argomento, per la notevole portata nei riguardi della riuscita o fallimento delle opere di Ingegneria Naturalistica, sarà specifico oggetto del capitolo successivo.



Figura 5.6: Half-Pipe, presso Bardonecchia (TO), A fronte della buona riuscita complessiva dell'infrastruttura in terra (scelta al posto delle usuali strutture in cls), si evidenzia il problema di inerbire pareti ripide: si vede infatti il risultato del dilavamento delle sementi ad opera delle piogge.

Come in tutte le opere realizzate dall'uomo vanno considerate tutta una serie di errori costruttivi, che nella maggior parte sono dettati dalla poca conoscenza della materia. Esse possono essere la semina a spaglio non omogenea o fuori stagione, ma anche l'utilizzo di specie non certificate e non corrispondenti al miscuglio di progetto.

Gli errori costruttivi non si fermano alla sola fase realizzativa, ma riguardano anche tutta quella serie di interventi successivi che dovrebbero essere eseguiti per il buon mantenimento del lavoro svolto. Esso però deve essere adeguato e non deve eccedere tanto da causare una depressione della copertura erbosa, né all'opposto costituire una carenza o un'assenza di manutenzione.

Nelle figure successive si presentano due casi di intervento: il primo (figure 5.8, 5.9, 5.10), in cui i lavori sono stati terminati nel 1996, presenta attività di manutenzione inesistenti, tanto da rendere quasi impossibile il ritrovamento dell'area d'intervento; il secondo, dove l'ultimazione dei lavori è datata 2000, in cui un corretto controllo dell'inerbimento e della vegetazione ha fatto evolvere la struttura in condizioni ottimali.

Infatti il legname di castagno usato per le opere di sostegno è in ottime condizioni, con una minima degradazione dei traversi. Nei tondami, al colpo non si notano vuoti, indicando che la massa non è alterata.



Figura 5.8: Intervento 1 - situazione all'ultimazione dei lavori di consolidamento, rivegetazione e drenaggio superficiale.



Figura 5.9: Intervento 1 - situazione a 14 anni di distanza.

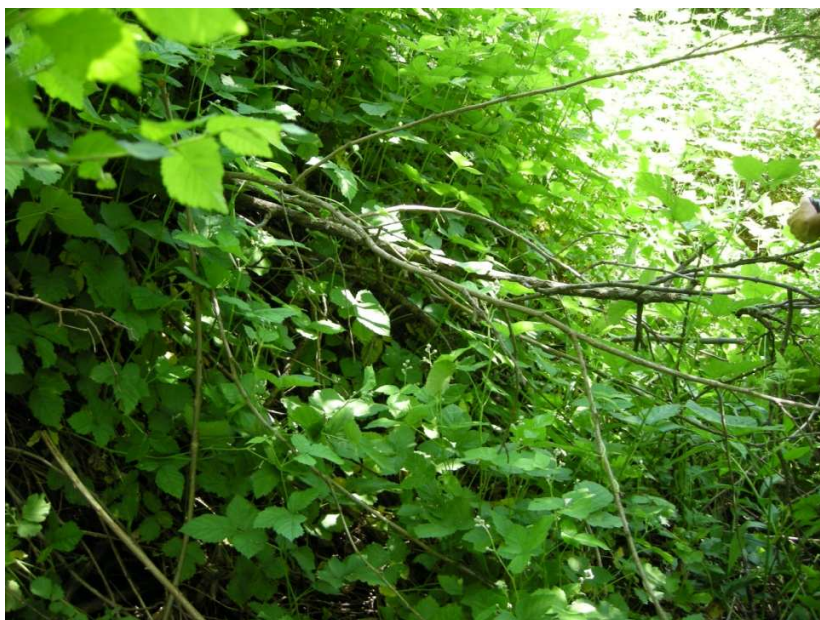


Figura 5.10: Intervento 1 -, situazione al 2010 sul versante dove è ubicata una palificata viva di sostegno a doppia parete.



Figura 5.11: Intervento 2 -, situazione trovata a inizio lavori.



Figura 5.12: Intervento 2 -, situazione all'ultimazione lavori.

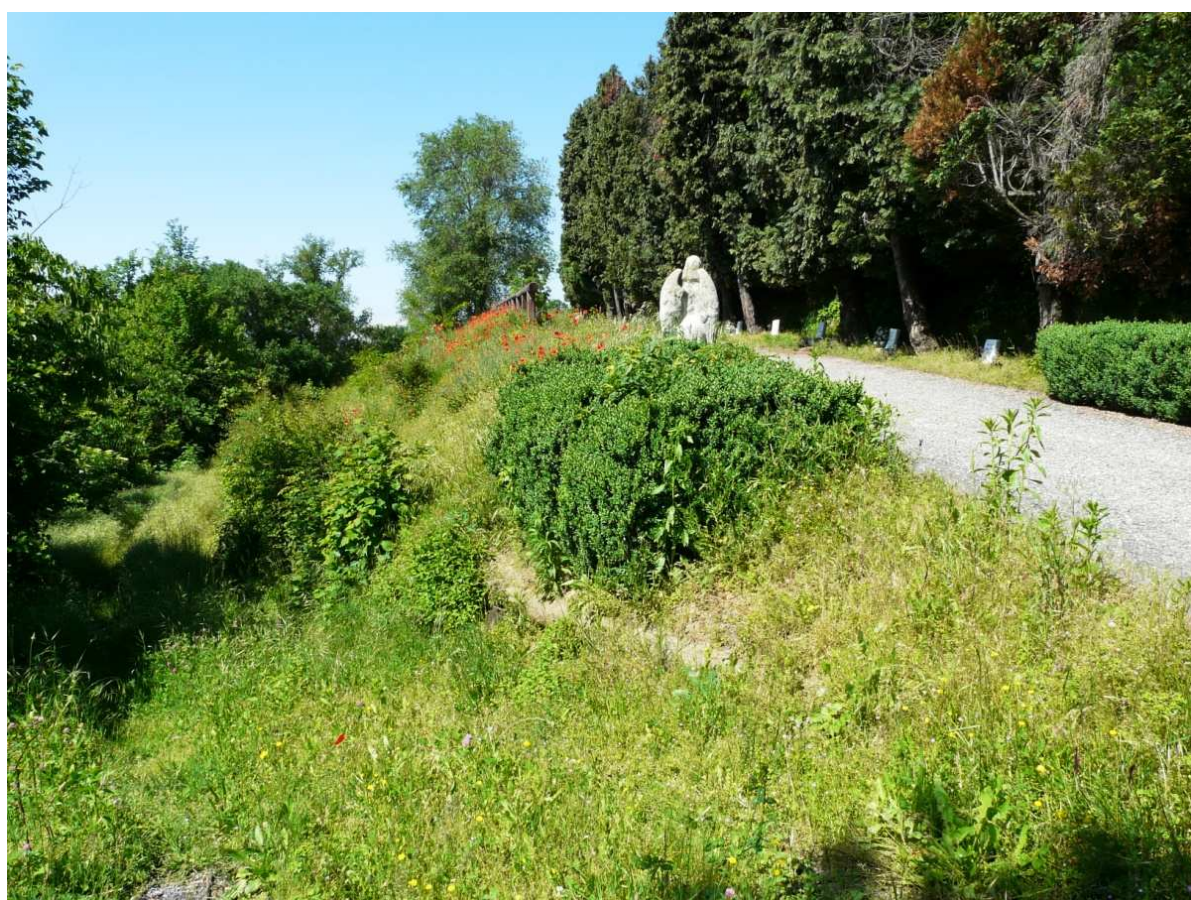


Figura 5.12: Intervento 2 -, situazione a 10 anni di distanza. Un ottimo comportamento del legname e del materiale vegetale vivo.

Idrosemina

L'idrosemina è anche essa un intervento semplice ai fini antierosivi, con gli stessi vantaggi che si sono elencati per la più manuale semina a spaglio. Infatti l'idrosemina viene effettuata mediante meccanici, che da un lato aumenta i costi di lavorazione, ma dall'altro garantisce una omogeneità nello spargimento quasi completa, nel caso di miscugli additivati con coloranti. Inoltre l'esecuzione è notevolmente rapida, ma funzionale in casi di superfici importanti, tra i 1000 m² se compresenza di pareti ripide e i 3000 m². Quindi, tale tecnica è adatta per substrati inclinati e aridi e si può dire che è capace di sostituire la combinazione semina a spaglio con reti in fibra naturale, soprattutto nell'accezione di idrosemina con additivi (mulching).

Per quanto riguarda gli errori costruttivi, anche essi sono riconducibili agli stessi visti per la semina a spaglio con la differenza che l'errore nel dosaggio e nella realizzazione del miscuglio può pregiudicare il buon esito dell'intervento. Inoltre se i mezzi meccanici non sono adeguati la semina può essere danneggiata durante la fase di pompaggio.



Figura 5.13: inerbimenti con zolle erbose, semina a spaglio e idrosemina in un versante consolidato e fruito come parco giochi

Reti in fibra naturale

Anche in questo caso si tratta di interventi con finalità antierosiva, che rispetto alle opere tradizionali hanno il vantaggio di conferire stabilità agli strati superficiali di terreno. Possono essere un buon supporto alla vegetazione, ma solo nel caso di reti a maglia aperta. Reti a maglia chiusa fungono da barriera all'apparato radicale impedendo la compenetrazione negli strati al di sotto della rete stessa. Tali tipologie di reti, per le quali occorre dunque porre la massima attenzione al corretto utilizzo (da dedicare a specifici casi ed esigenze) sono le geostuoie (in fibra sintetica) e le biostuoie (figure 5.14, 5.15 e 5.16).

Si ricordano anche i limiti di resistenza delle reti in fibra naturale, che se realizzate in juta hanno una resistenza meccanica non superiore ai 5 kN, mentre le fibre di cocco sono più resistenti ed arrivano fino a 15 kN. È importante sottolineare il fatto che la stabilità di

una struttura eseguita con tali tecniche dipende molto dall'inclinazione del versante, infatti per pendenze superiori ai 30°-35° si possono spesso generare problemi di stabilità delle coltri.

La durabilità delle reti in fibra naturale dipende anche essa dalla tipologia di fibra, in linea di massima si può dire che per le fibre di juta essa è di 1 anno mentre per le fibre di cocco è di circa 3 anni.

Per quanto riguarda gli errori costruttivi si possono elencare: ancoraggi insufficienti o inadeguati per tipologia e numero; stesura non aderente al terreno; impiego di teli già danneggiati e alterati dall'umidità; scelta non corretta della tipologia di rete da utilizzare, dovuta alla poca conoscenza delle caratteristiche e potenzialità di tali materiali (figura 5.16)



Figura 5.14:



Figura 5.15:



Figura 5.16:

Talee

Delle talee si è parlato ampiamente nei capitoli precedenti, ma in quest'ambito si riassumono tutti quegli aspetti che rendono tali materiali un fondamentale strumento per la buona riuscita di un'opera naturalistica, che sia in continua evoluzione e non abbia limiti di tempo dovuti alla durabilità dei materiali.

Un interessante vantaggio derivato dall'impiego di questo materiale vegetale vivo è sicuramente la sua economicità, infatti senza ulteriori lavorazioni, una volta messo a dimora e sviluppato contribuisce alla rapida rivegetazione del versante e a un consolidamento che, nel tempo, può raggiungere profondità di 1-2 m. Inoltre le talee cooperano insieme ad altri sistemi al drenaggio dei terreni.

È utile tenere presente anche i limiti e gli svantaggi che possono derivare dall'utilizzo delle talee.

E' in ogni caso fondamentale il controllo dell'attecchimento e loro sostituzione, se necessario.

Lo sviluppo dell'apparato radicale, tale da migliorare le capacità di consolidamento di un'opera di sostegno avviene nell'arco di circa 10 anni, per cui in questo lasso di tempo non si può far affidamento su di esse. È importante che nei primi anni siano quindi garantite le condizioni di stabilità della struttura per dare tempo al materiale vegetale vivo di svilupparsi adeguatamente.

Nel primo anno dopo la messa a dimora le talee attraversano una delicata fase di attecchimento, dove occorre intervenire con una attività manutentiva di potatura.

Nel secondo anno si rinforza l'apparato radicale e dal terzo anno in poi si instaura una fase di sviluppo generalmente continua.

Le piante infestanti sono fortemente dannose per le opere di Ingegneria Naturalistica in quanto possono invalidare l'intervento, soffocando e non permettendo alle talee messe a dimora di accrescersi e svilupparsi. Dunque una manutenzione annuale di potatura e pulizia dalle infestanti potrebbe risolvere il problema.

Occorre tuttavia bisogna stare attenti a non eccedere in tali operazioni manutentive, perché tagli smisurati producono depressione e morte delle talee che dovranno essere sostituite, con conseguente aumento dei costi di lavorazione.

È sconsigliabile l'impiego delle talee in siti in cui i periodi di aridità sono prolungati, dove l'insolazione non è sufficiente, in ambienti con salinità elevata e in altitudini considerevoli.

Esiste tutta una serie di errori costruttivi che compromettono e danneggiano l'esito di un intervento.

Essi possono essere: un'errata scelta delle specie vegetali, in quanto alloctone o inadatte al sito d'intervento; un errato periodo di prelevamento delle talee e della loro messa a dimora; selezione di talee troppo corte e di diametro non adeguato; erroneo posizionamento dei fusti nel terreno non rispettando la polarità della pianta, la contropendenza con cui devono essere messe a dimora e il tratto aereo (ossia la sporgenza della talea dal terreno), che non dovrebbe essere superiore a 5 cm.

Palificate semplici, palizzate

Tali opere, rispetto alle tecniche precedentemente considerate, oltre alla funzione antiersiva possiedono anche capacità di consolidamento, dipendenti dalla tipologia e numero degli ancoraggi. Si può affermare che tali capacità sono dunque limitate e affinché l'intervento sia progressivamente efficace bisogna provvedere ad un controllo continuo della parte vegetale viva.

Gli errori costruttivi più gravi sono: la scelta inadeguata degli ancoraggi, mancata o errata riprofilatura del terreno, realizzazione della struttura incompleta in tutte le sue parti, come il non vincolare i tondami agli ancoraggi, il mancato o sbagliato collegamento tra loro dei correnti.

Palificate vive di sostegno

La denominazione stessa della tecnica indica la sua funzione di sostegno e consolidamento, dipendente dalla costituzione geometrica delle strutture e dall'efficacia degli ancoraggi. Tali opere risultano efficaci e non aggravano il terreno di ulteriore peso, soprattutto nei settori sommitali di versanti instabili.

La figura 5.17 è infatti indicativa di quanto sia importante l'efficacia di ancoraggio e la leggerezza dell'opera di contenimento su un versante instabile, e quindi sensibile ai sovraccarichi: si può vedere come un muro di contenimento si sia staccato completamente dalla propria posizione, in seguito ad un periodo prolungato di piogge.



Figura 5.17: muro di contenimento che ha sovraccaricato il pendio, provocandone il collasso

D'altro canto queste strutture hanno necessità di un controllo e mantenimento della parte vegetale viva, in quanto la loro assenza rischia di vanificare gli sforzi e le finalità che con tale opera si volevano raggiungere.

Durante i numerosi casi visitati e analizzati ci si sono verificate situazioni di totale abbandono delle opere, tali da rendere difficile anche il loro ritrovamento, a causa dell'invasione della vegetazione infestante, come la robinia, i rovi, il galium, l'edera e la parietaria, vedi figure 5.18-5.20.

L'opera illustrata dalle foto è del 1992.



Figura 5.18: la struttura all'ultimazione lavori.



Figura 5.19: lo sviluppo dell'inerbimento e delle talee a qualche mese di distanza.



Figura 5.20: la situazione attuale con il predominio della vegetazione infestante e degrado della palificata di sostegno.

Un altro fattore importante da tenere presente, sia nella valutazione iniziale del progetto, che in corso d'opera è quello della spinta attiva del terreno e la capacità portante del terreno di fondazione. Tali dati come anche precise indicazioni sulla falda acquifera sono di fondamentale importanza per un'opera efficace nel tempo.

Infatti non è detto che se pur rispettate tutte le regole di dimensioni e tipologie di legname, di metodi di costruzione e sue fasi, un'opera di Ingegneria Naturalistica dia risultati efficaci. Molto, quindi è legato al terreno in sito. Nelle figure seguenti si può vedere come una struttura realizzata a regola d'arte e ultimata nel 2005 non abbia tuttavia retto un periodo di forti e prolungate piogge, per le caratteristiche del terreno di appoggio, che si è saturato fluidificandosi. Si può notare come alcune palificate a doppia parete si siano completamente svuotate, rimanendo però intatte, proprio perché correttamente eseguite, mentre altre sono scivolate a valle.



Figura 5.21: situazione a lavori ultimati di una parte dell'intervento



Figura 5.22: situazione ad oggi con visibili dissesti del terreno e spostamento della palificata di sostegno.



Figura 5.23: situazione ad oggi con svuotamento completo di una parte del percorso realizzata vincolandosi alla palificata di sostegno adiacente.



Figura 5.24: situazione ad oggi con svuotamento di una parte della palificata viva di sostegno a doppia parete.



Figura 5.25: situazione ad oggi con scivolamento a valle di una parte di palificata di sostegno.

Nell'ambito della realizzazione delle palificate di sostegno gli errori costruttivi possono essere molteplici, a partire dalla erronea scelta del legname, al suo utilizzo senza la preventiva fase di scortecciamento e con un diametro insufficiente. Ulteriori errori si fanno nella scelta degli ancoraggi, nella mancata realizzazione di sistemi di drenaggio superficiali e/o profondi. Gli errori costruttivi proseguono con l'assenza di vincoli tra i tondami e gli ancoraggi, inadeguata scelta del materiale vegetale vivo. Nelle figure sottostanti si notano alcune degli errori più clamorosi. In figura 5.26 è evidente la mancata scortecciatura dei tondami, utilizzati sia per la palificata di sostegno che per la staccionata. Tale mancanza provoca la degradazione precoce del legname favorendo l'attacco biotico.



Figura 5.26: utilizzo di tondami non scortecciati.



Figura 5.27: errato giunto dei correnti, posizione non adeguata.

In figura 5.27 si nota come i giunti tra i correnti sono posizionati molto lontani dai traversi, cosa che può far destabilizzare la struttura. Infatti tali giunzioni, in una situazione ottimale, dovrebbero avvenire in corrispondenza dei traversi, ma è anche accettabile, per ragioni di dimensioni dei correnti, che questo avvenga nell'immediato intorno di essi. In figura 5.28, non esiste alcun tipo di giunzione tra i correnti. Impressionante è anche il caso della figura 5.29, in cui i traversi sporgono eccessivamente dal terreno con la conseguente degradazione del legname.



Figura 5.28: errato giunto dei correnti, totale mancanza di ferri di collegamento.



Figura 5.29: erroneo posizionamento dei traversi.

Grate vive

Tali tecniche possiedono il vantaggio di stabilizzare e difendere dall'erosione la superficie di scarpate detritiche e, soltanto se abbinate a speciali sistemi di ancoraggio, possono contribuire anche ad una azione di contenimento delle spinte.

Come per tutti gli interventi di Ingegneria Naturalistica è fondamentale il controllo e il mantenimento della parte vegetale viva, ed è necessario tenere presente le capacità portanti del suolo di fondazione.

Anche per quanto riguarda gli errori costruttivi, gran parte di essi sono quelli già citati per le precedenti tipologie di interventi, come: impiego di legname non idoneo sia dal punto di vista delle caratteristiche intrinseche che del dimensionamento; erronea realizzazione del sistema con carenze di vincoli tra correnti, montanti e ancoraggi. In questo caso specifico, un ulteriore errore che viene compiuto è quello di non dare importanza alle opere di convogliamento e drenaggio delle acque provenienti da monte.

Opere idrauliche in legname e pietrame

Le opere così identificate hanno il vantaggio di stabilizzare e proteggere dall'erosione il profilo di fondo alveo. Esse però presentano limiti, legati alla loro limitata massa specifica e alla resistenza del legname nei casi in cui esista un elevato trasporto solido e di portata idraulica.

Per quanto riguarda gli errori costruttivi si possono elencare: utilizzo di legname di cattiva qualità, non scortecciato ed erroneamente dimensionato; mancata regolarizzazione del terreno; insufficiente ammassamento delle ali della briglia nelle sponde, con conseguente aggiramento della struttura da parte del corso d'acqua.

Inoltre l'errata o mancata protezione dell'alveo a valle del salto (si tratta della differenza di quota che una briglia o soglia introduce nel corso d'acqua per rallentare la sua corsa disperdendo energia cinetica) causa svuotamento del cassone per perdita del materiale di riempimento (figure 5.30 e 5.31) e scalzamento della struttura.



Figura 5.30: scalzamento di palificate spondali a valle di una briglia



Figura 5.31: scalzamento a valle del salto

Drenaggi e canalizzazioni

Tali tecniche contribuiscono alla regimazione delle acque superficiali e profonde, evitando quei fenomeni di instabilizzazione dei terreni causati dal ruscellamento superficiale e dall'eccessiva pressione idrica per saturazione delle formazioni.

In tutte le canalizzazioni si possono però verificare fenomeni di sottoescavazione e sifonamento soprattutto nei tratti curvilinei e di raccordo.

Tra gli errori costruttivi si evidenziano la mancata o insufficiente impermeabilizzazione del che causa perdite di acqua lungo il percorso e fenomeni di sifonamento.



Figura 5.32: canalizzazione sifonata



Figura 5.33: cedimento delle sponde di una canalizzazione



Figura 5.34: aggiramento di una briglia

Terre rinforzate

Le terre rinforzate possiedono molteplici capacità di sostegno, contenimento e consolidamento di versanti, ed elevata capacità di assorbire urti in maniera anelastica: per tale motivo i rilevati in terra rinforzata vengono talora utilizzati come paramassi (figura 5.35).

D'altro canto però, tali interventi richiedono spazi notevoli per la movimentazione e compattazione del materiale di riempimento, e come per qualsiasi opera di Ingegneria Naturalistica si richiedono notevoli competenze nella scelta e posa dei materiali.

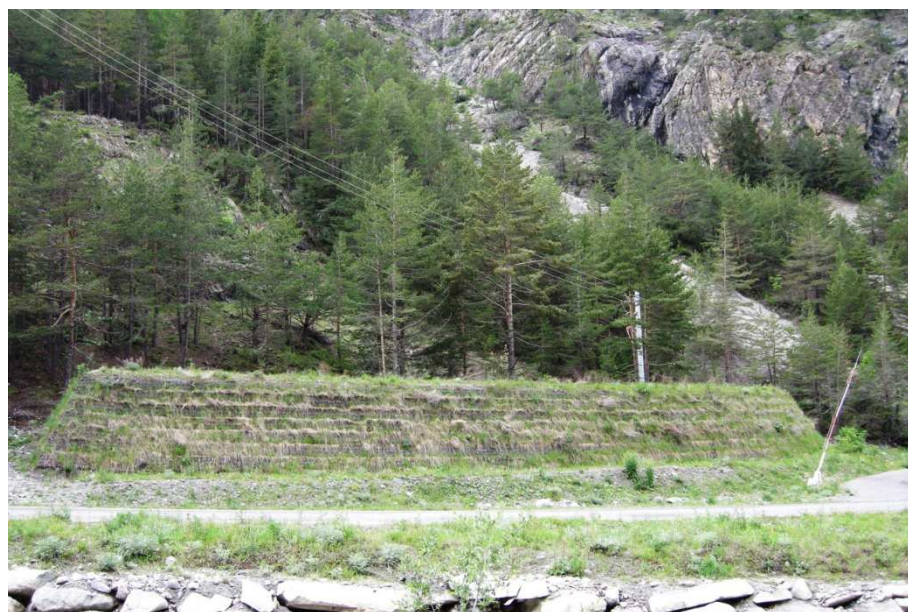


Figura 5.35: rilevato paramassi in terra rinforzata

Gli errori costruttivi sono riscontrati nella scelta e nell' utilizzo dei geosintetici: la lunghezza insufficiente del telo di base o del risvolto, possono dar luogo a problemi di varia gravità, fino al collasso della struttura per sfilamento dei geosintetici.

Ulteriori casi di errata applicazione della tecnica si presentano per quanto riguarda il materiale di riempimento non idoneo e non compattato, la carenza dei sistemi di drenaggio e il mancato attecchimento del materiale vegetale vivo sulla superficie esterna del pendio che, al di là dell'effetto estetico negativo, determina notevoli problemi circa la durabilità del geosintetico di rinforzo, poiché tutte le materie plastiche sono in varia misura sensibili ai raggi ultravioletti irraggiati dal sole (figure 5.36 e 5.37).



Figura 5.36: pendio in terra rinforzata con difficoltà di attecchimento del materiale vegetale idroseminato



Figura 5.37: Dettaglio della carenza di attecchimento.